



KARABÜK ÜNİVERSİTESİ



4<sup>th</sup> International Symposium  
on Railway System Engineering

**ISERSE'18**

4. Uluslararası  
Raylı Sistemler Mühendisliği  
Sempozyumu

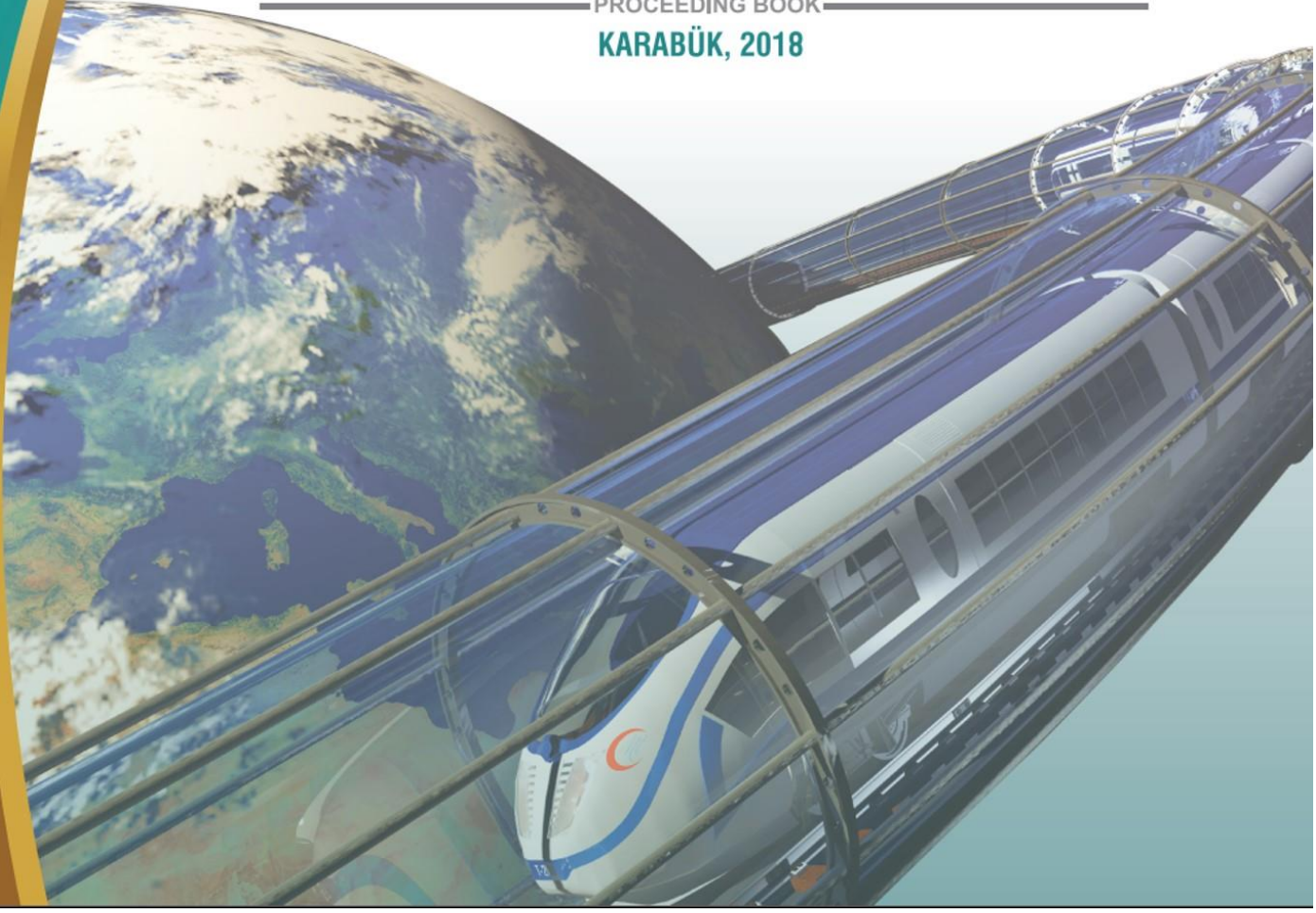
**IV. ULUSLARARASI RAYLI SİSTEMLER  
MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU**

4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RAILWAY SYSTEMS ENGINEERING

**BİLDİRİLER KİTABI**

PROCEEDING BOOK

KARABÜK, 2018





**IV. ULUSLARARASI RAYLI SİSTEMLER  
MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU**  
4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RAILWAY SYSTEMS ENGINEERING  
**BİLDİRİLER KİTABI**  
PROCEEDING BOOK  
KARABÜK, 2018

**EDİTÖRLER**

**DOÇ. DR. İSMAİL ESEN  
DR. ÖĞR. ÜYESİ HARUN ÇUĞ**

**ELEKTRONİK KİTAP ISBN : 978-605-9554-23-7**

**BASIN TARİHİ: 11 EKİM 2018**



**4<sup>th</sup> International Symposium on  
Railway Systems Engineering**



## HONORY COMMITTEE (ONUR KOMİTESİ)

<b>Mehmet Cahit TURHAN</b>	Ulaştırma ve Altyapı Bakanı
<b>Mustafa VARANK</b>	Sanayi ve Teknoloji Bakanı
<b>Prof. Dr. Refik POLAT</b>	Karabük Üniversitesi Rektörü
<b>Prof. Dr. Bahri ŞAHİN</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörü
<b>Prof. Dr. Muhammed Hasan ASLAN</b>	Gebze Teknik Üniversitesi Rektörü
<b>Prof. Dr. Mustafa GÜDEN</b>	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rektörü
<b>Prof. Dr. Murat TÜRK</b>	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Rektörü
<b>Prof. Dr. Arif KARADEMİR</b>	Bursa Teknik Üniversitesi Rektörü
<b>Prof. Dr. Hamdi MOLLAMAHMUTOĞLU</b>	Çankaya Üniversitesi Rektörü
<b>Balamir GÜNDOĞDU</b>	EGO Genel Müdürü
<b>Ercüment ÜNAL</b>	KARDEMİR A.Ş. Genel Müdürü
<b>Aytunç GÜNAY</b>	BOZANKAYA A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı
<b>Mehmet Kürşat ÇAPAR</b>	BURULAŞ Genel Müdürü
<b>Kasım KUTLU</b>	İstanbul Ulaşım Genel Müdürü
<b>Ferhat BİNGÖL</b>	Kayseri Büyükşehir Bld. Ulaşım Planlama ve Raylı Sistemler Dai. Başkanı
<b>Feyzullah GÜNDOĞDU</b>	Kayseri Ulaşım A.Ş. Genel Müdürü
<b>Elif ACAR</b>	Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı Genel Sekreteri



**4<sup>th</sup> International Symposium on  
Railway Systems Engineering**



**SCIENTIFIC COMMITTEE (BİLİM KURULU)**

<b>Prof. Dr. Refik POLAT</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mustafa YAŞAR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet ÖZALP</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Bilge DEMİR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU</b>	Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Hasan OKUYUCU</b>	Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ali SÜRME</b>	Uludağ Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ali ATA</b>	Gebze Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. M. Bahattin Çelik</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. İhsan ULUER</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Salim ORAK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Bahattin TÜRETKEN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Erzat ERDİL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ali GÜNGÖR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. İsmail ATILGAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet AKBABA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Filiz ERSÖZ</b>	Karabük Üniversitesi

<b>Prof. Dr. Ahmet DEMİR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Gökhan GÖKOĞLU</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. İdris KABALCI</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Orhan ŞEN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Hamiyet Şahin KOL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Raif BAYIR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ziyaddin RECEBLİ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Sezayi YILMAZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Süleyman GÜNDÜZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ramazan KAÇAR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mustafa BOZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Halil DEMİR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. İsmail KARACAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. İbrahim KADI</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ebrahim ESMAILZADEH</b>	University of Ontario
<b>Prof. Dr. -Ing. Haldor Eckhart JOCHIM</b>	RWTH Aachen University
<b>Prof. Dr. -Ing. Frank LADEMANN</b>	Technical University Mittelhessen
<b>Prof. Dr. Mario GUAGLIANO</b>	Politecnico di Milano
<b>Prof. Dr. Francisco SILVA</b>	Instituto Superior de Engenharia do Porto
<b>Prof. Dr. Davood YOUNESIAN</b>	Iran University of Science and Technology
<b>Prof. Dr. Jabbar Ali ZAKARİ</b>	Iran University of Science and Technology

<b>Prof. Dr. Nizami AKTÜRK</b>	Gazi Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet TEKİN</b>	Gazi Osman Paşa Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Nurkan YAĞIZ</b>	İstanbul Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet Turan SÖYLEMEZ</b>	İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERKAYA</b>	Osmangazi Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Tuncer TOPRAK</b>	İstanbul Ticaret Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN</b>	İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Ercan ÖZTEMEL</b>	Marmara Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Rafet BOZDOĞAN</b>	Yalova Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU</b>	Toros Üniversitesi
<b>Prof. Dr. M. Hadi SARUL</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK</b>	İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU</b>	İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mustafa ALÇI</b>	Erciyes Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Hüseyin KURT</b>	Necmettin Erbakan Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Durmuş KAYA</b>	Kocaeli Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Burak DİKİCİ</b>	Atatürk Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Fevzi BEDİR</b>	Gebze Teknik Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Mehmet KARALI</b>	Necmettin Erbakan Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Emrah DENİZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Bülent ÖZDALYAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Prof. Dr. Yavuz SUN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc Prof. Dr. İsmail ESEN</b>	Karabük Üniversitesi

<b>Assoc. Prof. Dr. Kamil ARSLAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Mehmet Akif ERDEN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc Prof. Dr. Yunus TÜREN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Fatih HAYAT</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Fatma MEYDANERİ TEZEL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Oğuz FINDIK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Muharrem DÜĞENCİ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Habibe TECİMER</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Selim ÖNCÜ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Ziyodulla YUSUPOV</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. İsmail Hakkı TAYYAR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Tamila ANUTGAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Şenol GÜRSOY</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Mustafa ANUTGAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Muhammet KAYFECİ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. İlhan CEYLAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Mustafa Barış TERCAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Melik ÇETİN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÜNAL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. İsmail AKSOY</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi

<b>Assoc. Prof. Dr. Semih SEZER</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Ali DURMUŞ</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Hakan GÜLER</b>	Sakarya Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assoc. Prof. Dr. İnan KESKİN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. M. Hüseyin ÇETİN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Gökhan SUR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Harun ÇUĞ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ali CAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Hasan ÖZCAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. M. Emin AKAY</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Okan ÜNAL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Özden İŞBİLİR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Mehmet Akif KOÇ</b>	Sakarya Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Recep KILIÇ</b>	Sakarya Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Nurettin ELTUĞRAL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Erkan KOÇ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Süleyman YAŞIN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Betül USTA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Engin ÇEVİK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Yasin KANBUR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Hakan KUTUCU</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. İlhami Muharrem ORAK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Burhan SELÇUK</b>	Karabük Üniversitesi



<b>Assist. Prof. Dr. Caner ÖZCAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. İlker TÜRKER</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Nesrin Aydın ATASOY</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ümit ATİLA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Yasin ORTAKCI</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Yüksel ÇELİK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Zafer ALBAYRAK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Çağrı SEL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Fuat ŞİMŞİR</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Osman YILDIZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Mustafa GÖKDAĞ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ahmet HAYRETTİN YÜZER</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ayad Atiyah ABDULKAFI</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Bilgehan ERKAL</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Hüseyin ALTINKAYA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Muhammet Tahir GÜNEŞER</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Mustafa Burak TÜRKÖZ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Aytül BOZKURT</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Can Bülent FİDAN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Cihan MIZRAK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ahmet Reşit KAVSAOĞLU</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ali ARSLANTAŞ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ammar Zeidan Ghailan AL-SHEMARI</b>	Karabük Üniversitesi

<b>Assist. Prof. Dr. Besnik PONİKU</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Zehra Şule GARİP</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Fatih SAKA</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Nesli AYDIN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Sakine Uğurlu KARAAĞAÇ</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ertuğrul ESMERAY</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Mehmet Kazım YETİK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Mehmet Kuddusi AKALIN</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Yüksel ÇELİK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Yasin ORTAKÇI</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Engin GEDİK</b>	Karabük Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Hassan GHADBEIGI</b>	University of Sheffield
<b>Assist. Prof. Dr. Sara BAGHERIFARD</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>Assist. Prof. Dr. Mostafa Hassani GANGARAJ</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>Assist. Prof. Dr. Ann ZAMMIT</b>	University of Malta
<b>Assist. Prof. Dr. Rami Salah EI-EMAM</b>	Mansoura University
<b>Assist. Prof. Dr. M. P. AGHAEİ</b>	Iran University of Science and Technology
<b>Assist. Prof. Dr. Fazel Seyed SAEED</b>	Iran University of Science and Technology
<b>Assist. Prof. Dr. Özgür Turay KAYMAKÇI</b>	Yıldız Teknik Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Ömür AKBAYIR</b>	Anadolu Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Gazi Kamil EREL</b>	Sakarya Üniversitesi
<b>Assist. Prof. Dr. Zeynep GÜLTEKİN YILDIRIM</b>	Anadolu Üniversitesi



**4<sup>th</sup> International Symposium on  
Railway Systems Engineering**



**ORGANIZATION COMMITTEE (ORGANİZASYON  
KOMİTESİ)**

<b>Assoc. Prof. Dr. İsmail ESEN</b>	Chairman of the Organizing Committee
<b>Prof. Dr. Mehmet ÖZALP</b>	Karabük University
<b>Prof. Dr. Bilge Demir</b>	Karabük University
<b>Assoc. Prof. Dr. Yusuf ÇAY</b>	Sakarya University
<b>Assoc. Prof. Dr. Selami SAĞIROĞLU</b>	Karabük University
<b>Assist. Prof. Dr. Mehmet Emin AKAY</b>	Karabük University
<b>Assist. Prof. Dr. Harun ÇUĞ</b>	Karabük University
<b>Assist. Prof. Dr. Cihan MIZRAK</b>	Karabük University
<b>Assist. Prof. Dr. Mehmet Akif KOÇ</b>	Sakarya University
<b>Assoc. Prof. Dr. Meserret NALÇAKAN</b>	Anadolu University
<b>Öğr. Gör. Nadir NALÇAKAN</b>	Anadolu University
<b>Res. Assist. Kerim Gökhan AKTAŞ</b>	Organization Secretariat
<b>Elif ACAR</b>	BAKKA Secretary General
<b>Sakin EREN</b>	BAKKA Karabük YDO Coordinator
<b>İbrahim TOZLU</b>	Kardemir A.Ş.



**4<sup>th</sup> International Symposium on  
Railway Systems Engineering**



## INVITED SPEAKERS

Prof.Dr.Rafiq MEHDIYEM	AZERBAIJAN
Ziyodula YUSUPOV	UZBEKISTAN
Assoc.Prof.Dr. Mostafa Ranjbar	IRAN
Dr.ShanmugamPACKIALAKSHMI	INDIA
Prof.Dr.Haldor Eckart JOCHIM	FACH HOCHSCHULE AACHEN DEUTSCHLAND
Feras Naser SHADID	JORDAN
Mohamed Ahmed AHSSI	LIBYA
Assist.Prof.Dr.Melody Khadem SAMENI	UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY TAHRAN
Gasim ABDU	SUDAN
Ghulam ALI	SNAN ABDUL LATIF UNIVERSITY PAKISTAN



4<sup>th</sup> International Symposium on  
Railway Systems Engineering



## İÇİNDEKİLER

Başlık	Yazarlar	Sayfa
BAKÜ-TİFLİS-KARS DEMİRYOLU İLE CANLANDIRILAN TARİHİ İPEK YOLUNUN GÜZERGÂHLARINDA ÇALIŞACAK LOKOMOTİF VE GEMİLER İÇİN MİLLİ MARKA TÛLÖMSAŞ AĞIR DİZEL MOTORLARIN GELİŞTİRİLMESİ	Rafiq MEHDİYEV, Fevzi BEDİR	1
REVIEW: THE POTENTIAL USE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN RAILWAY APPLICATIONS	Feras Naser	9
STATUS OF INDIAN RAIL TRANSPORT – A GLANCE	Shanmugam Packialakshmi, Bharkava Teja Srikanta	17
ACOUSTIC AND SOUND INSULATION IN RAIL SYSTEMS	Mostafa Ranjbar	25
YERLİ ELEVATÖRLÜ ATIK VAGONU ÜRETİMİ	Demirhan Dinçer GÛRSOY	32
ÛLKEMİZDE DEMİRYOLU DENİZYOLU VE KARAYOLUNUN SUNDUĞU FIRSATLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	Onur Öztürk, Oğuz Öztürk	33
DEMİRYOLU DENİZYOLU VE KARAYOLUNUN ÛLKEMİZDE ENERJİ TÜKETİMİ VE ÇEVRESEL ETKİLER AÇILARINDAN KARŞILAŞTIRILMALARI	Onur Öztürk, Oğuz Öztürk	43
MULTICRITERIA DECISION MAKING IN THE URBAN TRANSPORT: SELECTION OF RAIL SYSTEM TECNOLOGY	Mustafa Hamurcu, Tamer Eren	54
SELECTION OF INTERCITY TRANSPORTATION PROJECTS UNDER THE VERITY BUDGET SCENARIOS IN TURKEY	Mustafa Hamurcu, Tamer Eren	55
YÛKSEK HIZLI RAYLI SİSTEMLERDE TEKERLEK-RAY TEMAS ANALİZİ	Ahmet DEVECİ, Mete KALYONCU	56
HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE KÖPRÜ VE BALASTSIZ HAT GEÇİŞ BÖLGELERİNİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA İLE İNCELENMESİ	Fahrettin Ersin ERBAŞ, Zübeyde ÖZTÛRK	67

HARMONİK KUVVET ZORLAMASI ALTINDA DEMİRYOLU KÖPRÜSÜ TİTREŞİMLERİNİN DEĞİŞTİRİLMİŞ ADOMİAN AYRIŞTIRMA METODU (DAAM) İLE İNCELENMESİ	Ferda BİLİK, Tuncay KARAÇAY	79
RAILWAY RAMS MANAGEMENT	Alp Giray Karabacak, Kemal Faruk Dogan	87
VIBRATION DAMPING ANALYSIS OF RAILCAR BUFFER	Ahmad Partovi Meran	88
A FINITE MODEL ELEMENT MODEL FOR RAILWAY INFRASTRUCTURE	Mehmet Çağrı BAYRAK, Mesut TIĞDEMİR, Mustafa KARAŞAHİN, Mehmet AVCAR	89
FATIGUE FAILURE ASSESSMENT OF DRAW HOOK - MANUFACTURED BY FORGING - USED IN FREIGHT TRANSPORT IN RAILWAYS	Atila Keskin, Yasin Sarıkavak, and Merve Tuğyanoğlu	90
RAYLI ARAÇ FREN DİSKLERİNİN DÖKÜMÜNDE TRETMAN MALZEMESİ MİKTARININ MEKANİK ÖZELLİKLER VE HAVALANDIRMA SİSTEM TASARIMININ SOĞUTMA PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	Onur ER, Erdinç KALUÇ, Emel TABAN, Uğur ÖZSARAÇ	99
YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU GEÇİŞ BÖLGELERİNDE ZEMİNE İLİŞKİN ÖNLEMLER	Zübeyde Öztürk, Onur Öztürk, Erkan Bozkurtoğlu	112
THE FUTURE OF ACTIVE SUSPENSION APPLICATIONS FOR RAIL VEHICLES IN TURKEY	Yusuf Çatı, Hakan Günel, Mesut Düzgün	122
INNOVATIVE ROLLING STOCK SYSTEMS	Omur AKBAYIR, Mine SERTSOZ, Zafer Huseyin ERGAN, Mehmet Mete OZTURK	130
MOBİL DEMİRYOLU ARAÇLARI: ÖRNEK KAZA İNCELEMESİ	Ömür AKBAYIR	147
TÜRKİYE DEMİRYOLU SEKTÖRÜNDE SERBESTLEŞMEDEKİ MEVCUT DURUM	Ömür AKBAYIR, Mehmet Mete ÖZTÜRK	166
DYNAMICAL ANALYSIS OF THE CONTACT FORCES FOR HIGH SPEED TRAIN WHICH MOVING ON THE FLEXIBLE STRUCTURES	Mehmet Akif Koç, Mustafa Eroğlu, İsmail Esen, Yusuf Çay	181
RENEWABLE ENERGY AND MONORAIL TRANSPORTATION SYSTEM	Enfal Anıl Çalış, Zübeyde Öztürk	191

DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜ VE BARIYERLERİN GÜRÜLTÜYÜ AZALTMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Taha YÜKSEL, Zübeyde ÖZTÜRK	199
HİDROJEN YAKITLI TREN SETLERİ İÇİN YÜKSEK BASINÇLI HİDROJEN TANKLARININ TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ	Abdülkadir Ünal, Nihat Akkuş	210
REAL-TIME RAILWAY CONDITION MONITORING SYSTEM	Onur ER , Muhammet Ali ACUR	211
AN OVERVIEW ON ENERGY MANAGEMENT, OPTIMIZATION AND SAVING IN TRANSPORTATION INDUSTRY	Ozlem BATTAL, Erhan KAYABAŞI , M. Kürşat Çubuk	221
RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA HAVA YAYININ MODELLENMESİ	R. Merve BÜYÜKAKYOL, Engin YILDIRIM, M. Hüseyin ÇETİN	236
RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ DİNAMİK PERFORMANSLARININ İZLENMESİ	Zafer Hüseyin ERGAN	244
Tren Setlerinde Fren Dinamiği ve Fren Pedlerinde Oluşan Aşınmaların Haritalandırılmış Basınç Sensörü Yardımıyla İncelenmesi	Abdülkadir ÜNAL, İlhan KOCAARSLAN, Nihat AKKUŞ, Yakup KARABAĞ, S. Tolga KANDİL	255
DESIGN AND SIMULATION OF A MODEL MAGLEV VEHICLE	Selim Sivrioğlu, Ali Suat Yıldız, Sinan Başaran, Fevzi Çakmak Bolat	262
RAYLI TAŞIT ARAÇLARININ GÖVDE YAPIMINDA KULLANILAN MODERN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	Erdinç KALUÇ, Emel TABAN	272
ELEKTRİKLİ RAYLI ULAŞIM ARAÇLARI PANTOGRAF-KATENER SİSTEMLERİNDE KARBON ŞERİT / BAKIR TEMAS TELİNİN SÜRTÜNME VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ	Ümit ER	274
ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ BELİRLEME METODLARI	Mine Sertsöz, Mehmet Fidan, Mehmet Kurban	282
DEMİRYOLU ÜSTYAPI MONTAJINDA RİSK DEĞERLENDİRMESİ	Sevdenur KARAKOÇ, M. Hüseyin ÇETİN,	289
BİR AĞIR HİZMET DİZEL MOTORUNUN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİYLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	Oğuzhan HOŞGÖR, Mustafa Ertunç TAT	290

RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN BİR AĞIR HİZMET DİZEL MOTORU SİLİNDİR GÖMLEĞİ ÜZERİNE UYGULANAN FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ	Onur BIYIKLIOĞLU, Mustafa Ertunç TAT	298
RAYLI SİSTEM UYGULAMALARIN ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN KULLANIM ALANLARI	Büşra DURMUŞ, Ece KALAY, İskender ÖZKUL, Murat YAKAR	305
RAYLI SİSTEM TAŞITLARINDA ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ İKLİMLENDİRME ÜNİTELERİNDE KULLANILMASI	Ekrem Sabır GEZER	313
RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA VAGON DOLULUK İKAZ SİSTEMİ	Anıl RIDVANOĞULLARI, Ahmet KÜÇÜKBAŞAK	314
DEMİRYOLLARINDA BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPININ KARŞILAŞTIRILMASI	M. Hüseyin ÇETİN, Anıl RIDVANOĞULLARI, Sedef CAN, Merve TEKGÖZ	319
YERLİ KUPLÖR TASARIMI	M. Hüseyin ÇETİN, Anıl RIDVANOĞULLARI, İbrahim DİNÇER, R. Ahmet YURTER	325
Y25 VE ICF BOJİLERİNİN ANSYS İLE STATİK YÜK ANALİZİ KARŞILAŞTIRILMASI	Anıl RIDVANOĞULLARI, Ömer KOÇOĞLU, Bayram BULDUK, Yavuz EKEN	330
RAIL SYSTEM STATION SITE SELECTION: A LITERATURE REVIEW	Mustafa Hamurcu, Tamer Eren	336
EVALUATION OF TURKISH STATE RAILWAYS' (TCDD) OCCUPATIONAL TRAINING PROGRAMS	Hakan Güler	337
YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU HATLARINDA HAT GEOMETRİSİNİN BOZULMASI VE GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİ	Shuhratjon Hidirov, Hakan Güler	338
BALASTLI DEMİRYOLU HATLARINDA BALAST KİRLİLİĞİNİN ÜSTYAPI HESAPLARINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Emir Yalçın Aksop, Hakan Güler	339
R260 RAY ÇELİĞİNİN HADDELEME OPERASYONUNUN MIKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	Tansel TUNÇAY, Muhammet YILDIZ	341



A NUMERICAL METHOD FOR VEHICLE-BRIDGE INTERACTION CONSIDERING SUDDEN ACCELERATION AND DECELERATION OF THE CAR	Mehmet Akif Koç, Mustafa Eroğlu, İsmail Esen	351
DEMİRYOLU ARAÇLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ	M.Mete Öztürk, Ömür Akbayır	359
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE KENT İÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN SEÇİMİ	Özlem Battal, Tuğrul Bayraktar	369
RAYLI SİSTEMLER PROJELERİNDE YAPILABİLİRLİK ETÜTLERİNİN ÖNEMİ	Özlem Battal, M. Kürşat Çubuk	380
ANALYZING EFFICIENCY OF HIGH SPEED RAILWAY STATIONS IN ATTRACTING PASSENGERS	Melody Khadem Sameni, Ali Momeni Yazdi	387
BÖLGESEL DEMİRYOLLARININ BÖLGESEL GELİŞİME KATKISI: ADAPAZARI-HAYDARPAŞA BÖLGESEL DEMİRYOLLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	İrfan Pamuk, Abdulmuttalip Demirel, Hakan Güler	394
MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF SPA-H STEEL SHEETS USED IN RAILWAY VEHICLES IN RESISTANCE SPOT WELDING	Erdem FERİK, Nuri AKKAŞ	395
RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN AĞIR HİZMET DİZEL MOTORLARININ KESTİRİMCİ BAKIM VE MOTOR YAĞ KİRLETİCİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Yasin İpek, Mustafa Ertunç Tat	400
PREDICTING THE DYNAMIC BEHAVIORS OF THE RAILWAY VEHICLE USING THE FINITE ELEMENT METHOD AND FUZZY LOGIC	M. EROĞLU, M.A. KOÇ, İ. ESEN, N.G. ADAR	408
FUZZY LOGIC COUPLED WITH PERIDYNAMICS FOR IMAGE PROCESSING TO DETECT CRACKS IN RAILS	Cihan Mizrak, Erdogan Madenci, Yusuf Yurekli, Fatih Pehlivan	419
FAULT TREE AND STAMP ANALYSIS OF THE MOST FATAL ACCIDENT OF IRANIAN RAILWAYS IN THE PAST DECADE	Melody Khadem Sameni, Naeimeh Mahdavian, Hossein Ganji	432
AĞIR HİZMET DİZEL MOTORLARA AİT BİR KAYMALI YATAĞIN ÇALIŞMA ANALİZİ	Merve SAYAR, Mustafa Ertunç TAT	433
TÜRKİYE'NİN DEMİRYOLU REFORMU AÇISINDAN DOĞU AVRUPA ÜLKELERİ ARASINDAKİ YERİ	Muharrem Ünver, Tuğrul Bayraktar, Ahmet Ziyaeddin Bulum, Selçuk Özcan	442

TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ DEMİR YOLU TAŞIMACILIĞININ KÜMELEME ANALİZİ YARDIMIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	Selçuk ÖZCAN, Ahmet Ziyaeddin BULUM, Muharrem ÜNVER, Tuğrul BAYRAKTAR	443
URBAN RAIL TRANSPORTATION INVESTMENT ACTIVITIES'DEVELOPMENT PROCESS IN TURKEY: A COMPARATIVE STUDY	İbrahim ÇİL, Muharrem ÜNVER	444
INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMER MATRIX COMPOSITES AS AN ALTERNATIVE MATERIAL FOR WEIGHT GAIN IN HIGH SPEED TRAINS	Ali Gungor, Alper Incesu, Mustafa Yunus Askin	445
Alüminyum Alaşımli Malzemenin Endüstriyel Uygulama Alanları	Ahmet Taner SARIHAN, Emel ŞAVUR	453
DEMİRYOLU ARAÇLARINDA IRIS BELGELENDİRMESİ	Emel ŞAVUR, Ahmet Taner SARIHAN	454
TÜRKİYE DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN HAMMADDE VE NİHAİ ÜRÜN GRUPLARINA YÖNELİK İNCELENMESİ VE ÜRETİM METOTLARININ ANALİZİ	Atilla Gökkaya, Muharrem Düğenci	455
RAY ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ZEKİ BAKIM ÇİZELGELEME YAKLAŞIMI	Selçuk Özcan, Fuat Şimşir, Özer Uygun	476
İYİLEŞTİRİLEN VE YENİ YAPILAN YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Nuri Erdem Çoban, Zübeyde Öztürk	477
CHANGING BALLASTED HIGH SPEED RAIL TRACKS TO SLAB TRACK; A CASE STUDY OF TURKISH STATE RAILWAYS	M. Emin Akay, Şeyda Ceylan	489
FUTURE TRAIN STATIONS POWERED WITH RENEWABLE ENERGY	Beyhan Kilic, Erkan Dursun	490
2001 YILI SONRASI TÜRKİYE'DE RAYLI SİSTEMLER EĞİTİMİ VE İSTİHDAMI İNCELEMESİ	İrfan AKIN, Mustafa Okan ÇALIOVA	498
TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN İLK R350HT KALİTE RAYLARIN KAREKTERİZASYONU VE SERVİŞ ŞARTLARINDAKİ BAŞARISI	Ahlatcı, H., Sun, Y., Esen, İ., Turan, E., Özçelik, S., Tozlu, İ.	511
HIGH SPEED: NEW LINES OR UPGRADES?	Haldor Eckhart JOCHIM	520
ÜLKEMİZDE TRAMVAY HATLARINDA MEYDANA GELEN	Sultan GÜNDÜZ, Engin YILDIRIM, M. Hüseyin ÇETİN	527

DEFORMASYONLAR VE OLASI ÇÖZÜM ÖNERİLERİ		
HIGH SPEED RAIL COMPARISON BETWEEN TURKEY AND EUROPEAN COUNTRIES IN TERMS OF NETWORK, OPERATION AND INVESTMENTS	Serkan GÖRK, Üsame EKİCİ	540
DEMİRYOLU RAYLARININ ALÜMİNOTERMİT KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI	Fevzi BEDİR, Mehmet Ali ÖZDEN, Erhan ÖZÇARE, İhsan Gökhan SERİN	548
RAYLI SİSTEMLERDE DİZEL VE ELEKTRİKLİ ÇEKİM TÜRLERİ	Yalğın Kahraman, Sümeyye Uçar	557
BASINÇLI HAVALI FRENLEME SİSTEMİ VE FREN HESAPLARI	Yalğın Kahraman, Yunus Can Keles, Sümeyye Uçar	565
EĞİM ÇIKABİLEN %100 ALÇAK TABANLI TRAMVAY ARACI KONSEPT TASARIMI	Yalğın Kahraman, Yunus Can Keles, Hakkı Kanyılmaz	570
RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE MAKAS HESABI	Yalğın Kahraman, Sümeyye Uçar	584
TÜRKİYE ARAÇ SEKTÖRÜNDE YENİ STRATEJİK YATIRIM HEDEFLERİNE DAİR GELİŞMELER	Fatih HAYAT	593
CBTC SİSTEMİ VE EMNİYET SÜREÇLERİ	Kemal Faruk Doğan, Yalğın Kahraman	599
PRODUCTION OF MO-Nİ STEEL BY POWDER METALLURGY WHICH IS USED AS COUPLING MATERIAL	Mehmet Akif ERDEN	610
LIBYAN RAILWAY: A GATEWAY TO EUROPE	Mohamed Ahmed Ahssi	620
VAGONLARDA KULLANILAN SADE KARBONLU ÇELİĞE SİNTERLEME SICAKLIĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI	Mehmet Akif ERDEN	631
S355J2 ÇELİĞİNİN TOZALTI KAYNAK KABİLİYETİNE KAYNAK TELİNİN ETKİSİ	Fatih HAYAT, Engin CELASUN	652
HAFIF METALLERİN KULLANIMI VE ELEKTRON IŞIN KAYNAĞI İLE KAYNAKLANABİLİRLİKLERİ	Caner AKTAŞOĞLU, Fatih HAYAT	644
A REVIEW ON BRAKING SYSTEMS USED IN RAILWAY VEHICLES	Erhan Selçuk, Mehmet Erdi KORKMAZ, Mustafa GÜNAY	650
SERVİS KOŞULLARINDA GERİNİM ÖLÇERLER KULLANILARAK DEMİR YOLU RAYLARINDA GERİLME ÖLÇÜMÜ	Turan Emre, Sun Yavuz, Ahlatci Hayrettin, Özçelik Sait	664

VERTICAL VIBRATION ANALYSIS OF 2 DEGREE OF FREEDOM RAIL VEHICLE MODEL USING SOLIDWORKS MOTION INTERFACE	Fatih Pehlivan, Kerim Gökhan Aktaş, İsmail Esen, Cihan Mızrak	669
VERTICAL VIBRATION ANALYSIS OF 2 DEGREE OF FREEDOM RAIL VEHICLE MODEL IN MATLAB-SIMULINK AND MSC-ADAMS	Kerim Gökhan Aktaş, Fatih Pehlivan, İsmail Esen, Cihan Mızrak	677
VAGONLARDA KULLANILAN SADE KARBONLU ÇELİĞE SİNERLEME SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI	Mehmet Akif ERDEN	678
A STUDY ON COMMUNICATIONS BASED TRAIN CONTROL (CBTC)	Taha YÜKSEL, Zübeyde ÖZTÜRK	682
BTA ARAÇLARINDAKİ FREN SİSTEMİNİN TANITILMASI	Furkan Nazik	691
DESIGN OF AN INTEGRATED CLIMATE CONTROL SYSTEM FOR SUBWAY TRAIN	Ece KALAY, İskender ÖZKUL	692
MOTORLU ARAÇ AĞIRLIĞININ AZALTILMASI YAKLAŞIMI	Fatih HAYAT	697
RAYLI SİSTEMLERDE SÜRÜCÜSÜZ METRO SİSTEMLERİ	Ali Öztürk, Mustafa GÜNAY	705
PIEZOELECTRIC ENERGY GENERATION FROM TRAIN VIBRATION	Çağatay YILMAZ, Harun ÇUĞ, Furkan BAYSAL	715
INVESTIGATION OF WELDING RESIDUAL STRESS IN FLASH-BUTT JOINT OF R260 GRADE RAIL	Harun ÇUĞ, Emre TURAN, Mustafa DURSUNLAR	725
ANKARA-SIVAS YÜKSEK HIZLI TREN PROJESİ ENERJİ TÜKETİMİ ANALİZİ	M. EMİN AKAY, GÜLÜSTAN TUĞÇE ALVALI, M. HÜSEYİN ÇETİN	734
WEAR BEHAVIORS OF FLASH BUTT WELDED R260 GRADE RAILWAY RAILS	Cug Harun, Turan Muhammet Emre	740
DEMİRYOLU ÇELİĞİNİN GELİŞİMİ VE GELECEĞİ ÜZERİNE METALURJİK BİR PERSPEKTİFLE BAKIŞ	Bilge DEMİR	744
Tavlama ve aşamalı soğutmanın Demiryolu Ray çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi	Bilge DEMİR	752

# BAKÜ-TİFLİS-KARS DEMİRYOLU İLE CANLANDIRILAN TARİHİ İPEK YOLUNUN GÜZERGÂHLARINDA ÇALIŞACAK LOKOMOTİF VE GEMİLER İÇİN MİLLİ MARKA TÛLOMSAŞ AĞIR DİZEL MOTORLARIN GELİŞTİRİLMESİ

Prof. Dr. Rafig MEHDİYEV, Prof. Dr. Fevzi BEDİR

Prof. Dr., GTÜ, [rmehdi@gtu.edu.tr](mailto:rmehdi@gtu.edu.tr)  
Prof. Dr., GTÜ, [fevzibedir@gtu.edu.tr](mailto:fevzibedir@gtu.edu.tr)

## ÖZET

Bakü-Tiflis-Kars demiryolunun devreye alınması ile Tarihi İpek Yolu, Türkiye’de lokomotif ve gemi sektörlerinde kullanılacak motorların ekonomik ve çevreye duyarlı olarak millî imkanlar ile üretilmesini öncelikli bir şart olarak gündeme getirmiştir. Bu bakımdan Yakın ve Orta Doğu’nun geniş coğrafyasında tek Türkiye’nin sahip olduğu Eskişehir’deki TÛLOMSAŞ Lokomotif ve Motor AŞ’de 1968 yılından buyana Fransa S.E.M.T. Pielstick lisansı ile üretilmekte olan ağır dizel motorlarının modernize edilerek İpek Yolu’nun kara ve deniz güzergâhlarında verimli olarak kullanılması önem arz etmektedir.

TÛLOMSAŞ A.Ş.’den gelen talep üzerine Gebze ve İstanbul Teknik Üniversiteleri elemanlarından oluşan proje ekibi tarafından 9 adet Türkiye patentleri ile korumaya alınmış yeni “MR-Process” Yanma Mekanizması kullanılarak bu motorların modernizasyonu ile bağlı proje teklifi önerilmiştir. Bu Mekanizmanın kullanımı ile motorun performans ve yakıt tasarrufunun %10-%15 civarında iyileştirilmesinin yanı sıra, kirletici CO, HC, CO<sub>2</sub> emisyonlarının, özel olarak Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonunun, **hiçbir ek emisyon düşürücü sistem kullanmaksızın**, 2,5-3,0 kat düşürülmesi ile güncel AB Emisyon Standartların karşılanması mümkündür. Bununla da **yenilikçi ve rekabetçi üstün Millî Marka Dizel Motor teknolojisinin** geliştirilmesi için **etkin alternatif bir yol** bulunmuştur.

Bildiride “MR-Process” Yanma Mekanizmasının özellikleri, TÛLOMSAŞ Motorlarının modernizasyonu ile bağlı yapılan teorik hesap, analiz, tasarım çalışmaları ve model deney motorları üzerinde yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgiler sunulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** *Ağır Dizel Motoru, Yanma Mekanizması, Verim, Emisyon*

## SUMMARY

Historic Silk Road with the commissioning of the Baku-Tbilisi-Kars railway, locomotive and ship engines to be used in sensitive sectors in Turkey has brought economic and environmental priority must be manufactured with a national facilities. In this regard, the Near and Middle East's vast geography TULOMSAS in Eskişehir Turkey has one of Locomotive and Motor France from 1968 until AŞ this S.E.M.T. It is important to modernize the heavy diesel engines produced with the Pielstick license and to use the Silk Road efficiently on land and sea routes.

The contractor upon request from Inc. by the project team consisting of Gebze and Istanbul Technical University elements were protected with 9 Turkey patents new "M-Process" is connected with the modernization of the engine using the combustion mechanism of the proposal were suggested. By using this Mechanism, it is possible to improve the engine performance and fuel economy by around 10% - 15%, as well as to reduce pollutant CO, HC, CO<sub>2</sub> emissions, especially Nitrogen Oxide (NO<sub>x</sub>) it is possible to meet current EU Emission Standards. Thus, an effective alternative route to the development of innovative and competitive superior National Brand Diesel Engine technology has been found.

The report provides information about the characteristics of the "MR-Process" combustion mechanism, theoretical calculations, analysis, design studies and experimental studies on model test engines connected with the modernization of TÛLOMSAŞ Motors.

**Key words:** *Heavy Diesel Engine, Combustion Mechanism, Yield, Emission*

## 1. Tarihi İpek Yolu'nu Canlandıran Bakü-Tiflis-Kars Demiryolu

2017 yılın Ekim ayında devreye alınan Bakü-Tiflis-Kars (BTK) demiryolu (Şekil 1.) Tarihi İpek Yolunun canlandırılmasına vesile olarak, çelik hatla Orta Asya’daki Türkü Cumhuriyetlerini Türkiye’ye bağlamış oldu. Ayrıca Londra’dan Pekin’e kesintisiz demiryoluyla ulaşmak mümkün hale geldi. Hatla Çin’den yola çıkan yükün Kazakistan ve Türkmenistan üzerinden Hazar Denizi ile Bakü Alat Limanı’na, oradan da Gürcistan ve Türkiye üzerinden Avrupa’ya taşınması öngörülmektedir. İlk etapta hatla yıllık 1 milyon yolcu ve 6,5 milyon ton yük taşınabilecek. Gelecek süreçlerde ise yaklaşık 6,5 milyon yolcu, 15-20 milyon ton yük taşınması hedefleniyor.



Şekil 1. Bakü-Tiflis-Kars Demiryolu haritası.

Bakü-Tiflis-Kars projesinin en başta gelen amacı bölgede yeni bir enerji koridoru yaratmak. Azerbaycan'ın petro-kimya ürünlerinin bu hat üzerinden tüm dünyaya ulaşması hedefleniyor. Buna ek olarak, Türkiye-Orta Asya ülkeleri arasındaki mevcut trafik de büyük ölçüde bu hatta kayacak. İran üzerinden yürüyen mevcut demiryolu hattının ihtiyaca yetmemesi, Van Gölü ve Saraks'ta beklemelerle karşı karşıya kalınması nedeniyle karayolu ile devam eden taşımacılığın da bu hatta kayması beklenilmektedir.

BTK demiryolunun, bölgedeki taşıma koridorlarına önemli bir alternatif oluşturması, proje ortağı Türkiye'nin ise BTK ve Marmaray ile birlikte Çin-Avrupa demiryolu trafiğinde önemli bir rol üstlenmesi öngörülmüyor. Hâlihazırda Çin'den Avrupa'ya giden demiryollarının tamamı Rusya üzerinden geçiyor. Bakü-Tiflis-Kars Demiryolunun devreye alınmasıyla, mesafe yaklaşık 7 bin kilometre kısaldığı için bu yolla taşınacak ürünler, Çin'den Avrupa'ya 15 günde ulaşabilecek. Bu ise deniz güzergâhları ile taşınmakta olan yüklere ayrılan zamanın 2-3 kat düşürülmesi demektir. Taşıma masrafları da önemli ölçüde azalacağından dolayı, bu yolla trafik yüksek boyutlara ulaşacağı aşikârdır. Bu durumda Türkiye'nin Doğusu ile Batısını birleştiren güzergâhın en uzun kısmı Türkiye'de olduğunu göz önünde bulundurarak, bu yolda kullanılacak lokomotiflerin yakıt tasarrufu yüksek, çevreye ise vuracağı kirlenici etkisi minimum seviyede olması lazım. Eksi halde taşımacılık masraflarının yüksek olması sayesinde Asya ve Avrupa güzergâhlarında çalışacak lokomotiflerle rekabette Türkiye'nin lokomotifleri başarısız olacaklar.

Eskişehir'deki TÜLOMSAŞ Lokomotif ve Motor AŞ'de 1968 yılından buyana Fransa S.E.M.T. Pielstick lisansı ile üretilen bu lokomotifler, kalitesinin yüksek olmasının yanı sıra, Türkiye'nin bir güçlü devlet olarak motor teknolojisinin üstün zirvede olduğunu göstergesi de olmalıdır. Lisans süresi bitmiş bu motorlarda 60-70 yılların eski yanma mekanizması kullanılmaktadır. Hâlbuki ABD, İngiltere, Japonya, G. Kore, Hindistan, İsveç, Çin ve Finlandiya'da TÜLOMSAŞ motorunda olduğu gibi aynı S.E.M.T.-Pielstick lisansı ile modernize edilerek yerli markaya dönüştürülmüş **askeri ve sivil gemi, lokomotif ve jeneratör** uygulamaları için üretim yapılmakta ve Dünya pazarına sunulmaktadır.

2013 yılında T.C. Ulaştırma Bakanlığının tavsiyeleri doğrultusunda, TÜLOMSAŞ A.Ş.'den gelen talep üzerine, İstanbul ve Gebze Teknik Üniversitelerinin akademisyen ve öğrencilerinden oluşan Proje Ekibimiz tarafından, TÜLOMSAŞ Motorlarının AB Standartları seviyesinde modernizasyonu ve doğal gaz yakıtına dönüşümü ile ilgili bir proje önerisi sunulmuştur. Öneri, 2001 yılından bu yana yerli motor üretici firmaları TOFAŞ, MOTOSAN, Anadolu Motor, Başak Traktör ve TÜMOSAN ile Üniversite-Sanayi işbirliği kapsamında yürütülen TÜBİTAK destekli Ar-Ge proje çalışmaları ile kanıtlanan MR-Process adlı yeni yanma mekanizmasının uygulanmasıdır. Dokuz Türkiye Patentleri ile korumaya alınan bu Mekanizmanın kullanımı ile A'dan Z'ye **Türkiye'de ilk olarak** Yeni nesil Yerli Turbo Dizel Motoru tasarlanmış ve imal edilmiş, lisans süresi bitmiş birçok otomotiv ve traktör motorları modernize edilerek performans ve verimi yükseltilmiş, TÜMOSAN traktör dizel motorlarının, **Dünyada bir ilk olarak** %100 LPG ve Doğalgaz yakıtına dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

Onlarca uluslararası ünlü dergi ve kongre bildirilerinde yayınlanarak dünya çapında kabul görmüş, **yenilikçi olduğu ABD, Japonya ve AB ülkelerin patentleri ile kanıtlanmış** bu yanma mekanizmasını kullanarak az bir masrafla, köklü değişiklik yapmaksızın, TÜLOMSAŞ motorlarının performans ve yakıt tasarrufunun %10-%15 civarında iyileştirilmesinin yanı sıra, kirletici CO, HC, CO<sub>2</sub> emisyonlarının, özel olarak Azot Oksit (NOx) emisyonunun, **hiçbir ek emisyon düşürücü sistem kullanmaksızın**, 2,5-3,0 kat düşürülmesi ile güncel AB Emisyon Standartların karşılanması mümkündür. Bu motorları Tarihi İpek Yolu güzergâhlarında kullanarak Türkiye'nin yenilikçi ve rekabetçi üstün **Milli Marka Dizel Motor teknolojisine** sahip olduğunu Dünyaya bildirmeyin yansıra, yanı başımızda yaranmış muhteşem **Pazar payını** yakalamak fırsatını kaçırmamak önem arz etmektedir.

## **2. Günümüz Lokomotif ve Gemi Ağır Dizel Motorlarında Kullanılan Geliştirme Yöntemleri**

Bellidir ki, henüz elektrik bağlantısı ile donatılmamış demiryollarında çalışan lokomotiflerde, gemilerde olduğu gibi, ağır dizel motorları kullanılmaktadır. Bunun esas sebebi, uzun yol mesafelerinde çalışan lokomotif ve gemiler, fiyatı bir kadar düşük olan motorinin kullanılma imkanı ve benzinli motorlarla mukayesede daha az yakıt tüketebilmeleridir. 21. Asrın başından bu yana dizel motorların yakıt tasarrufunu daha da artırmak için gerek yanmayı iyileştirmek, gerekse de yanma öncesi ve sonrası çeşitli mekanizm ve sistemler eklemek en önemli stratejiler olmuştur.

Benzinli motorlarla karşılaştırıldığında %25-30 civarında yakıt tasarrufu sağlayan dizel motorların yaygınlaşmasındaki esas engel egzoz gazlarındaki is (duman) – partikül madde ve azot oksit (NOx) kirleticilerin daha yüksek olmasıdır. Günümüzde çevre kirliliği problemleri ön plana çıktığı için güncel emisyon standartları bu kirleticilerin sınır değerlerini düşük seviyelerde tutulmasını talep etmektedir. İleri motor teknolojisi ürünü olan ve yaklaşık 2000 yılından buyana esasen otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaya başlanan Common Rail (Ortak Yollu) elektronik yakıt püskürtme sistemi dizel motorlarında aşırı is-partikül emisyonu problemini çözebilmektedir. Bu sistemin yaygınlaşmasının esas sebepleri 1500-2500 bara ulaşan aşırı basınç altında yakıtı kademeli olarak yanma odasına püskürtebilmek, motor yüküne ve devir sayısına bağlı olarak püskürtme avans açısını optimum sınırlar arasında değiştirebilmektir. Ancak Common Rail sistemi kullanıldığında yakıt-hava karışım oluşumu ve yanma süreçlerinin kimyasal-fizik ve termodinamik doğasından kaynaklanan talepler tam olarak karşılanmazsa, sistemin avantajları kaybedilebilir. Daha güçlü olumsuzluk ise şudur ki, Common Rail yakıt besleme sistemini kullanmakta olan bildiğimiz lider konumdaki otomobil ve Ağır Dizel üreten ünlü firmalar (Volkswagen, Nissan, Cummins, Wartsila vb.), motorun optimum rejim kontrolü açısından avantaj kazanmış olsalar bile, **Azot Oksit (NOx) emisyonunun limit değerlerini aşırı derecede aşma sorunu ile karşı karşıya kalmışlardır.** NOx emisyonunu günü günden sertleşen standartların öngördüğü limit değerleri seviyesine düşürmek için ise çok karmaşık, özel yazılımlı EGR ve SCR (amonyak esaslı üre püskürtme) ek sistemlerin kullanılma zorunluğunu meydana getirerek, firmaların ekonomik ve pratiklik (servis, onarım, tamir) açısından önceden sahip olduğu avantajlarını kayıp etmeğe sebep olmuştur.

Common Rail yakıt besleme sistemi kullanılarak lokomotif ve gemi motorların NOx emisyonunu AB Standartları seviyesine düşürmek için yapılması gereken modernizasyon çalışmaların **aşırı maliyetle karşılanacağı hakkında** en kapsamlı bilgileri EPA ABD devlet kurumunun 2009 yılında yayınladığı "Costs of Emission Reduction Technologies for Category 3 Marine Engines, Final Report"dan elde etmek mümkündür. Zaten bu sebepten de ünlü Japon Firması JFE PRIME MOVERS, 1964 yılından bu yana TÜLOMSAŞ motoru ile aynı olan S.E.M.T.-Pielstick motorlarında klasik - Düşük Basınçlı hidrolik pompa – enjektör kullanarak, hiçbir köklü değişiklik yapmaksızın, Japon ve Asya bölgelerinin lokomotif, gemi ve jeneratör pazarında önemli bir konum edinmiştir. Hâlihazırda ABD, İngiltere, G.Kore, Hindistan, İsveç, Çin ve Finlandiya'da da S.E.M.T. - Pielstick lisansı ile yerli markaya dönüştürülmüş askeri ve sivil gemi, lokomotif ve jeneratör uygulamaları için motorda köklü değişiklikler yapmaksızın üretim yapılmakta ve Dünya pazarına sunulmaktadır.

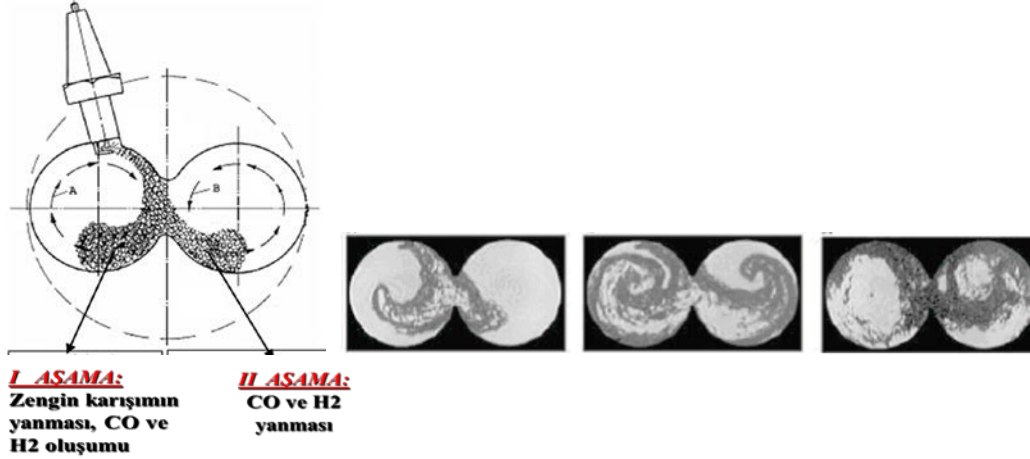
Bu örnekler onu gösterir ki, **Yakın ve Orta Doğu'nun geniş coğrafyasında tek Türkiye'nin sahip olduğu TÜLOMSAŞ Fabrikasının ürettiği motorları da, daha fazla zaman kaybı yaşamadan, modernize ederek yenilikçi ve rekabetçi Milli Markaya dönüştürmemiz ülkenin ekonomisi ve prestiji açısından önem arz etmektedir.**

## **3. Çift Türbülanslı Döngülü "MR-Process" Yanma Mekanizması ve "8"e Benzer MR-2 Yanma Odası Geometrisi**

Matematiksel ve Fiziksel modeller ve farklı boyutlu motorlar üzerinde yapılan bir dizi Ar-Ge çalışmaların sonuçlarına dayanarak Prof. Dr. R. Mehdiyev ve proje ortağı arkadaşları tarafından, sembolik olarak "MR-Process" adlandırılan Çift Türbülanslı Döngü ortamında gerçekleştirebilen Yanma Mekanizması (Yöntemi) ve bu Mekanizmayı gerçekleştirebilen MR-2 Yanma Odası geometrisi teklif edilmiştir. Mekanizmanın seması ve yanma sürecinin fiziksel modelde gerçekleştirilen anlık fotoğrafları Şekil 2'de

gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, MR-2 Yanma Odasının özelliği, geometrisinin “8”e benzeyen iki eşit bölgeye ayrılmasıdır. Emme ve sıkıştırma süreçlerinde yanma odasının bu bölgelerinde farklı yöntemlerle birbirinin tersine aynı hızda dönen iki türbülanslı döngü hareketi oluşturulur. Yanma Odasının buji yerleşen bölgesinde Hava Fazlalık Katsayısı (HFK)  $\varphi=0,6...0,9$  arasında değişen zengin karışım, diğer bölgesinde ise sadece hava yer almaktadır. Her iki döngü aynı hız ve momentuma sahip olduklarından dolayı, iki bölgedeki dolgu ateşleme anına dek birbirleriyle karışmamakta ve böylece motorun tüm çalışma rejimlerinde yakıt-hava karışımı kademelenmiş şeklini korumaktadır. Döngüler emme zamanından itibaren gerçekleştirildiği için yakıt-hava karışımını da bu süreçte silindirin dışında (manifolfta) oluşturmak ve günümüzde seri üretimi yaygınlaşmış elektronik sıvı ve gaz yakıtları püskürtme sistemlerinden veya gaz karıştırıcısından yararlanmak mümkündür (Mehdiyev, 2000; Mehdiyev vd, 2011).

MR-2 YO'sunun diğer bir avantajı, sıkıştırma oranını vuruntu oluşturmadan optimum seviyelerine dek ( $\varphi=13 - 15$ ) artırılabilmesidir. Odanın bir bölgesinde zengin karışımın



**Şekil 2.** Çift döngülü MR-2 Yanma Odasının şeması ve fiziksel modelde yanma sürecinin anlık fotoğrafları.

( $\varphi=0,6-0,9$ ) yakılması ile oluşan eksik yanma ürünlerin (CO ve H<sub>2</sub>), ikinci bölgesinde ise hızla dönen türbülanslı ortamda yanabilmesi sebebiyle vuruntu olayı önlenmektedir. Bu YO'nun diğer bir avantajı, alışılmış YO'da soğuk cidarlarda kaçınılmaz olan alev cephesinin sönme olayının önlenilmesidir. Bunun sebebi, Şekil 2'den de görüldüğü gibi, yanma olayının birbirinin tersine dönen türbülanslı ortamda gerçekleştirilmesiyle alev cephesi YO'nun sağ ve sol cidarlarından yanmamış karışımı sıyrıp odanın merkezine – en sıcak bölgesine sürükleyerek oksitlenme reaksiyonların alev sönmesi olmadan devam edebilmesidir.

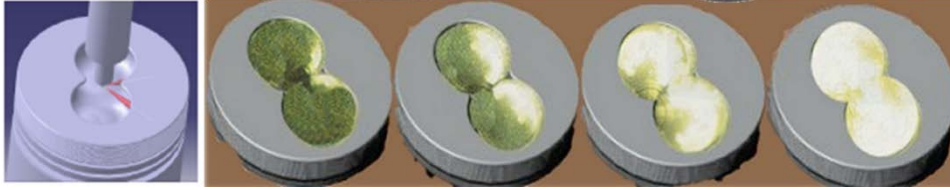
Böylece, söz konusu YO bir taraftan motorun tüm yük rejimlerinde genel bileşimi fakir olan ( $\varphi=1,2...2,0$ ) en yüksek derecede kademelenmiş yakıt-hava karışımının Çift Döngülü Hava Ortamında yakılması, diğer taraftan ise yüksek sıkıştırma oranının ( $\varphi=13...15$ ) kullanılabilmesi ve alev cephesinin sönme olayının önlenmesi gibi temel şartların sağlanabilmesi, verimli ve düşük emisyonlu motor geliştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmalar, MR-2 YO'nun dizel sürümünün geliştirilmesine de sebep olmuştur. Dizel prensibi ile çalıştırılması öngörülen motorun Çift Döngülü MR-2 yanma odalı pistonu ve yanma prosesinin simülasyon resmi Şekil 3'de gösterilmiştir. Bu sürümde da YO piston üzerinde sekize benzer şekilde dizayn edilmiştir. YO oyuğunda yanma işleminden önce birbiriyle aynı hızda ve ters yönde dönen çift hava döngüleri oluşturulmaktadır. İki delikli enjektörün yardımıyla düşük basınçta (150-250 bar) hava döngüsü yönünde teğet olarak püskürtülen yakıtın yaklaşık %95'i yanma odası duvarına sıvanarak, duvarın sıcaklığı sayesinde buharlaşmaktadır. Duvarın sıcaklığı yanma oda hacmindeki 13:1...15:1 oranında sıkıştırılmış hava sıcaklığına nispeten 2 kat daha düşük olduğu için (300 – 350° C) piroliz işlemi engellenmekte ve eksik yanma ürünleri olan C veya PM- partikül madde, CO ve HC epey azaltıla bilinmektedir. Ayrıca, yanma süreci yakıtın buharlaşma sürecini takip ettiği için yanma sırasındaki basınç artış hızı azalmaktadır. Bu durumda Mach etkisi ile yanmış ürünlerin sıcaklığının ilaveten artırılması önlenerek NO<sub>x</sub> ve gürültü emisyonları da azaltılmakta ve böylece optimum hızla gerçekleşen yanma kanunu elde edilmektedir.

MR-2 yanma odalı dizel motoru sıkıştırma oranını düşürmeden LPG ve CNG gaz yakıtları ile de efektif çalışabilme yeteneğine sahiptir. Lakin dizelin mevcut sıkıştırma oranının oluşturduğu hava sıcaklığı gaz yakıtlarının kendinden tutuşması için yeterli değildir. Bu durum, dizel motorunu buji ateşleme prensibine dönüştürülmesini gerektirmektedir. Bu zaman yanma odasında hiçbir değişiklik yapmayıp, yüksek dizel sıkıştırma oranını koruyarak, sadece enjektörün yerine buji bağlayarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu

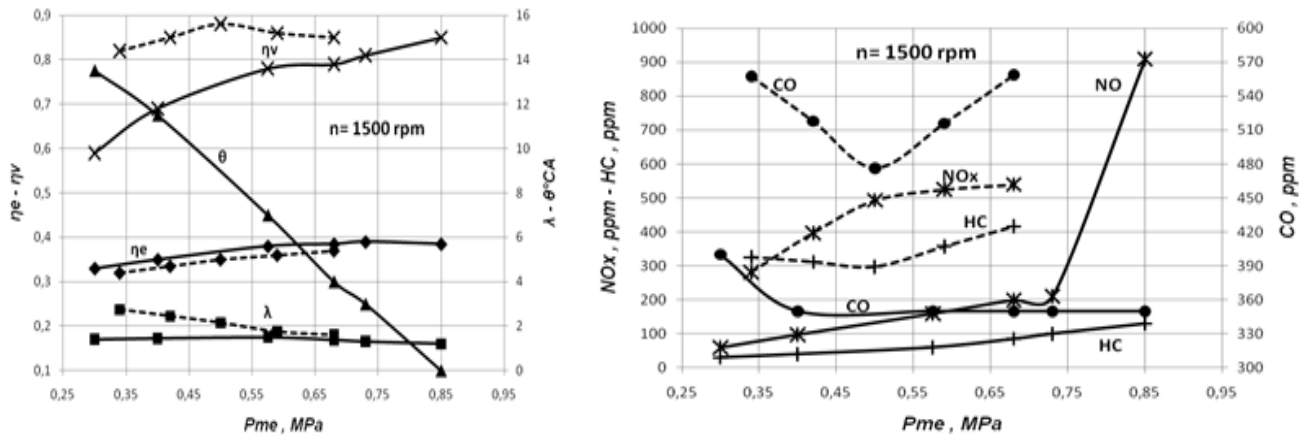


durumda gaz yakıtları, buji ateşlemeli motorlarda olduğu gibi, emme portu veya emme manifoldunda yer alan gaz enjektörleri (veya gaz karıştırıcısı) vasıtasıyla emme sürecinde silindire doldurulmaktadır.



**Şekil 3.** Çift Döngülü MR-2 yanma odasında "MR-Process" yanma mekanizmasının Dizel Prensibi ile gerçekleştirme şeması.

MR-Process Yanma Mekanizması kullanılarak, emisyon limit değerleri Faz IIIA Standardına cevap veren 4 silindirli bir traktör dizel motoru (S/D=110/104), **dünyada bir ilk olarak**, %100 LPG yakıtına dönüştürülmüş ve önemli sonuçlara varılmıştır (Mehdiyev, 2000). Şekil 4'de bu motorun maksimum tork ürettiği hız rejiminde ( $n=1500$  **d/dak**) ortalama efektif basınca ( $p_{me}$ ) bağlı olarak motor parametre ve emisyonlarının değişme grafikleri gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi, motor LPG yakıtıyla çalıştığında ortalama efektif basıncın (torkun) maksimum değeri  $p_{me}=0,85$  **MPa**, dizel motorunki ise  $p_{me}=0,676$  **MPa** olmuştur, yani motorun torku veya gücü LPG ile çalıştığında %25 civarında daha fazladır. Fakat  $p_{me}=0,85$  **MPa** değeri hava fazlalık katsayısının  $\lambda=1,1$  değerinde elde edildiği için (dizel sürümünde  $\lambda$  nin bu değerde



**Şekil 4.** Motor parametreleri ve Egzoz gaz emisyon değerlerinin karşılaştırılması  
 — MR-2 YO – LPG, - - - - Klasik Dizel YO

aşırı duman oluşturulduğundan dolayı kullanılmaz)  $NO_x$  emisyonu kabul edilemez seviyeye dek artmış olur. Bu yüzden gaz-hava karışımının maksimum zenginleştirilme oranı  $\lambda=1,36$  değeri ile sınırlandırılması gerekmektedir. Bu halde ortalama efektif basıncın maksimum değeri  $p_{me}=0,735$  **MPa** seviyesine düşse bile, yine de dizele göre güç %9 civarında daha yüksek kalmaktadır. Bu durumda tüm yük rejimlerinde LPG ile çalışan motor dizele göre daha verimli çalışarak ( $\lambda$  yüksektir), çok daha az kirlenici maddeler ( $NO_x$ ,  $HC$  ve  $CO$ ) üretmektedir. Şekil 4'den görüldüğü gibi, Faz IIIA Standardına cevap veren dizelle mukayesede LPG'li motorun emisyon değerleri, duman emisyonunun da sıfır olduğunu göz önüne aldığımızda, Faz IIIB, hatta Faz IV standardına uyacağı şüphe doğurmamaktadır.

#### 4. TÜLOMSAŞ Motorların "MR-Process" Yanma Mekanizması Kullanılarak Modernizasyon Çalışmaları

Yukarıda anıldığı üzere 1968 yıldan itibaren TÜLOMSAŞ fabrikasında Fransa S.E.M.T. (Socie'te' d' Etudes de Machines Terminus) Pielstick Firmasının artık süresi bitmiş lisansı ile yerli lokomotifler için dizel motorları üretilmekte, eski motorların ise revizyonu yapılmaktadır. Türk LOYDU No:TO.DEB, 12-0132/12-2466, 10.04.2013 Sertifikası ile Marine tipi olarak 16 silindirli TLM16V185 motorları Van Gölü ulaşımında da kullanılmaya başlanmıştır. Sertifika bilgilerine göre bu motorların gücü katalog değerinden %5,3 daha az (2400 karşılık 2271 BG), yakıt tüketimi ise yaklaşık % 9 kadar fazladır. Bunun esas sebebi, motorun performans ve verimliliğini, egzoz gaz ve gürültü emisyonlarını belirleyen yanma mekanizması 1940-50'li yıllarında geliştirilen Ön Yanma Oda yöntemiyle gerçekleştirilmesidir (Şekil 5,

A). Bundan dolayı revizyona alınan motorların gücü daha düşük, özgül yakıt tüketimi  $be \geq 210$  g/BGh civarında, egzoz gaz emisyon değerleri ise Faz I Standardı seviyesindedir. Hâlbuki Avrupa Birliğinin (AB) yayınladığı direktiflerle önümüzdeki yıllarda Faz III A ve Faz III B standardına uymayan lokomotif ve gemi motorlarının kullanımı engellenecektir. Bu yüzden TÜLOMSAŞ ağır dizel motorlarının biran önce modernize edilerek yenilikçi ve rekabetçi Milli Markaya dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla TÜLOMSAŞ motorunun "MR-Process" yanma mekanizması kullanılarak **Modernizasyonu ve Doğal Gaz Yakıtına Dönüştürülmesi** konusunda aşağıdaki **Üç Dönemli** proje çalışmalarının yürütülmesi öngörülmektedir:

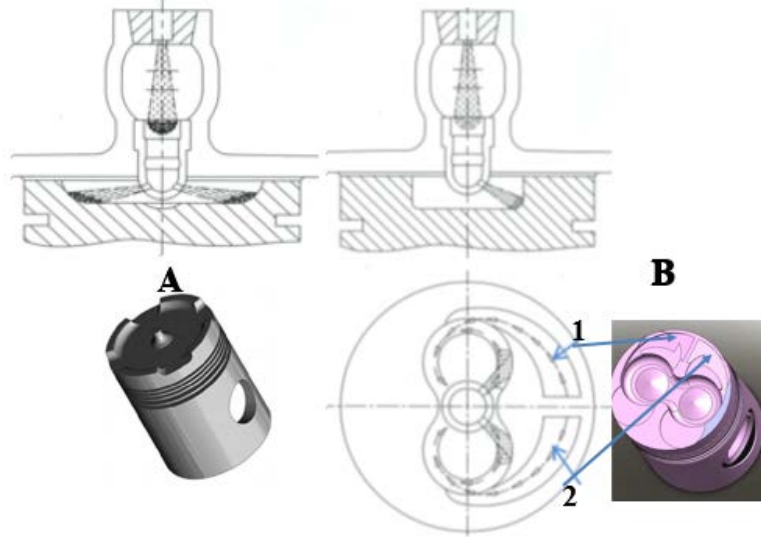
I. Modernizasyon çalışmaları,

II. Çift Yakıt (Duel Fuel) Sistemi ile motorun kısmen CNG yakıtına (%80 CNG ve %20 motorin) dönüştürülme çalışmaları,

III. Ön YO kaldırılmış şekilde Ters Yönlü Çift Helisel Emme Portlarına sahip Silindir kafasının yeni tasarım sonucu olarak sadece tek MR-2 YO sahip motorun Direkt Enjeksiyonlu sürümünün kullanımı ile Dizel Çevrimine ve %100 NG (CNG veya LNG) gaz yakıtının kullanımı ile Ötto Çevrimine dönüştürülme çalışmaları.

Modernizasyon çalışmaları olarak TLM16V185 Dizel Motorunun sadece Pistonu üzerinde Çift Döngülü MR-2 Yanma Odalı yeni imalat pistonları uygulayarak güç ve yakıt tüketiminin %10-15 civarında iyileştirilmesi ve Egzoz Gaz Emisyonlarının Faz IIIA Standardı seviyesine düşürülmesi mümkündür.

Şekil 5, B'de "MR-Process" Yanma Mekanizması ile çalışması öngörülen motorun şeması gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, motor üzerinde esas değişiklik sadece pistonu üzerinde Çift Döngülü MR-2 Yanma Odasının dizaynidir. Bu sürümde çift hava döngüleri pistonun sıkıştırma strokunda birbirinin tersine tasarlanmış iki adet orağa benzer kanalların (1 ve 2) yardımıyla havayı soldan ve sağdan "8" benzer Ana YO oyuklarına teğet olarak yönlendirilmektedir. Ön YO mevcut şekilde kalmaktadır. Burada değişiklik, onun sadece lülesinde (nozulunda) yapılmıştır; mevcut 4 delikli (Şekil 5, A) lüle bazında, iki delikli olarak tasarlanmış ve sıkıştırma sürecinde oluşan Çift Hava Döngülerine teğet olarak yönlendirilmiştir. Bu durumda ön YO'da tutuşan yakıt, basıncı artırarak yanmış ürünleri, yanmamış yakıtı ve oluşmuş is emisyonunu alev kümesi ile birlikte lülenin deliklerinden hava döngülerine teğet olarak püskürtüp yanma sürecini türbülanslı döngü ortamında gerçekleştirmektedir. Yanma sürecinin birbirinin tersine dönen türbülanslı ortamda gerçekleştirilmesiyle alev cephesi YO'nun sağ ve sol cidarlarından yanmamış karışımı, ön YO'da oluşan isı sıyrıp odanın merkezine - en sıcak bölgesine sürükleyerek yanma reaksiyonlarının alev sönmesi olmadan devam edebilmesini sağlamaktadır.



**Şekil 5.** Mevcut YO (A) ve Piston üzerinde MR-2 YO (B) tasarımı yapılan TÜLOMSAŞ Motorunun şeması

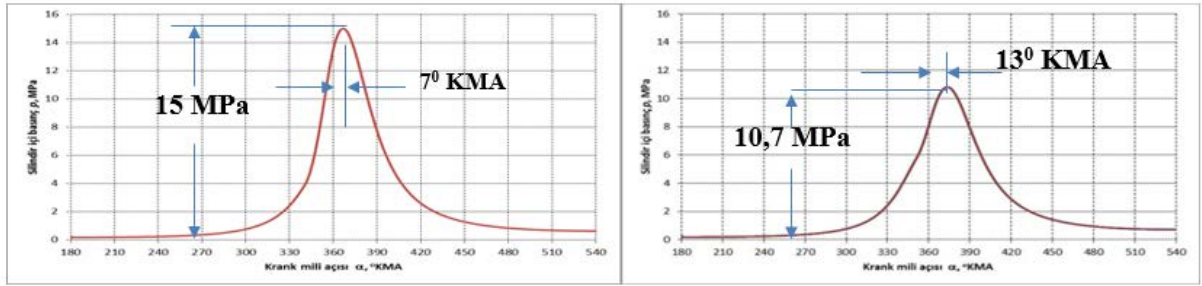
(1 - Sol ve 2 - Sağ Orağa benzer Kanallar).

Sadece piston üzerinde ana yanma odası olarak yer alan MR-2 YO kullanıldığında elde edilecek sonuçların ilkin değerlendirilmesi için teorik araştırmalar yapılmıştır. Tablo 1'de söz konusu motorun mevcut (konvansiyonel) YO ve MR-2 YO ile çalışma rejimi parametrelerinin aynı olması durumunda (motor devri  $n=1500 \text{ min}^{-1}$ , sıkıştırma oranı  $\epsilon=13,5$ , hava fazlalık katsayısı  $\alpha=1,45$ , volimetrik verim  $\eta_v=0,9$ ) elde edilen hesap sonuçları, Şekil 6'da ise teorik indikatör diyagramları karşılaştırılmıştır. Buradan görüldüğü gibi, mevcut YO kullanıldığında motorun güç ve özgül yakıt tüketiminin hesap değerleri Katalog değerleri ile örtüşmektedir;  $N_e = 2400$ 'e karşın **2350 BG**,  $b_e = 170$ 'e karşın **173 g/BGh**, yani kullandığımız hesap yöntemi gerçekliği doğru yansıtmaktadır. İndikatör diyagramların

karşılaştırılmasından anlaşıldığı gibi, söz konusu motor, mevcut YO ile çalıştığında yanma basıncı ÜÖN'den 7° geçtikten sonra  $p_{max}=15$  MPa'ya eşit olan maksimum değerine, MR-2 YO ile çalıştığında ise 13° geçtikten sonra  $p_{max}=10,7$  MPa değerine (%27 daha düşük değere) ulaşmıştır, yani yanma süreci genişleme sürecine kayarak, Çift Türbülanslı Döngü ortamında **optimum yanma sürecinin** gerçekleşmesi mümkün olmuştur. Sonuçta, Tablo 1'den görüldüğü gibi, motorun performans ve emisyon verileri iyileşmiştir; güç %3 ve efektif verim %13 civarında yükselmiş ( $N_e=2350$ 'e karşın **2423 BG**,  $\eta_e=0,367$  karşın **0,415**), özgül yakıt tüketimi **20 g/BGh** azalmış ( $b_e=170$ 'e karşın **150 g/BGh**), NOx emisyonu 2 kat kadar (**NOx= 875** karşın **441 ppm**), gürültü ise **3,2 dB** (**93,5'** karşın **90,3 dB(A)**) düşmüştür.

**Tablo 1.** TLM16V185 motorun farklı yanma odaları ile çalıştığında elde edilen termodinamik hesap sonuçlarının karşılaştırılması ( $n=1500 \text{ min}^{-1}$ ,  $\alpha=13,5$ ,  $\beta=1,45$ ,  $\gamma=0,9$ ).

YO tipi	$p_{max}$ , MPa	$\eta_e$	$N_e$ , BG	$M_e$ , Nm	$b_e$ , g/BGh	NO, ppm	Gürültü, dB(A)
Mevcut YO	15	0,367	2350	11007	173	875	93,5
MR-2 YO	10,7 (-%29)	0,415 (+%13)	2423 (+%3)	11348 (+%3)	150 (20 g/BGh)	441 (-2 kat)	90,3 (-3,2 dB)



**Şekil 6.** Motorun mevcut YO (solda) ve MR-2 YO ile çalıştığında teorik indikatör diyagramları.

## SONUÇLAR

1. TÜLOMSAŞ Motorunun mevcut yanma mekanizması 20. Yüzyılın 40-50'li yıllarında geliştirilmiş olan Ön Yanma Oda yöntemiyle gerçekleştirildiğinden dolayı günümüz ağır dizel motorların performans, verim, egzoz gaz ve gürültü emisyonları değerleri ile mukayesede çok geride kalmaktadır. Yapılan bir dizi teorik ve deneysel araştırmalarla tespit edilmiştir ki, başlangıç I. Dönem - fizibilite çalışması olarak 16 Silindirli TLM16V185 Motorunun sadece pistonu üzerinde MR-Process yanma mekanizmasını gerçekleştiren Çift Döngülü MR-2 Yanma Odasını uygulayarak motor gücünü %5÷10 kadar artırmak, egzoz gaz emisyonu limit değerlerini ise Faz 3 A Standardı seviyesine düşürmek mümkündür. Eğer bu teknoloji ile yılda 70 motor revize edilirse toplam yıllık tasarruf 25.200 ton dizel yakıtı veya yaklaşık 60-70 milyon TL seviyesinde olacaktır.
2. Tasarruf edilen miktarın sadece yarısından az bir kısmını harcayarak II. ve III. Dönem çalışmaları ile motorun daha kapsamlı modernizasyonunu gerçekleştirmek ve **hiçbir yapısal değişiklik yapılmadan, Dünyada bir ilk olarak** motor, %100 Doğal gaz yakıtına dönüştürülebilecektir. Bununla da geliştirilmiş TÜLOMSAŞ motorları yenilikçiliği ve rekabetçiliği ile Pielstick lisansı esasında hâlihazırda üretilmekte olan yurtdışı "kardeşlerinden" üstün bir farklılık sergilemiş olacaktır.
3. TÜLOMSAŞ A.Ş., süresi bitmiş Pielstick lisansı esasında 6, 8 ve 12 silindirli motor üretim olanakları ve kapasiteye de sahiptir. Bu durumda MR-Process yanma mekanizması temel alınarak, Sivil ve Askeri amaçlı gemiler, lokomotifler, iş makineleri, jeneratörler ve enerji santralleri için gücü 500 - 2800 kW arasında değişen, 6-8-12-16 silindirli Yenilikçi ve Rekabetçi Yerli Marka motorların seri üretimini gerçekleştirerek dışa bağımlılık ortadan kaldırılmış olacaktır.

## **KAYNAKÇA:**

- [1] Mehdiyev, R.I. ve Wolanski, P., 2000, Bi-Modal Combustion Chamber for a Stratified Charge Engine Advances in Combustion, SAE-2000-01-0196, 2000, p.p.53-61
- [2] Mehdiyev, R., Ogun, K., Babaoglu, O. vb., 2011. "The Twin Swirl "MR-Process" Combustion Mechanism and Conversion of Diesel Engines to Operate with Gaseous Fuels", 10th International Conference on Engines & Vehicles ICE2011, September 11-15, Capri-Napoli / ITALY, Proceedings DVD\_2011-24-0066.pdf, Book of Abstracts pp. 90, SAE 2011-24-0066, doi:10.4271/2011-24-0066. <http://papers.sae.org/2011-24-0066>

# REVIEW : THE POTENTIAL USE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN RAILWAY APPLICATIONS

Feras Naser<sup>1</sup>

<sup>1</sup>\* Private Consultancy Enterprise, Amman, Jordan, e-mail: [Feras\\_shadid@yahoo.com](mailto:Feras_shadid@yahoo.com)

## Abstract

Railways around the world are moving towards digitalization to enhance their operations. The integration of railway data with other transport modes data becomes a vital part of the next generation of digital transport systems. One of the challenges for further digitization is data integration and security. This situation remains a challenge across organization and industry boundaries. The blockchain is a new technology that might have the potential for acting as an enabler for the data integration and security challenge. In this paper a moderate literature review on the use of blockchain around different industries, in particular IoT applications, and in the railway context has been demonstrated. Opportunities and challenges that the blockchain technology can offer for the railway industry has been outlined.

The paper has also looked at railway related blockchain current and potential applications. A simple analysis of the technology for the potential adoption rate has also been discussed. It was found that the blockchain can offer a number of benefits including added security and decentralization, however it will have a moderate technology adoption rate before it reaches its transformative impact.

**Keywords:** Digital Railway, Blockchain, Data, Blockchain Applications, Technology Adoption Rate.

## 1. Introduction - The Digital Railway

The creation of better transport systems is a fundamental part of our progress as humans, the creation of faster, safer, smarter, more environmentally and user friendly mobility systems is part of our common transport vision [1]. The rail transport is recognized as a vital part of this vision. The development of what is called “the rail digital transformation” is one of the main components in the creation of the next generation of railway systems. The main technologies and solutions that have been seen as an accelerator to the digital transformation include Internet of Things (IoT), cloud computing, Big Data Analytics (BDA) and automation and robotics.[1][2] The adoption of these technologies will visibly recognize our arrival to what can be widely called “Industry 4.0”, “Railway 4.0” or the “Digital Railway”.

Railway technologies have taken significant steps into the automation and digitalization revolution, from signaling systems to remote condition monitoring systems, the railway is becoming more reliant on digital technology to achieve a higher performance and reliability. As a main component of digitalization, data has become an essential part in utilizing the digital revolution. [3] Railways around the world is collecting more data and many organizations are looking for better ways for utilizing this data, by making sure that it is integrated and can be utilized by different stakeholders in an effective manner that helps in adding value and enhancing railway operations. Data integration and valuable knowledge extraction has always been a challenge in the past decade, railway organizations are looking for smarter ways for integrating data and extracting more valuable knowledge out of it. The blockchain as a new technology might be able to provide a new enabler for data integration within different railway stakeholders in the railways and transportation industry, offering security and decentralization benefits.

Internet Of Things (IoT) has been identified as a key direction for further automation and digitalization of the railway.[1][2][3] In this paper the author will mention some of the examples which have utilized the blockchain within an IoT application, what are the advantages that the blockchain has provided to IOT and what are the disadvantages or challenges that still remain to be solved. The technology requires a high degree of cooperation from multi actors [4] within different transport organizations which raise the questions related to the “when” and “how” to utilize the benefits of the blockchain within the railway context.

In this paper the author has conducted a moderate literature review on the use of blockchain around different industries, in particular IoT applications, and in the railway context, he has gathered evidencies on opportunities and challenges that the blockchain technology can offer, then he adopted a simple model on looking at the technology adoption rate by looking at the adoption rates of different technologies and innovations before they gain mainstream acceptance across industries, the paper has also looked at different railway applications that is already experimenting with the blockchain or might have the potential for blockchain utilization. Eventually, the paper introduces the benefits that have been gained from the usage of blockchain and the challenges that remain to be solved.

## **2. Blockchain and Smart contracts**

The Blockchains are a group of distributed and decentralized data records (ledgers) that is linked to each other through a cryptology process called hashing; transactions of data happens between these blocks who has a unique hash value which can be uniquely identified using a public key. [5][6] Every transaction is verified by other blocks using the public key, a valid hash key is necessary for forming a new block. New blocks are generated by a competitive process of other actors (blocks) in the network in a process called consensus, there are different consensus mechanisms that can generate a new block in the chain, the consensus mechanisms that is used by the most popular cryptocurrency network is called "Proof of Work". Other consensus mechanisms are available; those mechanisms include "Proof of Stake", "Proof of Elapsed Time" and "Proof of Authority". The mentioned mechanisms are not comprehensive but rather serve as examples for some of the consensus mechanisms that are available.

The features of the block chain that it grows to become a distributed, decentralized network of data records. Transactions happen on a peer to peer basis without a central authority, or a middle man, all of the transactions that happen on the block chain will be verified by other blocks in the network and all the transactions will be recorded in every block. This provides a great level of security, decentralization and transparency. The benefits of the blockchain are greater level of security, transparency and tractability. Other benefits include increasing efficiency, speed and cost reductions. However, it should be noted that in the process of applying the blockchain, some of these benefits cannot be realized on an early stage. [7]

Smart contracts are applications that are used to transact data across the block chain, sometimes they are called Decentralized Applications (DApps), smart contracts provide the interface with blockchain users on the type of data that is being transferred across the network. They are applications that execute themselves based on predefined conditions and attributes. In the railway context, you would expect different condition monitoring sensors to be the blocks of the block chain, while a preventive executable maintenance software to be the smart contract. Another example can be that, track circuits, axle counters and trains to be the blocks of the network while the decentralized application or the smart contract to be the control and the scheduling system. [5][6][7][8].

## **3. IoT, Blockchains and Railways**

One of the key dimensions in the future development of higher levels of automation in railway systems is through the use of Internet of Things (IoT) applications.[1][2][3] This can be seen through the development of the next generation of control and monitoring systems. IoT applications have been increasing rapidly in many sectors across the globe, from agriculture to space. The IoT application will consist of a group of layers, those layers are a perception layer, a network layer and an application layer. The use of blockchain within these layers might promise of a higher level of security, decentralization and automation. Several studies have been investigating the use of Blockchain within an internet of thing (IoT) application. In this section we will be doing a review on the use of blockchain within IoT applications and the successful use of blockchain applications in general.

IoT have been developed to become a decentralized system of cooperation among smart objects.[8] Yet, current IoT systems are cloud based computing infrastructure which manifests a number of significant disadvantages includes difficulty of supporting time critical IOT applications, security and

trust related issues and high cloud server maintenance costs.[8][10] Blockchain has been seen as an ideal solution that can help in overcoming these challenges; however, the actual experiments are still being developed around the world. Some of the potential blockchain applications across different industries can be seen in Table 1 underneath.

**Table 1 Potential Areas of Application for the blockchain**

Potential Blockchain Areas of Applications
<b>General IOT – Energy – Railways – Industrial Applications</b>
1- Data storage management, the blockchain can be used to store access control data as data storage systems in a multi-tier IoT architecture. 2- Trade of goods and data, identity management. 3- Rating system 4- Manage firmware updates for IoT devices. 5- Demand manufacturing. 6- Smart diagnostics and machine maintenance 7- Traceability. 8- Supply chain tracking. 9- Product certification. 10- Consumer to machine and machine to machine transaction. 11- Tracking supplier's identity and registry of assets and inventory.
<b>HealthCare</b>
1- Securing patient and provider identities; 2- Managing pharmaceutical and medical device supply chains; 3- Clinical research and data monetization; 4- Medical fraud detection; 5- Public health surveillance; 6- Enabling truly public and open geo-tagged data; 7- Powering many Internet of Things-connected autonomous devices, wearables, drones and vehicles, via the distributed peer-to-peer apps they run, to deliver the full vision of smart healthy cities and regions; and 8- Blockchain enabled augmented reality in crisis mapping and recovery scenarios, including mechanisms for validating, crediting and rewarding crowdsourced geo tagged data, 9- Research and Innovation.
<b>Trust</b>
1- Building trust among individuals
<b>Railways</b>
1- Mapping a complete supply chain. 2- Automation of internal accounting process. 3- Conducting contracts between machines and objects. 4- Blockchain technology with Internet of Things (IoT) to manage signaling, passenger information systems, ticketing and goods delivery.

A systematic literature review was found in the literature, it has reviewed the usage of blockchain for IOT applications focusing on issues of integrity, anonymity and adaptability. [8] It has reviewed 18 use cases were four are specifically designed for IoT applications. The study has categorized the reviewed use cases into Data storage management, trade of goods and data, identity management, rating system and others. Several issues have been reported in the review, in terms of adaptability, two main scalability issues have been recorded, the first is that the large number of transactions generated by sensors data becomes expensive to store on the blockchain. The second issue is related to the low throughput transactions. In terms of integrity or security, it was concluded that the most secure approach to develop IoT applications can happen is of top of an already existing stable blockchain,[8] this blockchain should have a great number of honest miners who can ensure the integrity. In terms of anonymity it was found that Pseudonymity is not enough to achieve total anonymity, it was found that there is a possibility of linking IoT devices to their owners, thus future solutions on this issue has to be developed.

A hybrid-IoT blockchain architecture has been developed [14] using IoT devices as proof of work formation and given the name "POW sub-blockchains formations". The performance and security

evaluations prove the validity of the architecture under specific guidelines. One of the biggest challenges is integrating blockchain to IoT is scalability, the optimal blockchain architecture has to scale to many IoT devices and should be able to process the high throughput transactions.[8][14][11]

Another study for the potential utilization of blockchain in IoT applications has been conducted through the development of Blockchain platform for industrial IoT (BPIIoT).[12] The new platform has been proposed to exploit smart contracts to develop a decentralized manufacturing applications of cloud based manufacturing. The applications that a BPIIoT can help with includes on demand manufacturing, smart diagnostics and machine maintenance, Tracability, Supply chain tracking, product certification, consumer to machine and machine to machine transaction, tracking suppliers identity and registry of assets and inventory.[12]

Other studies included the use of blockchain to manage firmware updates for IoT devices. Another study uses the blockchain to store access control data as data storage systems in a multi-tier IoT architecture. It should be noted that many of the blockchain applications that have been seen in the architecture does not help in the decentralization of IOT devices. [13] [4]

Filament, LO3 Energy and Slock.it are all startups that has been building the blockchain as a layer to enable IOT devices. Slock.it a company that is based in Germany developed a blockchain smart contract that can help you pay for locks, they believe that the solution to scalability issue is state channels where you would have a local network that is connected to the global network through a main channel that will do the transactions verifications. Many solutions in this area seem to emerge.[6]

Another interesting study [15] has linked the use of blockchain, internet of Things (IoT) and ontologies. The usage of this interesting mix of technologies was targeted at the granular evaluation of physical goods (e.g., tracking ingredients of a pharmaceutical or demonstrating authenticity of luxury goods) has often not been possible with today's items that are produced and transported in complex,interorganizational, often internationally spanning supply chains. A case on how ontology can contribute in blockchain design has been demonstrated, some ontology tracability has been analyzed and some of its representations were translated into smart contracts that execute the provenance trace to enforce tracability constraints on Ethereum. [15]

Sharing healthcare data for research purposes will boost research innovation; however, healthcare data sharing raises many privacy and security concerns for patients. A study [16] has been conducted showing that a blockchain technology can facilitate a (i) private and auditable healthcare data sharing and (ii) healthcare data access permission handling by proposing a blockchain-based system architecture design. Blockchain solutions in the healthcare industry that are currently being explored for: (1) securing patient and provider identities; (2) managing pharmaceutical and medical device supply chains; (3) clinical research and data monetization; (4) medical fraud detection; (5) public health surveillance; (6) enabling truly public and open geo-tagged data; (7) powering many Internet of Things-connected autonomous devices, wearables, drones and vehicles, via the distributed peer-to-peer apps they run, to deliver the full vision of smart healthy cities and regions; and (8) blockchain enabled augmented reality in crisis mapping and recovery scenarios, including mechanisms for validating, crediting and rewarding crowdsourced geo tagged data, among other emerging use cases. The new concept of Geospatially-enabled blockchain solutions has emerged [17] these solutions exist today that use a crypto-spatial coordinate system to add an immutable spatial context that a regular blockchains might lack. These geospatial blockchains do not just record an entry's specific time, but also require and validate its associated proof of location, allowing accurate spatiotemporal mapping of physical world events. It is highly expected that blockchain technologies to become increasingly more powerful and robust, as they become coupled with artificial intelligence (AI) in various real-world healthcare solutions involving AI-mediated data exchange on blockchains.[16][17]

A new area of study has emerged is building trust among individuals,[18] a solution called TrustChain was proposed that is capable of creating trusted transactions among strangers without central control. TrustChain is a permission-less tamper-proof data structure for storing transaction records of agents. The solution included an immutable chain of temporally ordered interactions for each agent. It is inherently parallel and every agent creates his own genesis block. TrustChain includes a novel Sybil-resistant algorithm named *NetFlow* to determine trustworthiness of agents in an online community. NetFlow ensures that agents who take resources from the community also contribute back.



The solution propose irrefutable historical transaction records which offer security and seamless scalability, without requiring global consensus. Experimentation shows that the transaction throughput of TrustChain surpasses that of traditional blockchain architectures like Bitcoin.[18]

## **4. Blockchain for Railway Applications**

### **4.1 Blockchain as an enabler for Remote Condition Monitoring (RCM) data utalization**

Remote condition monitoring is a well established concept in the railway industry, the physical and operational conditions of different railway system assets (trains, track, switches, point machines .... etc) is being monitored through a network of sensors that can provide data on the possibility of failure or the need for an effective maintenance for a particular asset. It has paved the way for further automation in maintenance and operations in the railway systems.

The utalizacion of sensors data by different stake holders in the railway industry and the actual cost/benefit analysis has proposed a challenge for the railway industry, the possibility of one stakeholder to collect data while this particular data to be leveraged by another stakerholder is still not fully realized. This is not specifcally realted to the rail industry accross sectors. For example, the possibily of healthcare institutaion to leverage travel and transport data by decitatating a specific travel pattern for the patient that promotes further walking and cycling for better health control would be a case where cross sector data could have been utalized.

For the railway industry and in order to achieve better data utalization among different stakeholder and among different sectors, a number of enablers are seen to be implimented, some of the proposed enablers are ontologies, eterprise software bus (EBS), linked open data and the blockchain. The block chain can bring a number of benefits to the railway industry, these benefits can be in an added security of IoT nodes and further data integration and utalization through a micropayment scheme. However, there are some challenge including the distribution of illigal content accross the blockchain which might include “innocent nodes” as all the trasnactions that happened in the blockchain will be recorded in all the blocks. The technology has not reached the maturity needed for mainstream adoption, however it is the right time for building prototypes and experimentation.[4]

### **4.2 Railway Organizations experimenting with the blockchain around the globe**

A number of organizations accross the globe are experiementing with blockchain tecchnology for various applications in the rail industry. DB systel is working on the digitalization of the railway industry and the have seen a potential application in terms of mapping a complete supply chain, automation of internal accoutning process and conducting contracts between machines and objects. It was reported that over a nine month period, the Russian Railwas (RZD successfully carried more than 5000 freight consignment via an electronic trading platform that is powered by blockchain technology.It was also reported that the State Railway of Thailand (SRT) is investing in blockchain technology with Internet of Things (IoT) to manage signalling, passenger information systems, ticketing and goods delivery.[19][20]

## **5. Challenges and Opportunities**

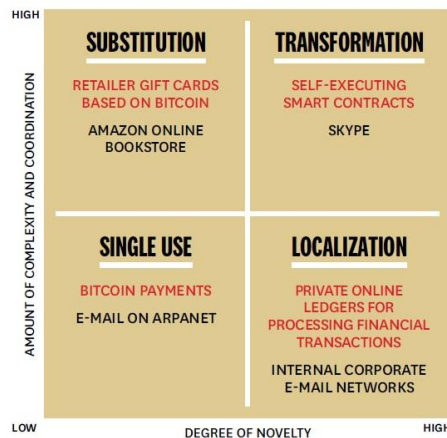
The opportunities that the blockchain has promised to achieving for IoT and railway IoT applications includes reduction of cloud server maintenance costs, support of time critical application, resilience and security, trust, scalability and decentralization. [6][8] There are still a number of challenges that is facing the blockchain usage in IoT applications and in the railway industry in particular, these challenges includes cost, scalability, anonmyity, integrity, efficiency, privacy, regulation, awariness, smart contract vulnerabilites, building trust, gainging full participation of all stakeholders and data standarization. A detailed mentions of some of these challenges and opporunties can be seen in the table 2 underneath.

**Tabel 2 A List of opportunities and challenges of blockchain in IoT**

Blockchain Benefits
1- Greater level of security. 2- Transparency 3- Traceability. 4- Increasing efficiency and speed 5- Cost reductions.
Potential Blockchain Promising Benefits to IoT Applications
1- Higher level of decentralization. 2- Higher levels of security and trust. 3- Higher levels of support to time critical IoT applications. 4- Reduction of cloud server maintenance costs.
Potential Area of Cocern for the Usage of Blockchain within IoT applications
Scalability
1- Large number of transactions generated by sensors data becomes expensive to store on the blockchain. 2- A low throughput transactions
Security
1- it was concluded that the most secure approach if develop IoT applications can happen is of top of an already existing stable blockchain, this blockchain should have a great number of honest miners who can ensure the integrity. 2- the distibution of illigal content accross the blockchain which might include “innocent nodes” as all the trasnactions that happened in the blockchain will be recorded in all the blocks
Anonymity
1- it was found that there is a possibility of linking IoT devices to their owners, thus future solutions on this issue has to be developed.
Costs
1- Storing sensors data on the blockchain might become expensive and impractical

## 6 . Adoption of Blockchain Technology Study

The adoption of any new technology has to go through a number of phases, there are some technologies that can spread accross the globe within a very short time, others might take longer time to become mainstream. The blockchain has a number of organizational, technical and value proposition barriers that it needs to overcome to become a mainstream industrial technology. For the rail and logistics world to successfully realise the prospective benefits of the blockchain offer, Four pre-conditions must be met: building trust, gaining the full participation of all stakeholders, overcoming technical challenges and data standardisation. Figure 1 [8] shows the different impact levels of some of technologies around the united states based on the levels of complexity and novelty, while the blockchain-smart contract considered to be a transormative industry, it has to be futher developed and to has go into futher stakeholders participation in order to achieve it is transormative impact.



**Figure 1 The impact of novelty and cooperaion on the technology visible impact**

It is not only about stakeholders participation and novelty, sometimes the type of technology application user affects the speed needed for the technology to become mainstream, social media and smartphone will spread more rapidly than refrigerators and cars. Figure 2 [23] shows the adoption rates for different technologies in the US since the 1900. We expect the blockchain technology to have a medium range adoption rate comparing with other technologies, due to complexity, novelty and current application users.

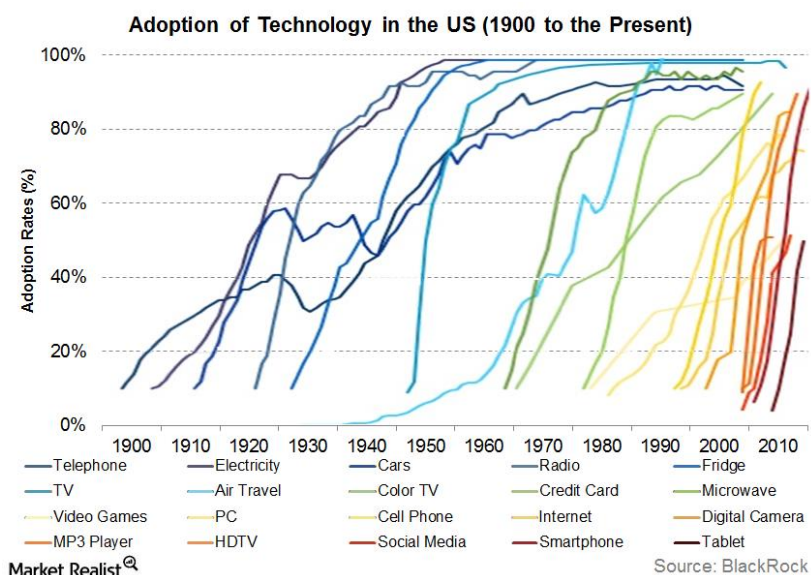


Figure 2 Different Adoption rates of different technologies and innovation in the US since 1900 [23]

## 7. Conclusions and Futher Work

Railways around the world are moving towards digitalization to enhance their operations. The blockchain is a new technology that might have the potential for acting as an enabler for the data integration and security challenge. It has many benefits and applications; some of these benefits are reduction of cloud server maintenance costs, support of time critical application, resilience and security, trust, scalability and decentralization. However, the technology needs to be further developed to overcome challenges such as scalability, security, anonymity and cost among others. In this paper a moderate literature review of some of blockchain applications in the field of IoT has been demonstrated, in particular, the use of blockchain in different industries.

The paper has also looked at railway blockchain related current and potential applications. A simple analysis of the technology potential adoption rate has also been discussed. It was found that the blockchain can offer a number of benefits including added security and decentralization for several railway applications, however a quick analysis on technology adoption rate has shown that the technology might have to go through a phase of moderate adoption rate before it reaches its transformative impact.

## 7. References

- [1] Pieriegud, J., Digital Transformation of Railways, Siemens Sp. z o.o., Poland, ISBN 978-83-950826 0-3, 2018.
- [2] TSLG, The Future Railways – The Industry Rail Technical Strategy 2012 - Supporting Railway business. 2012.
- [3] RSSB, Enabling innovation in the rail industry, 2012.
- [4] Easton J.,(2018) Blockchains : A Distributed Data Ledger for the railway industry, *innovative applications of big data in the railway industry*, IGI global. Hershey PA, USA.

- [5] Conoscenti, M., Vetrò, A. and Martin, J., Blockchain for the Internet of Things: a Systematic Literature Review, 2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA), Nov. 29 2016-Dec. 2 2016.
- [6] Ramachandran, S., Krishnamachari, B., Blockchain for the IoT: opportunities and challenges. ... 2018.
- [7] DB Systel Team, DB systel GmbH/Blockchain, www.dbsystel.de, Frankfurt am Main, Germany.
- [8] Lansiti, M. and Lakhani, K., Article Technology: The truth about the blockchain, Harvard Business Review, Jan-Feb 2017.
- [9] Konstantinidis, I., Blockchain for Business applications: a systematic literature review, Part of the Lecture Notes in Business Information Processing book series (LNBIP, volume 320), 2018.
- [10] Huh, S., Cho, S., Kim, S., Managing IoT devices using a blockchain platform, 19<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2017.
- [11] Kosba, A., et al., Hawk the blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts, 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy, 848- ,2016.
- [12] Bahga. A., Madiseti. V., Blockchain Platform for Industrial Internet of Things, Journal of Software Engineering and Applications, 2016, 9, 533-546.
- [13] Zhang, Y., Kasahara S., Shen, S. and Jiang, X., smart contract based access control for the internet of things, arXiv:1802.04410, 2018.
- [14] Gokhan, S., Carminati, B., Ferrari, E., Sheehany, J., R, Hybrid-IoT: Hybrid Blockchain Architecture for Internet of Things - PoW Sub blockchains, arXiv:1804.03903v3, 2018.
- [15] Kim, H., Laskowski, M., toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance, intelligent systems in Accounting, Finance and Management, 2018.
- [16] Theoduli. E., et al, On the design of a blockchain-based system to facilitate healthcare data sharing, 2018 17<sup>th</sup> IEEE International conference on Trust, Security and Privacy in computing and communications/ 12<sup>th</sup> IEEE international conference on Big Data Science and Engineering, April, 2018.
- [17] Kamel Boulos, M., Wilson, J. and Clauson, K., Geospatial blockchain promises challenges, and scenarios in health and healthcare, International Journal of Health Geographics, pp17:25, 2018.
- [18] Otto, P. Vos, M and Pouwelse J, TrustChain: A Sybil-resistant scalable blockchain, Future Generation of Computer Systems, 2017.
- [19] Morant, S., How can blockchain open up new opportunities for rail freight, International Railway Journal, June, 2018.
- [20] Kuperberg, M., Vecsei, B., A blockchain use case in the D\_Marketplace, online presentation, TeleTrust Conference Blockchain Day, Frankfurt am Maim, 2017.
- [21] Kouzinopoulos, C., et al., Implementing a forms of consent smart contract on an IoT-based blockchain to promote user trust, 2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2018.
- [22] Dziembowski, S., Eckey, L., Fausty S., Malinowski, D., Perun: Virtual Payment Hubs over Cryptocurrencies, 2019 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Fransisco, CA, US, , pp. 327-344. doi:10.1109/SP.2019.00021
- [23] Rick Rieder, "Tech adoption rates have reached dizzying heights", Market Realist, <https://finance.yahoo.com/news/tech-adoption-rates-reached-dizzying-14322158> ,December 2015.

# Status of Indian Rail Transport – A Glance

Shanmugam Packialakshmi<sup>1\*</sup>, Bharkava Teja Srikanta<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Sathyabama Institute of Science and Technology, Chennai, India, packialakshmi.civil@sathyabama.ac.in

<sup>2</sup> Sathyabama Institute of Science and Technology, Chennai, India, bharkavatejasrikanta@gmail.com

## Abstract

India is the seventh biggest country in the world. Total area of India is estimated to be 32, 87,240 square kilometer. Population of India is estimated as 1.32 Billion (as per Census 2016). Hence, it is very important to develop seamless accessible public transport. Indian Rail Transport is the largest rail network in Asia and the world's second largest under one management. Indian Railways are a multi-gauge, multi-traction system covering over one hundred thousand track kilometers carries near about 30 million passengers daily and it reaches to the remotest parts of the country. The above results are increasing its demand year after year. Thus the present study aims to give a brief overlook on the Indian Railway system and highlights the challenges that need to be take care to achieve the technologically viable system.

## 1. Introduction

Rail transport has emerged as one of the most dependable modes of transport in terms of safety. Trains are fast and the least affected by usual weather turbulences like rain or fog, compared to other transport mechanisms. Rail transport is better organized than any other medium of transport. It has fixed routes and schedules. Its services are more certain, uniform and regular compared to other modes of transport. Rail transport originated from human hauled contraptions in ancient Greece. Now it has evolved into a modern, complex and sophisticated system used both in urban and cross-country (and continent) networks over long distances. Rail transport is an enabler of economic progress, used to mobilize goods as well as people. Adaptations include passenger railways, underground (or over ground) urban metro railways and goods carriages. Rail transport has some constraints and limitations also. One of the biggest constraints of rail transport is heavy cost. Trains need high capital to build and maintain and the cost is magnified when a whole rail network is to be built. The cost of construction, maintenance and overhead expenses are very high compared to other modes of transport.

### 1.1 Advantages of Railway Transport:

The following are the main advantages of Railway Transport:

**Employment:** Railways are an important source of employment in India. Lakhs of skilled and unskilled people are employed in operating the railway. It also creates many opportunities of employment.

**Encouragement to Tourism:** The connectivity of Railways to various tourist spots gives encouragement to tourism. Railways sell circular tickets to the tourists to -remote tourism.

**Helpful during Calamities:** During natural calamities railways help the stranded persons to reach their destinations and these are helpful during famines by carrying food grains from surplus to affected areas.

**Social Importance:** Railways here tied the people in on string. They have shortened the distance and developed the outlook of people.

**Strategic Importance:** These are useful for internal security of country and also carry the defense material to various locations during external threat.

**Help in Internal Trade:** By connecting various areas of the country railways have made internal trade convenient. They carry goods and passengers to various places easily.

**Development of Agriculture:** Railways have commercialized agriculture. Now farmers do not produce for self-consumption only but also for sale in the market.

**Growth of Markets:** Railways have increased the size of markets. Bulky goods can easily be transported by Railways.

**Mobility of Labour and Capital:** Railways have increased the mobility of labour and capital which has contributed to the rapid industrialization of the country.

## 1.2 Disadvantages of Railway:

**Railway Accidents:** The incidence of railway accidents in our country is greater as compared to other countries of the world. Accident occurs due to the errors and negligence of the employees.

**Outdated Technology:** The technology used in railways is quite outdated. It needs to be modernized.

**Problem of Replacement:** Railway Engines, wagons and other equipment's are quite old and these require replacement. It is a huge expenditure.

**Problem of laying Double Line:** Most of the railway lines are single lines. It creates great inconvenience to railway organization and passengers.

**Not Door to Door Service:** Railways do not provide door to door service like road transport.

**Lack of Flexibility:** Another disadvantage of railway transport is its inflexibility. Its routes and timings cannot be adjusted to individual requirements.

## 2. Review of Literature

Raghuram and Rachna Gangwar (2007) states that Indian Railway needs to respond to the industry specific needs by interacting with them regularly. There is a potential for Indian Railways provided high capacity wagons, special purpose wagons, bigger train loads, closed circuit rakes and round the clock operations are given significant focus based on the customer specific requirements.

Manmohan Parkash (2008) summarized that railway industry has been transformed to face the challenges of a market economy. Such transformation includes a continuous restructuring of the organization and its working methods and the introduction of some of the most modern processes and techniques available adapted to best suit the prevailing scenario.

Vivek Kumar and Vikas Rastogi (2009), reveals Indian Rail transport is one of the major mode of transportation, so it must offer high comfort level for the passengers and the staff. However, the comfort that passengers experience is a highly complex and individual phenomenon. The improvement of passenger comfort while travelling has been the subject of intense interest for many train manufacturers. The study conducted by Anand Sharma & Mathew Manimala (2007) stated that budgetary support from the Central Government was dwindling and its financial situation did not allow higher budgetary support to the Ministry of Railways, besides the competition from road and air was increasing

Aamna Shakeel Abbasi et al (2010) have found that the customer expectations regarding the services is the most dynamic verb in the lexis of customer satisfaction is 'to improve'. Hence the railways like other industries are realizing the significance of customer centered philosophies with the overall goal in terms of customer satisfaction. Indian Railways is the largest railway in Asia and fourth most heavily used in the world, it plays key role in India's social as well as economic development. Further, it is cheap and affordable means of transportation for millions of passengers and carrier of bulk freight

The Indian Railways (IR) is playing leading role in different transport systems in India. The Railways have wide network all over India as well as extensive technical, operational and commercial characteristics. Such a vast transport system needs regular and extensive studies on different areas of the railways. There is research and development wing in the Indian Railways whose prime responsibility is limited to technological development. Few studies have been carried out in the field of Indian Railways in which considerable number of studies are either on good transport or transport management. But there are no studies done so far on trends of different variables of Indian Railways as a whole, such as trend in length of railway track, various goods transported, revenue receipts from good transport, passenger transport, expenditure on various variables etc.

### **3. History of Indian Railways**

Railways are the most important form of transport system. The first railway line was laid between Mumbai and Thane in 1853. It was a distance of 22 miles. In 1950, total route length of railway line was 34000 miles. Number of locomotives was 5210 and number of passenger coaches was 19630 and number of wagons was 26000. Initially, the railways were operated by private companies owned by Englishman. In 1950 Govt. of India had taken over the entire railway system in the country. It is now the biggest nationalized undertaking in Asia and fourth largest in the world. After the implementation of economic planning, up to 2000-01, freight transport has increased at an annual average rate of 3 percent and passenger traffic has increased by 3.5 times. Indian railways have 18 lakh employees and run 13500 trains daily.

#### **3.1 Growth of Railway Industry**

- In the last 10 years, revenues from the passenger segment expanded at a significant rate, with the total revenue earnings in FY17 totaling to around US\$ 7.2 billion. Passenger earnings stood at US\$ 6.8 billion during April-February 2017-18.
- As of February 2017, Indian Railways to manufacture semi high-speed, 160 kmph "world-class" train under Make in India initiative, comprising 16 fully air-conditioned coaches. The new train will be manufactured at half of the import cost, at the Integral Coach Factory, Chennai, Tamil Nadu.
- With eight metro rail networks spread over a length of 370 kilometres (km) and over two dozen metro projects lined up, India's metro rail network is expanding at a fast pace. The Government of India has allocated US\$ 2.21 billion for metro projects in Budget 2018-19.
- Increase in the demand for passenger trains is supported by urbanization, improving income standards, etc.
- India Railways is collaborating with Russian Railways to work on 575-km long stretch between Secunderabad and Nagpur, which would allow the trains to run at speeds of more than 200 km/hr
- In January 2017, the Indian Railways and UNESCO signed an agreement, for setting up a rail link between neighbouring countries like Bhutan, Nepal, Bangladesh and Myanmar.
- In March 2017, the government signed the TIR – Transport Internationaux Routiers or International Road Transports, under the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), to ease trade with other countries.

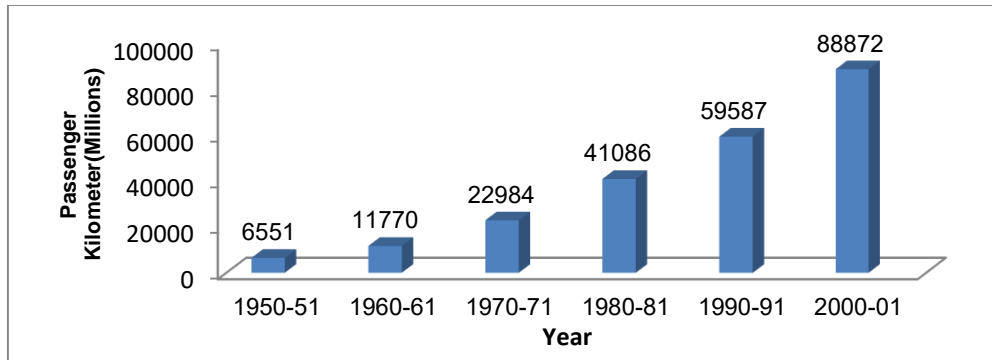


Figure 1 Growth in suburban rail usage

As per the report of Indian Railways (2001), the Suburban rail usage has sharply increased over the past five decades, with a 14-fold growth in passenger km of travel (Figure 1). Table 1 shows the comparison between the passengers of rail transport and air transport which depicts the higher level of passenger preference is only towards the rail transport. India appears on the second position in the list of passengers carried in rail transport per year (Countries with more than 500 million passengers) as shown in Table 2.

Table 1 Comparison on usage of railway and airway by the passengers

No. of Passengers (in Millions) Year	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05
Railways	5093	4971	5112	5475
Airlines	1281	1332	1454	1817

Table 2 Passengers carried by rail transport- Country wise

Country	Billion Passengers	Year
Japan	22.67	2010
India	8.03	2010
Germany	1.95	2010
People's Republic of China	1.86	2011
United Kingdom	1.33	2010
France	1.14	2009



Russia	1.14	2009
South Korea	1.06	2010
Italy	0.64	2009
Spain	0.57	2010
South Africa	0.53	2007

Figure 2(a) shows the passengers carried (in millions) and Figure 2(b) shows the passenger's kilometers (in billions). Passenger business accounts for 31% of the total revenue. Passenger business has two major segments i) Premium passenger service ii) Mass Volume transportation segment. The segment of Premium passenger service accounts for 5% of the passenger carried and 34% of the PKM with 53% of the passenger revenue. The average distance covered by each passenger is 760 kms. Mass Volume transportation segment Consists of i) Suburban traffic ii) Ordinary passenger service iii) Unreserved short distance travel. This sector accounts for 95% of the passenger carried and 66% of the PKM with 47% of the passenger revenue. The Passengers of this category travel on an average 71 kms for every journey. Freight Transport is alone accounts for nearly 70% of IR's revenue.

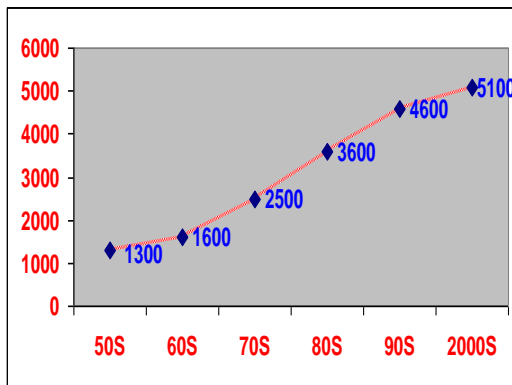


Figure 2(a) passengers carried (in millions)

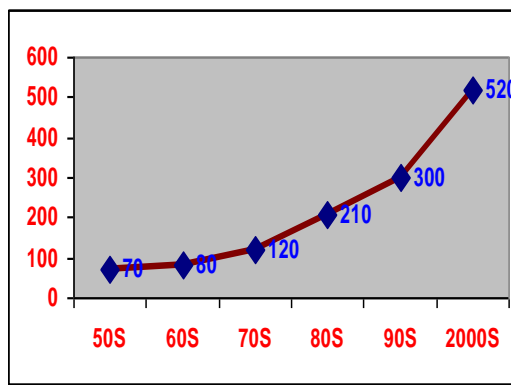


Figure 2(b) passenger's kilometers (in billions)

#### 4. Signaling and telecommunication

IR uses a range of signaling technologies and methods to manage its train operations based on traffic density and safety requirements. As of March 2017, around 2,850 km (1,770 mi) of the route uses automatic block signaling for train operations - concentrated in high density routes, large cities and junctions. Remaining routes are based on absolute block signaling with trains manually controlled by signal men from the signal boxes typically located at stations.

Few low density routes still use manual block signaling methods with communication on track clearance based on physical exchange of tokens. In a few sections, intermediate block signaling is provided to further enhance line capacity with minimal investment. As of March 2017, 501 block sections have intermediate block signals on IR. Signals at the most of the stations are interlocked using panel interlocking, route-relay interlocking or electronic interlocking methods that eliminate scope for human signalling errors. In Figure 3, the top five states of best and poor electrification rail routes in India are highlighted to depict the prevailing status of the system which needs systematic management on design and developments in the railway sector.

As of March 2017, 5584 stations across IR (about 90% of stations on broad gauge) have interlocked stations and multi-aspect signaling. Around 99% of key routes (A, B, C and D) have track circuitry or block proving axle counters for automated train detection. Also, IR has about 51,000 route kilometers of optical fiber cable network across India that is used for train control, voice and data communication. Around 2,500 km (1,600 mi) of the route is covered by GSM-R based Mobile Train Radio Communication.

In December 2017, IR announced that it will implement ETCS Level 2 system for signalling and control on key routes with an investment of 12,000 crore (US\$1.7 billion). Currently IR uses Centralized Traffic Control (CTC) on the busy Ghaziabad - Kanpur route and real-time train monitoring systems on Mumbai and Kolkata suburban routes.

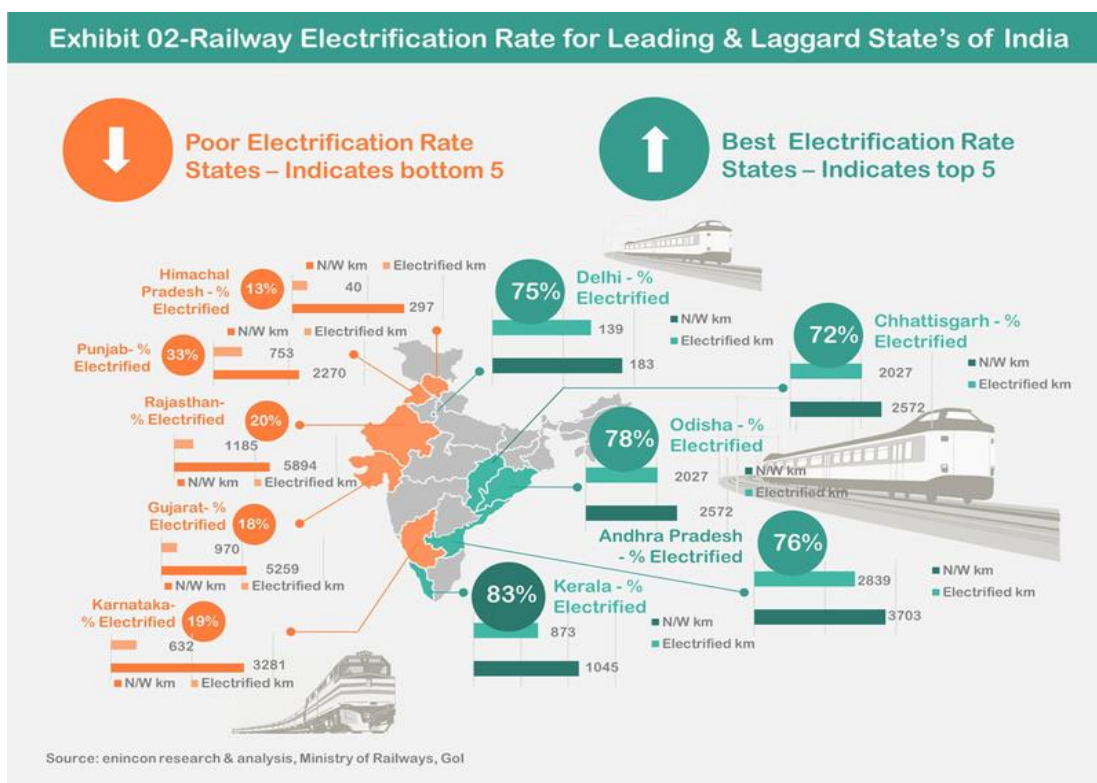


Figure 3 Top five states of best and poor electrification rail routes in India

## 5. Links with adjacent countries

Rail links between India and neighboring countries are not well developed. Two trains operate to Pakistan: the Samjhauta Express between Delhi and Lahore, and the Thar Express between Jodhpur and Karachi. Bangladesh is connected by the four times a week Maitree Express that runs from Kolkata to Dhaka and weekly Bandhan Express which began running commercial trips between Kolkata and Khulna in November 2017. Two rail links to Nepal exist: passenger service between Jainagar and Bijalpura and freight services between Raxaul and Birganj

Indian and Bangladeshi governments have started work on a new rail link to ease surface transport. India will build a 13 km (8.1 mi) railway linking Tripura's capital Agartala with Bangladesh's southeastern city of Akhaura, an important railway junction connected to Chittagong port, resource-rich Sylhet and Dhaka. An agreement to implement the railway project was signed between India's former Prime Minister Manmohan Singh and Bangladesh Premier Sheikh Hasina during her visit to India in January 2010. Total cost of the proposed project is estimated at US\$35 million. The Indian Railway Construction Company (IRCON) is constructing the new railway tracks on both sides of the border. Of the 13 km (8.1 mi) rail line, 5 km (3.1 mi) of tracks fall in Indian territory. The Northeast Frontier

Railways (NFR) is laying the connecting tracks for the new rail link on the Indian side, up to Tripura's southern-most border town, Sabroom - 135 km (84 mi) south of Agartala. From Sabroom, the Chittagong international sea port is 72 km (45 mi) away.

No rail link exists with Myanmar but a railway line is to be built from Jiribam (in Manipur) to Tamu through Imphal and Moreh. The construction of this missing link, as per the feasibility study conducted by the Ministry of External Affairs through RITES Ltd, is estimated to cost US\$410 million. An 18 km (11 mi) railway link with Bhutan is being constructed from Hashimara in West Bengal to Toribari in Bhutan. No rail link exists with either China or Sri Lanka.

## 6. UNESCO World Heritage Sites

IR has two UNESCO World Heritage Sites: the Chhatrapati Shivaji Maharaj Terminus, Mumbai and the mountain railways of India. The latter are three rail lines in different parts of India: the Darjeeling Himalayan Railway, a 610 mm (2 ft) narrow-gauge railway in the Lesser Himalayas of West Bengal; the Nilgiri Mountain Railway, a 1,000 mm (3 ft 3 ¾ in) metre gauge rack railway in the Nilgiri Hills of Tamil Nadu and the Kalka-Shimla Railway, a 762 mm (2 ft 6 in) narrow-gauge railway in the Siwalik Hills of Himachal Pradesh.

## 7. Conclusion

Prevailing scenario of Indian Railway demands the interactive and analytical information system for a better understanding of the current business process and arriving at appropriate rational decisions. It should be integrated with communication systems and other technologies like use of Internet, mobile phones, hand held terminals, etc for implementing E-enabled Freight Management System, Customer care centers and Intelligent Stations Infrastructure. Indian Railways has to extend a great concern in providing the accessibility features especially for the disabled and aged travellers. A nation's development is also measured by the ease with which it integrates vulnerable economic groups elderly & disabled into the mainstream society by providing equitable transport facilities. The following issues are considered as challenges that Indian Railway Industry need to take care to cater the needs of multi sectoral groups.

- Higher demand for Freight and Passenger transport, with planned economic growth
- Need for capacity enhancement in the Railway network over the next 10-15 years
- Technological upgradation for better maintenance of railway assets
- Greater competition from Roadways, with major investments in Highway network upgradation
- Greater attention to passenger services and safety
- Upgradation of the Railway Production units for improved efficiency and productivity

## References

- [1]. Raghuram and Gangwar (2007), Containerization: building global trade competitiveness, Indian Institute of management, India
- [2]. Manmohan Parkash (2008), Building Railways in the People's Republic of China: Changing Lives Published Report, ISBN 978-971-561645-4.
- [3]. Vivek Kumar , Vikas Rastogi (2009) Investigation of vertical dynamic behavior and modeling of a typical indian rail road vehicle through bond graph ISSN 1 746-7233, England, UK World Journal of Modeling and Simulation Vol. 5, No. 2, pp. 130-138
- [4]. Yogin Vora (2009), Monopoly of Indian Railways: IIM Case Study.
- [5]. Karan Kumar, (2008), Public-Private Partnership in Indian Railways, Centre for Civil Society, CCS Working Paper no. 182, Summer Research Internship Programme

- [6]. Anand K Sharma & Mathew J Manimala (2007) - Sustainability of the Indian Railways Turnaround: A Stage Theory Perspective - The International Workshop on Innovation and Entrepreneurship held at Cankaya University, Ankara, Turkey.
- [7]. Aamna Shakeel Abbasi, Wajiha Khalid, Madeeha Azam and Adnan Riaz (2010), Determinants of Customer Satisfaction in Hotel Industry of Pakistan, European Journal of Scientific Research, ISSN 1450 - 216X Vol.48 No.1, pp. 97 - 105

# ACOUSTIC AND SOUND INSULATION IN RAIL SYSTEMS

Mostafa Ranjbar

Department of Mechanical Engineering, Ankara Yildirim Beyazit University, Ankara, Turkey, e-mail: mranjbar@ybu.edu.tr

## Abstract

This paper discusses about the acoustic and sound insulation methods and applications in railway systems. The sources of generated noises from the railway systems are introduced. Then, the relevant methods for reducing the noise and vibration from such systems are discussed. Moreover, new strategies for railway system sound insulation will be discussed. This can provide a comprehensive guide for engineers to deal with noise, vibration and acoustic design of trains, railways and related structures.

**Keywords:** Acoustic, Noise, Sound, Insulations, Railway, Train, Rails, Design

## 1. Introduction

Railways are environment-friendly and sustainable development solution for transportation. However, noise and vibration remain a major reason for objections to new lines or network expansions. Noise is an annoying phenomenon, contaminating the environment and adversely affecting the health of people exposed to high ambient noise levels. The discussion about railway noise has become very important as railway transport increases and plays a more key role in greening transportation.

Railways will never be silent but, it is nevertheless important to reduce their noise and vibration as much as possible while not adding unnecessary cost or complication to their construction and operation. To achieve this, it is essential to understand the sources of noise and vibration and the parameters that can influence them to propose cost-effective mitigation measures. Theoretical models are an important part of this process. Such models should be of sufficient detail to cover the most relevant parameters in a reliable way, but not over-complicated in order not to lose insight. Railways are undergoing a renaissance in many countries as they become seen as a more sustainable and environmentally-friendly means of transport than road or air. As new lines are planned and opened in many countries, and as line speeds and traffic densities are increased, the resulting noise and vibration take on a growing importance. Residents use noise and vibration as a means of objecting to railway developments and consequently expensive mitigation measures must be included in modern designs. Railways will never be silent; to move enormous quantities of passengers or freight at high speeds will inevitably involve the generation of significant noise and vibration through both mechanical vibration and aerodynamic noise. Nevertheless, it is clearly important to reduce its impact as much as possible while not adding unnecessary cost or complication to the construction and operation of the railways. To achieve this, it is essential to understand the sources of noise and vibration and the parameters that can influence them, to propose cost-effective mitigation measures. Theoretical models have been developed for many railway noise phenomena [1].

In general, three various sources of railway noise are identified: engine noise, rolling noise, and aerodynamic noise. Railway noise is largely a problem of freight trains and trains containing older wagons or engines and is a particularly severe problem during the night. The dominant source of noise from operational railways in most situations is rolling noise due to the rolling of the wheel along the rail. The surface roughness (unevenness) of the wheel and rail induces relative vibration of the wheel and rail, the vibration amplitude of each component depending on their dynamic properties. The resultant vibration then radiates noise. Modelling of rolling noise began in the 1970s with Remington's work [2,3].

Analytical models were used for the wheel and rail impedances and for radiation efficiencies. His work took account of many features that are still considered as important: relative displacement excitation by the roughness, the contact filter effect, track decay rates, etc. Subsequently this basic model was

developed and extended to include other features that were found to be significant [4-9], and this was implemented in the TWINS (Track-Wheel Interaction Noise Software) package on behalf of the European railways and validated using extensive field tests [10].

Unlike the wheel, the rail is effectively an infinite waveguide which sustains propagating waves rather than resonances. The decay rate of these waves with distance along the rail determines the length of rail that vibrates with each wheel and thereby controls the radiated power. The vertical dynamics of the rail can be adequately modelled using an analytical model of a beam on a two-layer elastic support; rail pads and ballast are represented by elastic layers while the sleepers are represented by their mass or by a transverse beam.

## **2. Active and Passive Noise Control Methods for Railway System Applications**

There is a significant difference between managing the acoustic design of a completely new vehicle (passive noise control) and making improvements to an existing one (active noise control). The latter either by carrying out modifications to newly built wagons, or if an existing one is to be modified to meet specification requirements or cope with passenger complaints. In every case, the operating conditions must be specified, e.g. on straight track or in tight curves, at which speed, high speed or standstill. Prevalent weather conditions at operators' locations must be considered, especially in case of HVAC operating states or heat blowers during mild winters. But also, disturbances to passengers themselves must be respected, since open saloon compartments are the most popular for short and long-distance journeys. So, people in loud conversation, using mobile phones or any kind of consumer electronic device must all be considered.

For new vehicles in the early phases of construction, the acoustic design must be performed digitally. Scaled vehicle models for investigating interior acoustic behavior are expensive and unpractical. Acoustic properties of single components or units must be determined to validate calculations and improve the accuracy of results. Passenger comfort in rail vehicles, both mainline and suburban, plus trams, always depends mainly on air-conditioning, vibrations and noise. Offering sufficient levels of comfort is a complicated procedure. First different noise sources and the kinds of acoustic disturbance must be established. If the noise sources are at the lowest acceptable level, then the acoustic design must develop solutions to improve the situation to meet requested noise values. Material must be selected, and geometries defined. Very often, demands for thermal insulation, fire safety and space gain influence the design process. Exterior noise sources Mainly from rolling noise, very high noise levels are emitted from the running gear, the track and sleepers rolling noise source is speed dependent [1], [2].

As the standard of living rises and the quality of life improves and as, at the same time, the territories are becoming more and more urbanized and the need for transport increases, the effect of noise made by transport is increasingly becoming a critical issue, especially in densely populated areas. Even though most of population is affected by the road transport noise (~ 90 % of the population is affected by the noise levels of > 65 dBA), the railway noise also has a negative effect (1.7 % of the population is affected by the noise levels > 65 dBA) [1]. This is especially important in densely populated zones crossed by railways. For instance, the study conducted at Paneriai railway station (Lithuania) reveals excessive noise limits (> ~ 8 dBA) [2]. In such places, appropriate measures must be taken to protect the surrounding areas from the impact of noise caused by railway traffic. The problem is that proper noise mitigation measures are not always chosen based on specific local conditions.

Railway-related noise is most often caused by the wheel-rail interaction, which may be divided into three groups [3]: - Rolling noise. The roughness of the wheel and rail surface is the basis for rolling noise occurring on straight tracks. This is the reason why relative vertical vibration occurs. Rolling noise is basically a linear process. - Impact noise. This is a more severe case of rolling noise. However, it is not a linear process. The impact noise occurs due to cracks (defects) on the surface of the wheel or rail. - Squeal noise. This kind of noise occurs in small-radius curves. It is usually due to lateral wheel to rail interaction.

Townes et al. [4] provide a slightly different categorization of the noise due to wheel–rail interaction: - Noise at tangent track - Noise at curve - Impact noise occurring because of the joints, special trackwork, etc. Rolling noise with a typical frequency range between 100 and 5,000 Hz occurs more often compared to other types of noise, such as the squeal or impact noise [5]. A (relative) vertical displacement between the rail and the wheel is produced by the wheel–rail roughness [1, 6]. High-frequency vertical vibrations occur at the contact area and are transferred to both structures.

Tunnels are exceptional cases because they usually lack absorbent surfaces and so high outside noise levels appear. Consequently, geometrical damping of the noise source in free-field no longer exists and the noise level on the roof of a car is equal to that in the middle. For fire safety reasons, new lines are designed with single track tunnels. From a noise perspective, here the situation is even worse than for double track tunnels. An additional noise source may occur in tight curves, mainly for trams: wheel squeal [3].

There is a lot of noise producing equipment in modern railway vehicles. It is important to distinguish between airborne and structure-borne noise. The latter is influenced by the excitation location, the method of fixation and force transmission. Air conditioning has many noise sources, e.g. the compressor, cooling stream, air flow and fan. Air distribution in shallow ducts and small nozzles may create noise too. Vehicles with propulsion systems have many additional noise sources: drive engines, e.g. electric or diesel engines, gearboxes or rectifier noise including noise from their cooling systems. Operating conditions also play a key role in generating noise. For drive systems, acceleration and decelerating procedures at low speed play a key role. This equipment very often radiates noise with harmonic components, which is extremely annoying [6].

Rolling noise is generally higher from poorly maintained rail vehicles, and from trains running on poorly maintained infrastructure. Aerodynamic noise is particularly relevant for high speed lines where, in most cases, noise limiting measures like noise barriers are implemented; noise barriers reduce the impact of rolling noise but are usually too low to have any effect on noise originating at the pantograph. Engine noise is most relevant at lower speed, rolling noise above 30 km/h and aerodynamic noise dominates above 200 km/h. The most important noise source is rolling noise, which affects all kinds of train.

To reduce railway noise pollution, passive measures at the place of disturbance can be distinguished from active measures at the noise source. The most important passive methods used to reduce the impact of railway noise on the environment are noise protection walls and insulating windows, and for the most part action plans and investments of the Member States concentrate on these methods. However, they are only locally effective, requiring huge investments to protect wider parts of railway networks. In contrast, source-driven measures lower noise across the whole railway system if they are widely introduced. As an example, the problem of noisy rail freight cars can be reduced by the replacement of cast iron brake blocks by composite brake blocks. This is currently being investigated by the railway industry and would affect about 370,000 old freight wagons. Also, wheel absorbers, aerodynamic design of pantographs and noise insulation of traction equipment (e.g., locomotive engines) are measures to reduce noise at source.

According to the current Technical Standard for Interoperability (TSI Noise), rolling stock which was introduced since the year 2000 (including engines and passenger coaches or passenger power cars) are required to lower noise emissions by about 10 dB(A) compared to the equipment of the 1960s and 1970s. In the authors' opinion, noise should ideally be reduced at the source because these measures have a network-wide effect. Where track infrastructure causes increased noise levels (e.g., structure-radiated noise from viaducts or curve squeal in narrow radius curves), or where the local environment is particularly sensitive to noise (e.g., areas of natural beauty or urban environments with residences very close to the railway line) then additional trackside noise mitigation measures may be necessary. Such measures include friction modifiers, rail dampers, floating (or isolated) slab tracks and of course noise bunds and barriers in various heights. Vehicles and track should all be maintained to eliminate unnecessary sources of noise, e.g., corrugation.

As rail freight wagons commonly travel across wider international distances, it is essential to harmonise noise legislation policies across Europe. As a result, the authors recommend focusing on the following actions:

- Retrofitting the existing freight wagon fleet with low noise braking systems especially by replacing the cast iron by composite brake blocks as the most important and effective first step of source related noise reduction measures.
- Establishing funding schemes to cover the retrofitting and additional operating costs of the new noise reduction technologies to avoid a reduction of the rail sector's competitiveness; a substantial part of costs should be covered by the Member States, since quieter trains will reduce the need for, and therefore the cost of, infrastructure noise mitigation measures, introducing rail track charging systems which differentiate the train charges according to the noise category of a train. The noise classification of a train should be determined by the wagon with the highest noise emission level.
- Making activities concerning NDTAC or noise limit regulation depending on the same actions in road transport to avoid losses of competitiveness for the rail sector.
- Making noise limits by TSI Noise ([TSI Noise 2011]) also compulsory for existing rolling stock 10 or 12 years after introduction of funding schemes and noise limits for new rolling stock.
- Adjusting limits of TSI Noise in a phased process for a medium and long-run future to foster the development of new noise reduction technologies. Monitoring and maintenance of noise development due to abrasion to assure low noise levels also during operation over extended periods.

As it is already indicated, main source of railway noise is rolling noise coming from rail freight wagons. Of minor importance is engine noise (at lower speeds) and aerodynamic noise (high speed trains). Locally also squeal noise can be important. Rolling stock which is introduced from the year 2000 on is about 10 dB(A) less noisy than rolling stock from the 1960s and 1970s. Against each source of noise an enormous number of measures has been developed in the last years. Rolling noise and wheel noise can be reduced by composite brake blocks (freight wagons), resilient wheels or wheel dampers. Rail noise can be reduced by rail dampers, resilient track pads and combinations with noise barriers of different heights. Track side or vehicle side lubrication systems can avoid squeal noise and are well introduced in tram way systems. The most efficient measure to achieve network wide noise reduction is the retrofitting of freight cars with composite brake blocks.

### **3. New methods for acoustic and sound insulation in railway systems**

Development and Practical Application of a Sound Absorbing Panel Using Microperforated Aluminum for Shinkansen Tunnel Entrance Hoods has presented the new sound absorbing technology developed using microperforated panels, which was adopted for use in a Shinkansen system for the first time. By taking advantage of the features of this noise control technology, such as acoustic performance and strength properties, we will develop more applications in traffic infrastructure including Shinkansen systems. We will build on the findings of the above development project and consider developing products that can accommodate environments which require even greater strength. We hope that this work serves environmental preservation purposes. In developing the product, we received many useful pieces of advice from individuals from West Japan Railway Company and other organizations who were concerned with the project. We express our sincere thanks to these individuals.

Sources of railway noise are Aero-dynamic, Propulsion system, Rolling wheel/rail system. Speed relation for the three noise sources: the rolling and aerodynamic noises are increasing with respect to the train speed. In fact, the dominant source of noise in conventional speeds is the rolling noise which is induced by the roughness of wheel and rail running surfaces. In high speed the emitted noise from the wheel is more than the noise of rail. The highest level of emitted noise from the wheel and rail shall be happened around 1000 Hz. As in this frequency, the maximum radiation ratio is occurring. One solution is to use Rail pad which defines coupling between rail and sleeper to reduce the emitted noise from the structure. They are inserted under rail to protect sleepers. They have a considerable influence on the noise. However, as the stiffness of rail pads is changing with respect to frequency,



therefore its damping capacity is also changing. Various modes of vibration can be seen with respect to the frequency for the rail.

In general, low roughness, wheel structure damping, track structure damping, local shielding, insulation and barriers can be considered as the solutions for the noise reduction in railway system. In fact, the rail roughness, the more braking noise will occur. One solution is to use rail grinding to reduce the rail roughness. However, the roughness will return after some years again and it increases the radiated noise from the rails again. Also, the shape of wheel is very important. Normally an optimum shape of train wheel shall be in the form of straight and thick web, but it conflicts with other requirements. Also, smaller wheels can be dramatically quieter. Therefore, it is very difficult to optimize the geometry of train wheels. Another solution is to use wheel damping. Although it can be happened that good result are achieved in the lab but in the field can be disappointing. Rail dampers can another alternative yet. Various types of rail dampers have developed in different countries. In fact, Rail pad defines coupling between rail and sleeper. As the high stiffness pad represents the strong coupling and good energy transfer from low damped rail to high damped sleepers. Some of them have tuned mass-spring systems. Rubber can be also used to give effect over broad frequency range.

Skirts or vehicle mounted barriers are Only effective in combination with track mounted barriers. Some Mini barriers for sheilding of rail radiation and preventing from multiple reflections can be used as well.

Currogation of wheels has the highest effect on the noise radiation level. After that, pad stiffness, currogation of rail, track width, distance of sleepers, type of rail and stiffness of balast have effect on the noise emission from the railway system.

One other methods is Non-standard rail construction (slab track). It is preferred in construction for high speed lines in Germany and Netherlands as it is a stable system, even at soft soil, minimal maintenance, but with high initial costs.

Types of track construction is another critical issue which should be considered. Elasticity in track system is essential to prevent cracks in rail. Conventional ballast track, Flexible mounted sleepers in concrete slab, Rigid mounted sleeper in concrete slab and Rail directly mounted in slab are the available tools at this regard. However, Slab tracks are noisier then conventional ballast tracks. It is mainly due to Less tight rail to sleeper connection, less damping and No acoustic absorption from ballast. Noise difference ballast or slab track is a function of frequency. It says the slab track Effect centered around 800 Hz of rail contribution.

One suggestion for Noise improved design is Higher rail damping, Tighter connection with sleeper, and Damped fixation of sleeper in slab. Cork-rubber with optimal dynamic properties is another solution.

Curve squeal or Curving behavior is another issue to be considered. In ideal curving, the wheel-set would be aligned radially. A stiff bogie frame overcame stability problems at high speed, but curving is not ideal. For Reducing of squeal noise, lubrication, steerable wheelsets, wheel damping and asymmetrical rail profile grinding can be helpful.

Creep force is also important. Creepage induces a friction force, the lateral creep force. At high creepages, the creep curve falls as the dynamical coefficient of friction value is less than static value. The falling creep force is equivalent to negative damping. If this exceeds the damping of the wheel, large amplitude self-excited vibration occurs.

Finally, it can be said that one need to identify the dominant source of noise and tackle it at first. When more than one source contributes they, all need reducing. Wheel and rail are important in rolling noise. Only wheel is squeal. If one reduced, another may get worse. Very small wheels can increase track noise. Control at source is most effective. Controlling roughness affect all sources. Wayside noise barriers are less effective than source treatments. Ring damper can effective for squeal but not give enough damping for rolling noise.

There also some other new methods for the reduction of emitted noise from the rail way systems. Usage of novel meta-structures for tunnels, bridges and rails are considered. Structure with negative Poisson ratio can perform well under pressure and bending loads. Passive design optimization methods have been widely investigated by Ranjbar et al. for noise reduction applications [8-23]. They have shown than designing a quieter structure is more logical than try to make the structure after design and production. Usage of auxetic structures and materials like foam is another option for noise reduction in various parts of train structure. The vibration energy can also be harvested to produce electrical energy instead of letting it to be converted to noise. Geometry optimization of the train and locomotive is another new and emerging field for noise reduction and better structural acoustics properties.

## References

- [1] Thompson, D., Jones, C., Gautier, P.E.: Railway noise and vibration, Mechanisms, modelling and means of control, First edition, Oxford, 2009.
- [2] Baltrėnas, P., Butkus, D., Grubliauskas, R.: Experimental research into the dispersion of railway traffic noise in the environment and its modelling, *Ekologija*, 54 (2), 81-87, 2008.
- [3] Thompson, D.J., Jones, C.J.C., A review of the Modelling of Wheel / Rail Noise Generation, *Journal of Sound and vibration*, 231 (3), 519-536, 1999.
- [4] Townes, M.S., Banks, S.D., Blair, G.L., DeLiberio, S.A., Diridon, R.J., Draggoo, S., Gambaccini, L.J., Hampton, D., Hunter-Zaworski, K., Kiepper, A.F., Larrouse, P., Lingwood, R.G., Linton, G.J., Monroe, D.S., Nettleship, P.S., Paaswell, R.E., Paaswell, R.E., Reichert, J.P., Reuter, L.G., Toliver, P., Watson, L., Wilson, F.J., Wytkind, E., Millar, W.W., Slater, R.E., Francois, F.B., Skinner, Jr.R.E.: *Wheel/Rail Noise Control Manual*, First edition, Washington, 1997.
- [5] Thompson, D.J.: The role of theoretical models in shaping railway noise policy and mitigation strategies, *Australian Acoustical Society Conference 2011: Acoustics 2011, Breaking New Ground*, Gold Coast, 1-8, 2011.
- [6] Thomson, D.J., Hemsworth, B., Vincent, N., Experimental Validation of the Twins Prediction Program for Rolling Noise: Part 1: Description of the model and method, *Journal of Sound and Vibration*, 193 (1), 123-135, 1996.
- [7] Horiuchi, T., Ogino, K., Yoshimura, T., Yamagiwa, I., Torigoe, Y., Development and Practical Application of a Sound Absorbing Panel Using Microperforated Aluminum for Shinkansen Tunnel Entrance Hoods, *KOBELCO TECHNOLOGY REVIEW*, 34, 25-31, 2016.
- [8] Mazloomi, S., Ranjbar, M., Boldrin, L., Scarpa, F., Patsias, S., Ozada, N., Vibroacoustics of 2D gradient auxetic hexagonal honeycomb sandwich panels, *Composite Structures*, 187, 593-603, 2017.
- [9] Ranjbar, M., Boldrin, L., Scarpa, F., Niels, S., Patsias, S., Vibroacoustic optimization of anti-tetrachiral and auxetic hexagonal sandwich panels with gradient geometry, *Smart Materials and Structures*, 25: 054012, 2016.
- [10] Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., Structural-acoustic optimization of a rectangular plate: a tabu search approach. *Journal of Finite Elements in Analysis and Design*, 50, 142-146, 2012.
- [11] Ranjbar, M., Hardtke, H.J., Fritze, D., Marburg, S., Finding the best design within limited time: a comparative case study on methods for optimization in structural acoustics, *Journal of Computational Acoustics*, 18 (2), 149-164, 2010.
- [12] Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., A New hybrid design of experiments approach for optimization in structural acoustics applications. *Applied Mechanics and Materials*, 110 (116), 5015-5020, 2012.
- [13] Ranjbar, M., Tadayon, A., Vibration analysis of multi degree of freedom self-excited systems, *Journal of Robotic and Mechatronic Systems*, 2 (1), 1-8, 2017.
- [14] Ranjbar, M., Nahid, M., Renawi, A., Sadeqi, Z., Development of an educational noise reduction measurement test bench, *Journal of Robotic and Mechatronic Systems*, 2 (1), 27-32, 2017.
- [15] Ranjbar, M., Alinaghi, M., Effect of liner layer properties on noise transmission loss in absorptive mufflers, *Mathematical Modelling and Applications*, 1(2), 46-54, 2016.
- [16] Ranjbar, M., Gharooni Saffar, M., A sensitivity analysis on application of artificial neural networks in structural acoustics, *Journal of Robotic and Mechatronic Systems*, 1(2), 23-26, 2016.
- [17] Ranjbar, M., Kemani, M., A comparative study on design optimization of mufflers by genetic algorithm and random search method, *Journal of Robotic and Mechatronic Systems*, 1(2), 7-12, 2017.

- [18]Ranjbar, M., Marburg, S., Fast vibroacoustic optimization of mechanical structures using artificial neural networks, *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 1(3), 64-68, 2013.
- [19]Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., Vibroacoustic optimization of mechanical structures: a controlled random search approach, *Advanced Material Research*, 622, 158-161, 2013.
- [20]Ranjbar, M., Marburg, S., Vibroacoustical optimization of mechanical structures using geometry modification concept and genetic algorithm method, *Journal of Mechanical Engineering*, Tarbiat Modares University, 12(2),134-143, 2012.
- [21]Ranjbar, M., A comparative study on optimization in structural acoustics. PhD. Thesis, Technische Universität Dresden, Germany, 2011.
- [22]Ranjbar, M., Development of hybrid robust optimization strategies for structural-acoustic applications, In the annual report of the Pan-European Research Infrastructure on High Performance Computing (HPC-Europa), University of Bologna, Italy, 2007.
- [23]Ranjbar, M., Khadem, S.E., Development of vibration analysis using Gabor transformation for machinery fault diagnosis, *Journal of Amirkabir University*, 12(48) (in Persian), 2001.
- [24]Ranjbar, M., Keskin, O., Demirtaş, S., Karakoca, Y. E., Arslan, H., Designing and manufacturing of a modal analysis test bench–part one: harmonic shaker development, *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Gaziosmanpaşa University Tokat / Turkey, 2017.
- [25]Ranjbar, M., Dalkılıç, B., Çalık, E., Arslan, M.C., Arslan, H., On muffler design for transmitted noise reduction, *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Gaziosmanpaşa University Tokat/Turkey, 2017.
- [26]Mazloomi, S., Ranjbar, M., Sarpa, F., Ozada, N., Vibroacoustic Optimization of 2-dimensional gradient auxetics sandwich panels. *Medyna 2017: 2nd Euro-Mediterranean Conference on Structural Dynamics and Vibroacoustics*, Sevilla, Spain, 2017.
- [27]Ranjbar, M., Orhan, S., Self-excited vibration of the three-degrees of freedom system, *The 25th Annual International Conference on Mechanical Engineering (ISME)*, Tehran, Iran, 2017.
- [28]Ranjbar, M., Kermani, M., Muffler design by noise transmission loss maximization on narrow band frequency range, *The 7th Automotive Technologies Congress (OTEKON 2014)*, 26-27 May 2014, Bursa, Turkey.
- [29]Ranjbar, M., Kermani, M., On Maximization of noise transmission loss in mufflers by geometry modification concept, *ASME District F-2013 Early Career Technical Conference*, University of Alabama, 2-3 November 2013, Birmingham, Alabama, USA.
- [30]Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., Development of a hybrid neural networks algorithm for structural-acoustics optimization applications, In *Proceedings of the First International Conference of Acoustics and Vibration*, 21-22 December 2011, Tehran, Iran.
- [31]Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., Schnelle optimierung in der struktur akustik, *The 37-annual meeting for Acoustics*, 21-24 March 2011, Düsseldorf, Germany.
- [32]Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., Ein vergleich von optimierungsverfahren fuer anwendungen in der strukturakustik, *Proceedings of the 33-annual meeting for Acoustics*, 19-22 March 2007, Stuttgart, Germany.
- [33]Ranjbar, M., Marburg, S., Hardtke, H.J., Study of optimization methods for structural-acoustic applications, *Proceedings of 77th Annual Meeting of the Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik e.V.*, 27-31 March 2006, Technische Universität Berlin, Germany.

# YERLİ ELEVATÖRLÜ ATIK VAGONU ÜRETİMİ

Demirhan Dinçer GÜRSOY

TÜVASAŞ, Sakarya, Türkiye, e-mail: ddgursoy@tuvasas.com.tr

## Özet

Raylı taşıtlar sektörünün köklü firmalarından TÜVASAŞ, Türkiye Cumhuriyetinin milli sanayi kurulumu politikalarının bir sonucu olarak “Yerli Elevatörlü Atık Vagonu” projesine başlamıştır.

Elevatörlü atık vagonları, demiryolu yapım, bakım ve onarımları işlerinde balast eleme makineleri ile birlikte kullanılan demiryolu makinalarıdır. Balast eleme makinaları ile elenen balastlardan çıkan atıkların demiryolu sahasından uzaklaştırılması için kullanılırlar. Ayrıca yeni demiryolu inşaatlarında yeni balastın hatta serilmesi amacıyla da kullanıldığı sahalar bulunmaktadır.

Atık taşıma kapasitesine bağlı olarak Elevatörlü Atık Vagonları iki bojlili ve dört bojlili versiyonları bulunmaktadır.

Proje kapsamında Yerli firmalardan destek alınarak Elevatörlü Atık Vagonlarının projelendirilmesi, prototip vagonun üretilmesi, uluslararası akredite bir sertifikasyon firmasına sertifikasyonu, “Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü” Tip Onay sertifikasının alınmasını, TCDD Genel Müdürlüğü ve TÜVASAŞ personelinin eğitimini ve seri üretime geçilmesini kapsamaktadır.

Elevatörlü Atık Vagonları; bunker, şasi, konsol, boji, dizel motor, hidrolik sistem, vagon baş kısmı elemanları, fren sistemi, pnömatik sistem, operatör kabini, konveyörler, elektrik-elektronik sistemden oluşmaktadır.

Elevatörlü Atık Vagonu projesinin sonunda tüm projelerin fikri mülkiyet hakkı TÜVASAŞ’a geçecektir. Ayrıca proje mali büyüklüğünün %51’ine denk gelen yerliliğe ulaşıp “Yerli Malı Belgesi” alma amacı bulunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Elevatörlü Atık Vagonu, Yerli Üretim, Demiryolu Makinaları

# ÜLKEMİZDE DEMİRYOLU DENİZYOLU VE KARAYOLUNUN SUNDUĞU FIRSATLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Onur Öztürk<sup>1\*</sup> and Oğuz Öztürk<sup>2\*</sup>

1\* İTÜ FBE, Jeoloji ve İnşaat Mühendisliği, Ayazağa, İstanbul, [onur.ozturk@live.com](mailto:onur.ozturk@live.com)

2\* İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bil. Fak. Gemi İnşaat Müh. Ayazağa, İstanbul, wowozturk@gmail.com

## Özet

Çalışma kapsamında, karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşım türlerinin birbirlerine göre güçlü ve zayıf yanları ve ülkemiz açısından şansları araştırılıp, değerlendirilmektedir. Araştırmalar göstermektedir ki, 2020 yılında Türkiye'deki yolcu trafiği 540 milyar yolcu-km'ye, yük trafiği ise 300 milyar ton-km'ye çıkacaktır. Artışın bu şekilde devam ettiği düşünülürken, yolcu ve yük taşıma talebinin artık tamamen karayolu ağırlıklı olarak sürdürülebilmesi mümkün görülmemektedir. Oysa bugün ülkemizdeki taşıma hizmeti, geçmişten gelen yanlış politikalar neticesinde, karayoluna bağlı hale gelmiştir. Bu bağıllığın faturasını ise her yıl ortalama 6.000den fazla kişi trafik kazalarında yaşamını yitirerek, binlerce kişi yaralanıp sakat kalarak ve yüksek maddi hasarlarla ödemekteyiz. Ülkemizin topografyası ve konumu, türlerin yaygınlaştırılma imkanları incelendiğinde, diğer iki mod da karayolu gibi yaygın kullanılmaya oldukça müsaittir. Yeni politikalar ve türlerin sunduğu imkanlar dikkate alındığında ise; demiryolları ve deniz yollarının etkin bir şekilde kullanılması vazgeçilmez bir zorunluluktur. Bu nedenlerle, mevcut demiryolu şebekelerinden en üst düzeyde yararlanmak ve demiryollarını köhneleşmiş yapısından kurtarmak için altyapı iyileştirme ve modernizasyon çalışmalarına ağırlık vermek, bir o kadar da denizyollarını araç ve hizmetteki limanlar açısından geliştirmek oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaşım Modları, Türkiye, Karşılaştırma.

## Abstract

Within the scope of the study, the strengths and weaknesses of highway, railway and maritime transport types compared to each other and their chances in terms of our country were explored and evaluated. Research shows that in 2020, passenger traffic in Turkey will increase to 540 billion passenger-kilometers, while freight traffic will be 300 billion ton-km. When the increase is considered to continue in this way, it is not possible for passenger and freight transport demand to be maintained entirely by highways. Today, however, the transport service in our country has become dependent to the highway due to the wrong policies from the past. The bill for this commitment is that every year an average of more than 6,000 people lose their lives in traffic accidents, thousands of people are injured and disabled and face high property damage. When examining the topography and location of our country, the possibilities of spreading the transportation types, the other two modes are very suitable for widespread use similar to highways. When new policies and possibilities are considered, the efficient use of railways and maritime transportation is an indispensable necessity. For these reasons, it is very important to focus on infrastructure improvement and modernization studies in order to make the most of the existing railway networks and to save the railways from the dilapidated structure, and to develop the maritime routes in terms of the ports vehicles and services.

**Keywords:** Mode of Transport, Turkey, Compare.

## 1. Giriş

Bilim ve teknolojinin gelişmesi, toplumların büyümesi, ekonominin gereksinimlerinin farklılaşması, insanların alışkanlıklarının ve kültürel birikimlerinin değişmesi ve belki bunların hepsinin üstünde politik olaylar, ulaştırma sistemlerini yönlendiren ve geliştiren ana hususları oluşturmaktadır. Bunların ilerisinde, yakın geçmişin ve günümüzün uluslararası gelişmeleri, ulaştırma türlerinin kapasite özellikleri, inşaa ve işletme süresi ve maliyetleri, enerji kullanım özellikleri ve çevreye olan etkileri, ulaşım türlerinin seçiminde etkilidir. Ulaştırma türleri birçok açıdan farklılık gösterir, dünyadaki türel dağılımdaki gelişim ve değişim bu farklılıktan etkilenir. Bu nedenle çalışmada üç türün yani karayolu, demiryolu ve denizyolunun sunduğu fırsatların temel farklılıkları incelenmekte ve yorumlanmaktadır.

Günümüzün ulaştırması, büyük oranda karayolunun egemenliği altındadır. Bu nedenle karayolundaki diğer olumsuzluklara ek olarak, çevreye verdiği zarar yaşamsal önemdedir. Hemen her ülke için, karayolu, demiryolu, denizyolunun; teknik ve ekonomik açıdan en uygun oldukları yerlerde kullanıldığı dengeli, akılcı ve dolayısıyla etkin bir ulaştırma sistemine kavuşması önemlidir. Bu hususta çaba gösterilen planların geliştirilip, gerçekleştirilmeleri kaçınılmazdır. Kısa mesafelerde karayolu uygun iken, 400-600 km uzaklıklara yolcu taşımada günümüzün en etkili ulaşım türü hızlı trenlerdir. Bu uzaklıklarda, hem karayolunun, hem de havayolunun 250-300 km/sa'nın üzerinde hız yapan trenler karşısında rekabet gücü zayıflamaktadır. Japonya'dan Fransa'ya, Almanya, İtalya, İspanya ve ABD'ye kadar edinilen tecrübeler bu gerçeği desteklemektedir. Bu nedenle 21. yüzyıl için AB'de ve diğer gelişmiş bölgelerde 600 km hatta 800 km'ye kadar uzaklıklar için en uygun tür yüksek hızlı trenlerdir. AB'de 2020'ye kadar hızın 340km/sa'ya yükseleceği tahmin edilmektedir. Yolcu taşımacılığında, toplu taşıma önceliği ilkesini de kapsayacak yüksek hızlı trenlerin ve kentsel raylı sistemlerin, geleceğin temel ulaştırma türleri olacağı söylenebilir [1].

Yük taşımacılığında ise, kapıdan kapıya taşımanın önemi ile, tüm olumsuzluklara rağmen karayoluna ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte, yük taşımacılığı için tek ulaştırma türünden daha çok, türlerin gerekli ve uygun oldukları yerde hizmet sağladıkları kombine/intermodal/multimodal sistem kullanımı artacaktır. Burada, karayolu / demiryolu / denizyolu birlikte hizmet sunacaklardır. Denizyolu araçlarının yüksek yük taşıma kapasitesinden ve zevkli deniz ve iç su yolu yolcu taşıma hizmetinden yararlanmak gerekir. Kara ulaştırmasında, olanaklar çerçevesinde demiryolunun devreye sokulması temel amaç olmaktadır. Nitekim birden fazla ulaştırma türünün birbirleriyle etkileşimiyle yapılan ve hızlı bir şekilde yaygınlaşan kombine taşımacılıkta, taşımanın uzun mesafeli bölümünün demiryolu veya denizyolu ile yapılması tercih edilmektedir. Bilim ve teknolojideki gelişimin yönlendirdiği ekonomik, toplumsal, kültürel gelişmeler ve küreselleşmenin meydana getirdiği ulaştırmaya yönelik sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:[2]

- Gelirlerin artması, zamanın önemini arttırmış, bu durum ulaştırma sürelerinin kısalmasına, bundan ötürü hızların yükseltilmesine neden olmuştur. Yüksek hızlar hem kentsel hemde şehirler arası anlamda, küreselleşme şartlarında, uluslararası ulaştırmada mesafelerin uzaması sonucuna yolaçmıştır.
- Ekonomide rekabetin artması da hızın yükseltilmesini gerektirmiş, ayrıca hammadde ve işlenmiş ürünlerin talep edilen yere düşük maliyetli ve zamanında ulaştırılmasının önemini arttırmıştır.

- Günümüz dünyasında insanlar, çevre kirlenmesine karşı giderek daha duyarlı hale gelmektedirler. Özellikle karayolu trafiğinin neden olduğu trafik sıkışıklığı, kazalar, gürültü, hava kirliliği gibi çevre sorunları ile küresel iklim değişimleri olgusu karşısında çevreye uyumlu gelişmeler önem kazanmaktadır. Bu konularda demiryolu ve denizyolu taşımalarının paylarının arttırılmasına, karayolunun çok yüksek olan payını azaltarak, diğer ulaştırma türlerinin gereken ölçüde pay aldıkları dengeli bir sistem oluşturmaya çalışılmaktadır. Bir çok ülkede ulaştırma planlarının temel amacı, belirtilen yönde odaklanmaktadır. Ayrıca, karayolu araçlarının çevreye daha az zarar verir hale getirilmesi için, gerek araç üretiminde, gerekse işletiminde önlemler geliştirilmektedir.
- Bilgisayar ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, ulaştırma alanını çok yönlü etkilemeye devam etmektedir. Tele-çalışma, tele-alışveriş, tele-eğitim gibi uygulamaların yaygınlaşmasıyla klasik yolculuklardan bir bölümü ortadan kalkabilecektir. Ayrıca telematik uygulamaları ulaştırmanın bir çok alanında verimliliğini arttırmaya olanak sağlamaktadır. Akıllı ulaştırma sistemleri, araçlardan yola, sinyalizasyona, sistemin talebe uygun işletimine kadar bir çok alanda yararlı olmaktadır.

## 2. Ülkemizde Ulaştırmanın Durumu ve Hedefler

Cumhuriyetin 1950 yılına kadar olan döneminde, doğru bir ulusal politika ile demiryolu ve denizyoluna önem verilmiştir. Gerçekleştirilen planlar sonucunda, ülkenin önemli yerleşim ve üretim merkezleri demiryolu ağlarıyla birbirine bağlanmıştır. 1940'lara kadar süren bu demiryolu inşaa döneminden sonra demiryolları için durgunluk dönemi başlatmış, 1940-50 arasında yalnızca 370 km demiryolu yapılmasına neden olmuştur. Denizyolu ulaşımı incelendiğinde ise gemi yapan, işleten ve liman hizmetlerini veren kuruluşların devlet tarafından kurulduğu görülmektedir. Karayolları bu aşamada, 14.000 km'si bozuk ve bakıma muhtaç durumda olmak üzere 18.365 km uzunlukta bir ağdan ibaretti. Demiryollarını destekleyen ve ülkenin ulaştırma gereksinimini karşılayacak yeterlilikten uzak durumdaki karayolu ağında, 1950 yılına kadar önemli bir iyileştirme gerçekleştirilmemiştir [2]

Ulaşımında Hedeflerimiz; Ulaştırmanın ana amacı, ülke kalkınmasının ekonomik ve sosyal hedeflerin gerektirdiği hizmeti; kullanıcıya, en uygun özellikte, ulusal güvenlik gereklerini yerine getirecek biçimde, güvenli ve çevre dostu olmak şartıyla, en ucuza, çağın teknolojilerini kullanarak, uluslararası kurallar içinde kesintisiz sağlamaktır.

Amaçlar:

- Kullanıcılara güvenli, konforlu, ulaşım süresini kısaltan (hızlı), güvenilir bir hizmet sunmak,
- Ekonomik ve sosyal kalkınmanın gerektirdiği gelişmeyi sağlamak,
- Bölgeler arası dengesizlikleri ortadan kaldırmak,
- Çevreye zararı en düşük düzeyde tutmak,
- Enerji verimsizliğini ve dışa bağımlılığını azaltmak,
- Taşıma maliyetini düşürmek,
- Her ulaştırma türünün teknik ve ekonomik açıdan etkin olduğu hizmeti sunacağı, dengeli bir sistemi oluşturmak ve bu amaçla havayolu, demiryolu ve denizyolunu canlandırıp geliştirmek,
- Arazi kullanım kararlarını desteklemek,
- Uluslararası ilişkilerin ve dış ticaretin gelişmesine uygun ulaştırma ağı yapısını oluşturup geliştirmektir.

## 2.1 Karayolu

Yolcu taşımacılığında başlangıç ve bitiş noktaları, yük taşımacılığında ise üretim ve tüketim noktaları arasında aktarmasız bir ulaşım olanağı sağlaması, taşıma kapasitesi ve güzergah belirlemede esneklik sağlaması, yüklerin daha kolay ve belirli mesafelere kadar daha hızlı taşınabilmesi karayolu taşımacılığının başlıca özellikleridir. Bu özelliklerin yanında, aktarmalı taşımanın söz konusu olduğu demiryolu ve denizyolu taşımalarında birleştirici bir tür olması nedeni ile bütün dünyada karayolu taşımacılığı diğer taşıma türlerine göre daha hızlı bir gelişim sağlamıştır. Karayolu taşımasında çevre üzerindeki ve kazalardaki olumsuzlukları karşısında, gelişmiş ülkeler başta olmak üzere pek çok ülkede demiryolu ve denizyolu ulaşımına önem verilmesi planları öne çıkmıştır. Bu nedenden dolayı hızlı tren taşımacılığında önemli atılımlar olmuştur [2, 3]. Dünyadaki gelişmelerin benzeri ve daha göz önüne çıkarları ülkemizde görülmektedir. Yani, yukarıda verilen sayılardan da anlaşılacağı üzere, toplam yolcu ve yük taşımalarında karayolu taşımasının etkisi diğer taşıma türlerine göre çok fazladır. Bu durum, ülkemizin enerji olanaklarına ters düşmesi yanında karayolu ağının kısa sürede bozulmasının ve çevre kirlenmeleri ile kazalar açısından yaşanan olumsuzlukların başlıca nedenleridir. Gerçekte karayolu altyapısı; km<sup>2</sup>'ye düşen yol uzunluğu, aynı zamanda standartları bakımından gelişmiş ülkelere ve girmek istediğimiz AB ülkelerine göre oldukça zayıftır. Ancak, demiryolu ve denizyolu taşımasının altyapı ve işletmecilik olarak karayolundaki gelişmeye göre çok geride kalması, taşıma türleri arasındaki dengesizliğe neden olmuş, hem yolcu hem de yük taşımasında karayolunu çok belirgin şekilde ön plana almıştır.

### 2.1.1 Türkiyede Karayolunun Sahip Olduğu Güçlü ve Zayıf Özellikleri

Karayollarımızın sahip olduğu güçlü ve zayıf özellikleri ile fırsatları aşağıda sıralanmıştır;

#### Güçlü özellikleri

- Başlangıç ve bitiş noktaları arasında aktarma gerektirmemesi, mesafeye bağlı olarak bazı durumlarda diğer türlere oranla hızlı ve kolay bir taşıma sağlaması.
- Taşınan yolcunun ve yükün miktarına ve yükün türüne göre esnek ve bazı durumlarda daha ekonomik taşıma olanağı sağlaması.
- Yolcu ve yük taşımacılığında sektörde önemli bilgi birikimi bulunması ve her iki alanda da büyük taşıma kapasitesinin mevcut olması.
- Otomobil kullanıcıları ve yolcuları açısından, bir tarifeye uymadan, ev ile ulaşılması istenen yer arasında doğrudan ulaşım olanağı sunması.
- Yolcu ve yük taşımacılığında sektörde önemli bilgi birikimi bulunması ve her iki alanda da büyük taşıma kapasitesi mevcut olması.
- Terminal, otogar, bilet satış yeri, ara duraklar ve mola yerleri gibi tesislerin gelişmiş düzeyde ve büyük kapasiteye sahip durumda olması.
- Karayolu, terminal, insan ve araç altyapısının daha kolay ve daha ucuza oluşturulabilmesi.

#### Zayıf özellikleri

- Karayolu ağında fiziki ve geometrik standartlar açısından yetersiz kesimlerin bulunması.
- Ülkemizin büyük bir bölümünde, kış mevsiminde yaşanan olumsuz iklim koşullarının karayolu taşımacılığını olumsuz yönde etkilemesi.
- Yük ve yolcu taşımacılığının büyük ölçüde karayolunda gerçekleştirilmesinin, trafikteki ağır taşıt oranının yüksek olmasının ve aşırı yüklemelerin yol üstyapısının erken bozulmasına neden olması.



- Karayollarına ayrılan ödeneğin yetersizliği nedeniyle, yolların bakımının gerektiği şekilde ve zamanda yapılamaması, bakımın gecikmesinin maliyetin artmasına, hizmet kalitesinin düşmesine ve güvenliğin azalmasına yol açması.
- Araçların kullandığı akaryakıtın ve karayolu üstyapısında kullanılan bitümlü malzemelerin büyük ölçüde dışa bağımlı olması.
- Karayolu trafiğinin, özellikle aşırı yüklü araçların yol açtığı trafik kazalarının telafisi mümkün olmayan, büyük can ve mal kayıplarına neden olması.
- Yolcu ve yük taşımacılığında gerekenden fazla kapasite olması, bayramlar vb. özel günler dışında bu kapasite fazlalığının verimsiz, güvensiz ve ekonomik olmayan rekabet ortamı yaratması, rekabetin taşımacı için yıkıcı, ülke için zararlı boyuta ulaşması.
- Karayolu taşımacılığında alınan altyapı kullanımı ücretlerinin yine karayolu altyapıları için kullanılamaması.
- Sektörlerde özellikle, taşımaya yönelik veri eksikliği olması, yük ve yolcuların ülke düzeyinde nasıl dağıldığının tam olarak bilinmemesi.

### **Türkiye’de Karayolunun Sahip Olduğu Fırsatlar**

- Ülkemizin coğrafi konumu itibarıyla, Avrupa, Asya ve Orta Doğu ülkeleri arasındaki taşımalarda etkinliğini arttırabilecek avantaja sahip olması.
- Ülkemizin, bölgedeki gelişmelere paralel olarak, Kafkaslar, Orta Asya ve Orta Doğu pazarlarında taşımacılık konusunda yeni fırsatlar yakalaması.

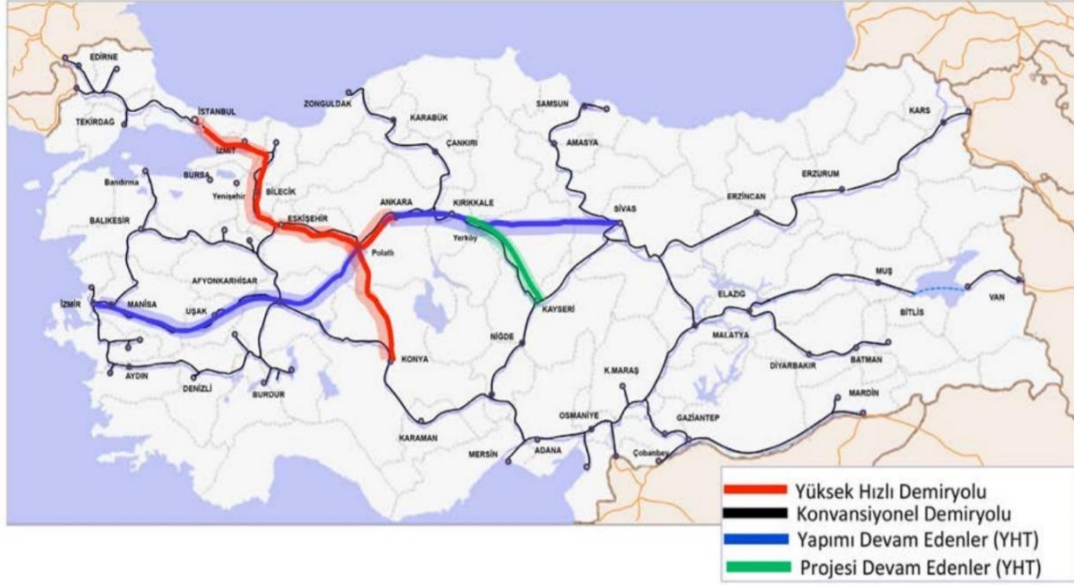
### **2.2 Demiryolu**

Demiryolu yalnızca ray, travers, balast gibi üstyapı ve drenaj, yarma ve dolgu gibi altyapı elemanlarına bağlı olmayıp, iki nokta arasında yer alan istasyon, emniyet ve sinyalizasyon tesisleri ile birlikte raylar üstünde hareket eden araçların tümünün oluşturduğu bir sistemdir [4]. Modernizasyon sonucunda güvenliği ve taşıt işletim sıklığı giderek artmaktadır. Bunun uygulanması için hatların çift hatta çevrilmesi ve elektrikleştirilmesi çok önemlidir.

Ulaştırma sektörünün temellerinden olan demiryolları da diğer ulaşım türleri gibi küreselleşmenin oluşturduğu düzene uyması için önemli bir yapısal ve teknik değişim sürecinden geçmektedir. Bu değişim süreci içinde demiryollarının hem kendi yapıları hem de devletle ilişkileri sorgulanmakta ve yeniden düzenlenmektedir. Dünya demiryollarının neredeyse tümünde yeniden yapılanma çalışmaları çeşitli şekillerde sürdürülmektedir. Günümüzde, demiryolu sektörünün sadece diğer ulaşım türleri karşısında rekabet gücünü arttırmaya değil, birden fazla işleticinin faaliyetine olanak sağlayacak şekilde sektör içinde de rekabet yaratılmaya çalışılmaktadır. Gelecek yıllarda demiryolu taşımasının özelliklerine uygun güzergâhlarda gelişmeye devam edeceği ve kamuoyunun çevresel konulardan dolayı trafiğin karayolundan demiryoluna kaymasına neden olması beklenmektedir. Demiryolları da oluşan bu olumlu gelişmeden yararlanabilmek için enerji verimliliği, hizmet kalitesi, konfor, güvenilirlik ve fiyat konusunda iyileştirmeler yaparak rekabet gücünü arttırmak için önlemler alınmalıdır [3].

## Ülkemizde Demiryolunda Gelişmeler

Ülkemiz yüksek hızlı tren hatları ile 2009 yılında tanışmıştır. 2011 tarihinde Ankara–Konya, 2013 tarihinde Eskişehir–Konya, 2014 tarihinde Ankara–İstanbul ve İstanbul–Konya hatları yapımı ve hizmete açılmasıyla beraber 2016 yıl sonunda 1213 kilometrik Yüksek Hızlı Tren Hattı işletmeciliğine ulaşıldığını gösteren bilgiler Şekil 1 ve Çizelge 1’de verilmiştir [4, 5].



Şekil 1. Planlanmış ve imalat aşamasında olan yüksek hızlı demiryolu hatları.

Şekil 1’de kırmızı renk ile gösterilen hatlar tamamlanmış, mavi renk ile belirtilen hatlar yapımı devam eden ve yeşil renk ile gösterilen hatlar ise projesi devam etmekte olan yüksek hızlı demiryolu hatlarıdır.

Çizelge 1 2012 ve 2016 yılları arasında yüksek hızlı demiryolu hattı verileri

	2012	2013	2014	2015	2016
Hat Uzunluğu (km)	888	888	1.213	1.213	1.213
Tren Seti Mevcudu	12	12	12	13	19
Toplam Kapasite	4908	4908	4908	5352	8238
Tren-Km	3.460.766	4.012.220	4.092.395	4.320.069	7.549.480
Koltuk-Km (10 <sup>3</sup> )	1.422.375	1.649.022	1.163.376	1.366.377	1.371.923
Yolcu Sayısı	3.349.524	4.207.324	5.085.697	5.693.286	5.898.387
Yolcu-Km (10 <sup>3</sup> )	914.019	1.185.377	1.554.731	1.846.997	1.871.398

Ülkemizde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu kesimlerde özellikle ekonomi, sanayi ve ticaretteki gelişmelere paralel olarak İstanbul ve Ankara gibi büyük şehirlerde kentleşme devam etmektedir ve bu şehir merkezlerine göç, son zamanlarda hız kazanmıştır. Bu sebeple Şekil 1’de gösterilen mevcut konvansiyonel hatlara ek olarak Türkiye’de Ankara–İstanbul ve Ankara–Konya Yüksek Hızlı Demiryolu projeleri hayata geçirilmiştir. Ülkemizde ulaşımda demiryolu payını ve yüksek hızlı demiryolunun mevcut kullanılabilirliğini artırmak amacıyla, Ankara–Sivas ve Ankara–İzmir Yüksek Hızlı Demiryolu projeleri yapımı devam etmektedir ve ayrıca Kayseri–Yerköy Yüksek Hızlı Demiryolu projesi planlanmaktadır. Yüksek hızlı tren hattı yapılacak bölgenin jeolojik ve altyapı özellikleri düşünülerek yolcu talebine uygun ve gerekli güzergahlar oluşturulması gibi ulaşım planları gelecek dönemlerde gerçekleştirilmek istenmektedir. Türkiye’nin yıllardır gerçekleştirmek istediği yüksek hızlı demiryolu

hatları tamamlanmış, Ankara-İstanbul ve Ankara-Konya hatları hizmete sunulmuştur. Ülkemizde yüksek hızlı demiryolları gelişimi ve uygulaması adına yeni projeleri gerçekleştirilmek için adım atılmıştır. Ankara-Sivas ve Ankara-İzmir projeleri için yapım çalışmaları hızla sürmektedir ve bu hatların 2020 yılına kadar hizmete açılması en baştaki planlar arasındadır. Ayrıca Yerköy-Kayseri Yüksek Hızlı Demiryolu projesi ise plan aşamasındadır.

### 2.2.1 Türkiye’de Demiryolunun Sahip Olduğu Güçlü ve Zayıf Özellikleri

Ulaştırma sistemimizle ilgili ‘Güçlü ve Zayıf Özellikleri ile Fırsatların’ sonuçları aşağıda sıralanmıştır;

#### Güçlü Özellikleri

- Demiryolunun hız, konfor, güvenlik gibi henüz tam geliştirilmemiş avantajları,
- Türkiye’de bir çok ülkeye göre demiryollarına uygun taşıma uzaklıklarının söz konusu olması,
- Ülkemizin en önemli yedi limanı ile bağlantıya sahip bulunması,
- Enerji verimliliği,
- Çevre dostu olması,

#### Zayıf Özellikleri

- Altyapı, çeken-çekilen araçların yetersizliği,
- Altyapının bakımsızlığı,
- Boğaz ve Van Gölü kesintileri,
- Yıllar boyu oluşan ve daha çok karayoluna yönelik olumsuz taşıma alışkanlıkları,
- Kazalar nedeniyle en önemli niteliği olan “güvenli” olmasından taviz verilmesi.
- GAP bölgesinin demiryolu sistemi ile bağlantısının kurulamamış olması.

#### Türkiye’de Demiryolunun Sahip Olduğu Fırsatlar

- Taşıma Kanunu’nu ile karayolunun ve ulaştırma sisteminin disipline edilebilmesi,
- Türkiye coğrafyasının demiryoluna elverişli uzun mesafe taşımacılığı,
- Karayollarının, potansiyelinin son düzeyine varılmış olması,
- Asya-Avrupa bağlantıları girişimlerinde bir paya sahip olabilmek,
- Kombine taşımacılıkta beklenen çok önemli gelişmelerde demiryolunun mutlaka görev alma şansının bulunması.

### 2.3. Denizyolu

Ülkemiz, Orta Asya, Avrupa ve Ortadoğu arasında jeopolitik konumundan dolayı taşımacılık yönünden büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye üç kıtanın geçiş yollarında bulunan coğrafi konumu sebebiyle; Cebelitarık Boğazı ile Atlas Okyanusuna, Süveyş Kanalı ile Arap Yarımadası ve Hint Okyanusuna, Türk Boğazlarının Karadeniz-Akdeniz bağlantılarıyla Avrasya ve Uzakdoğu’ya uzanan bir ulaşım ağına sahiptir. Bu durum uluslararası ve transit taşımacılık açısından ülkemizin önemini belirtmektedir. Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye’de de uluslararası ticaretin çok büyük bir bölümü ton-km maliyeti en ucuz taşıma türü olan denizyolu ile gerçekleşmektedir. Dış ticaret taşımalarımızın son on yıllık ortalamasının %88,1 oranında denizyolu ile yapılmış olması limanlarımızın önemini giderek artırmaktadır. Bu nedenle dünyada yükler birleşerek konteynerleşmeye liman yatırımları da konteyner terminallerine yönelik yapılmaktadır. Bu çalışmanın esas amacı, ülkemizde karayoluna bağımlı hale gelmiş düzensiz bir taşımacılığı; denizyolu ve demiryolu taşımacılığının payını artırarak tüm hizmetlerle birleştirilerek dengeli bir şekilde geliştirecek ulaştırma planları belirlemektir [6, 7, 8].

## Deniz Ulaşımında Ülkemizin Avantajları

Üç tarafımızın denizlerle kaplı olan Türkiye'nin coğrafi olarak stratejik konumu. Transit taşıma olanaklarına sahip olması. Batı-doğu ve kuzey-güney ulaştırma hatlarının ortasında yer alması. Rusya ve Karadeniz ülkelerine yakın bir coğrafyada bulunması. Uzakdoğu, AB, Karadeniz ve Amerika kıtaları arasında büyüyen yük hareketinin önemli bir geçiş kavşağında yer alınması. Doğal limanların varlığı. Enerji ve ulaştırma koridorları üzerinde bulunması. Karadeniz ve Akdeniz'de en uzun kıyı şeridinde sahip ülke olması. Liman hizmetleri tarifesinin düşük olması, fiyatlarda rekabetçi bir yapıya sahip olması. Avrupa'ya kıyasla denizcilik sektöründe ucuz işgücüne sahip olması. Limanlara yakın yerlerde serbest bölgelerin bulunması. Denizcilik konusunda donanımlı üniversitelerimizin varlığı. Kıyı yapıları yatırımcılarının varlığı. Römorkör, kimyasal tanker, ahşap tekne, butik gemi yapımı, askeri gemi yapımı, koster yapımında ihtisaslaşmış olması. Müşteri isteklerine karşı esneklik ve aynı anda yeni inşa ve bakım onarım yapan tersanelerin ürün yelpazesindeki çeşitlilik. Birçok ülkeye yakın konumda ve bölgenin güçlü gemi inşa sanayine sahip olması. İşletmelerin profesyonelleşmesi, yeni Ro-Ro hatlarının oluşması. Eskiye dayalı gemi acenteleri ve brokerlerin olması.

## Deniz Ulaşımında Ülkemizdeki Sorunlar

Kıyı Yapıları Master Planı'nın mevzuata geçirilmemiş olması. Büyük ölçekli ve transit taşımacılığa uygun yeterli liman olmaması. Deniz taşımacılığı ile ilgili çok başlılık ve yapılan planlara uyulmaması. Denizcilik ile ilgili devlet birimlerindeki kuruluşların ve görev yapanların yetki ve sorumluluklarının ve yetki sınırlarının yeterince açık olmaması. Sektörün birbiriyle uyumsuz, çok sayıda ilgili kurum ve kuruluşun yasa, yönetmelik ve mevzuatlarına açık bırakılması sonucu yatırımcı açısından ortaya çıkan belirsizliklerin, caydırıcı ve maliyeti artırıcı durumu. Farklı kurumların planlama-onama yetkisi karmaşası oluşturması. Liman yönetiminin özerk (otonom) olamaması. Liman otoritesinin kurulmamış olması. Kaçakçılıktan ziyade ticari verimliliği amaçlayan prosedür, mevzuat ve uygulama yorumlarının farklı anlaşılması. Gümrük mevzuatı ve işlemlerinde uygulamada zorlukların yaşanması. Türk deniz ticaret filosunun gemi tipi açısından dış ticaretinin özelliklerine ve ihtiyaçlarına yeterince cevap vermemesi. Ölçek ekonomisine uygun operasyon gerçekleştirememesi. Limanların bir kısmında yetersiz altyapı ve yeterli demiryolu bağlantısının bulunmaması veya hiç olmaması. Ülke içinde limanların organize sanayi bölgeleri ve üretim merkezlerine yeterli bağlantısının bulunmaması. Liman operasyon elemanlarının yeterli iş eğitimini almamış olması ve kalifiye olmaması, ara eleman temininde yaşanan zorluklar, limanların bir kısmında çalışma koşullarının iyi olmaması.

## Ülkemizde Denizyolundaki Hedeflerimiz

Türkiye'nin denizcilikteki vizyonu;

-Deniz ticaret filosu ve denizyolu taşımacılığı, deniz yapıları, (tersaneler, limanlar, marinalar ve benzeri) denizde seyir, can, mal ve çevre emniyeti, denizcilik eğitimi, kültürü ve turizmi, Ar-Ge ve deniz teknolojileri alanlarının her birinde, bölgesinde lider, uluslararası denizcilik arenasında da ilk sıralarda yer alan "Denizci Millet, Denizci Ülke" olmak.

-Türk sahipli deniz ticaret filosunun tonaj bazında 50 milyon DWT'e ulaşmasını sağlamak ve dünyada ilk 10 ülkeden biri olmak.

-Denizcilikte; 100 bin zabıt, 350 bin tayfa, 1 milyon amatör denizci sayısına erişmek.

-İntermodal taşımacılığa uygun limanların, master planlar çerçevesinde öngörülen yatırımlarının gerçekleştirilerek diğer ulaşım modlarıyla entegrasyonunu sağlamak.

-İntermodal taşımacılığa uygun liman bölgelerinde ve hinterlandında lojistik merkezlerin yaygınlaştırılması.

-Denizyolu taşımacılığında hizmet veren sektörün finansman olanaklarının güçlendirilmesi,

-Araştırma ve teknolojinin, akıcı ve etkili ulaşımın hizmetine sunulması (liman bilgi sisteminin, terminal otomasyon sisteminin oluşturulması).

-Trans-Avrupa, Pan-Avrupa, TRACECA ve diğer ulaştırma ağlarında limanların etkinliğinin artırılması.

-Deniz yolu taşımacılığında gerçekleştirilmesi öngörülen yatırımların taşıma modlarına yönelik master planlara uygun olarak planlanmasının teşvik edilmesi.

-Türkiye'deki kıyı tesislerini birleştirilerek ihtisas limanları kurmak ve sıvı yük için mevcut şamandıra sistemlerini kaldırarak dolfen terminal sistemine dönüştürmek.

-Mevcut olan tersanelerin teknoloji, finans ve işletmecilik modeli ile birleşmelerini teşvik ederek daha etkin, rasyonel ve büyük kapasiteli tersaneler haline dönüştürmek.

-Gemi inşa sektöründe, elektronik ekipmanlar, teçhizat ve diğer ekipmanlar dahil en az yüzde 70 yerli katkı payı ile gemi üretimi yapılmasını sağlamak.

-Yüksek, orta ve düşük devirli gemi makinelerini yerli olarak üretmek ve ihraç etmek.

-Deniz kirliliklerine hızlı ve etkin müdahale edebilmek için Ulusal Deniz Emniyeti ve Acil Müdahale Merkezi'nin faaliyete geçmesini sağlamak.

-Kıyılarda tüm gemi trafiğinin izlenmesini sağlayacak sistem ve yazılımın yerli imkânlarla geliştirilip kullanılmaya başlanmasını sağlamak.

### **2.3.1 Türkiyede Denizyolunun Sahip Olduğu Güçlü ve Zayıf Özellikleri**

Ulaştırma sistemimizle ilgili 'Güçlü ve Zayıf özellikleri ile Fırsatların' sonuçları aşağıda sıralanmıştır;

#### **Güçlü Özellikleri**

- Konteyner gemilerindeki sayı ve tonaj artışı, yaş ortalamasının oldukça genç olması, filomuzun taşıdığı yüklerin miktar yönünden yükselişini de beraberinde getirmiştir,
- Son üç yılda filomuza dahil olan yeni hampetrol ve petrol ürün gemileri, ithal taşımalarımıza katkı sağladığı gibi, Üçüncü Dünya ülkelerine yönelik olarak yapılan taşımalardan aldığı pay ile de ekonomimize önemli ölçüde girdi sağlamaktadır,
- Limanlarımızın jeopolitik konumu itibariyle önemi ve transit taşımacılığa uygun olması,
- Uluslararası taşıma koridorları arasında yer alan coğrafi konumumuz nedeniyle talebin büyüklüğü,
- Liman sahaları içinde daha önceden kurulmuş olan serbest bölgelerin getirdiği ekonomik avantajlar.

#### **Zayıf Özellikleri**

- Yolcu ve yük yolcu gemilerimizin sayısal ve/veya taşıma kapasitesi açısından yetersiz olması,
- İthalat/ihraçat yüklerimizin % 75'inin yabancı bayraklı gemiler tarafından taşınması,
- Limanlarımızın tehlikeli vb. yükler için uluslararası standartlara uygun depo sağlama ve muhafaza alanları hususunda yetersizlikler,
- Liman kapasitelerinin artan ihtiyaca cevap veremeyecek şekilde yavaş gelişmesi ve yeni limanlara olan gereksinim,
- Limanların fiziki durumunun muhafazasını sağlayacak araç ve gereç mevcudu yetersizliği,

- Deniz kirliliğinin önlenmesiyle ilgili uluslararası taraf olunan sözleşmeler ve ulusal mevzuatlara uyum sağlanamaması,
- Gemi atıklarını toplayacak, standartları idare tarafından belirlenmiş yeterli tekne ve liman atık alım tesislerinin mevcut olmayışı,
- Türk Boğazları'nda artan deniz trafiği,
- Plansız ve kontrolsüz kıyı yapılaşmaları.

### 3. Sonuçlar

İnşa maliyetleri, işletme maliyetleri ve toplam maliyetler açısından demiryollarının ve denizyollarının şanslı durumda olduğu görülür. Taşıt kapasiteleri ve hat ya da deniz yolu kapasiteleri açısından ise, iyi bir işletim sıklığı ve yeterli araç parkınının olması durumunda oldukça yüksek kapasite değerlerine erişmek mümkündür. Belirlenecek olan yeni politikalarla demiryolları ve denizyollarının daha etkin bir şekilde kullanılması vazgeçilmez bir zorunluluktur. Yeni yapılacak demiryolu yatırımlarında hızlı ve modern trenler tercih edilerek, mevcut konvansiyonel hatlar iyileştirilip, yolcu ve yük taşımacılığı kısmen buraya kaydırılmalıdır. Ülkemizi saran ve yolcu ve yük taşımacılığında iyi bir alternatif ulaşım altyapısına imkan veren denizlerimizden yolcu ve yük taşımada daha etkili bir şekilde faydalanılmalıdır. Sonuç olarak giderek artan ulaşım talebini karşılamak için, demiryolu ve deniz yoluna daha çok imkan verilerek, bildiride incelenen bu türlerin sağladığı fırsatlar ve ülkemizin konumu daha iyi değerlendirilmelidir.

### Kaynaklar

- [1] İTÜ, Ulaştırma Uygur Merkezi, Ulaştırma Ana Planı Strateji Raporu, 2005.
- [2] T.C. Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı Çalışma Raporları, 2008.
- [3] Ekim, O., "Yüksek Hızlı Demiryolları için Geometrik Özellikler ve Altyapı", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-3, 48-59, 2007.
- [4] Barron, I., "Limits of classic Lines and classic trains—Introduction to High Speed-High Speed systems around the world", Training in High Speed Systems, Ankara, 25-78, 2007.
- [5] Emanet H. Ülkemizde Yüksek Hızlı Demiryolları İçin Doğal Afet Riskleri ve Önlemleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [6] Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme şurası Demiryolu Sektörü Çalışma Grubu, "11. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme şurası 2013 Demiryolu Çalışma Grubu Raporu", T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, 2013.
- [7] Roess, R. ve Prassas, The Highway Capacity Manual, Springer Verlag, 2010.
- [8] Teodorovic, D. ve Janic M., Transportation Engineering, 2000.

# DEMİRYOLU DENİZYOLU VE KARAYOLUNUN ÜLKEMİZDE ENERJİ TÜKETİMİ VE ÇEVRESEL ETKİLER AÇILARINDAN KARŞILAŞTIRILMALARI

Oğuz Öztürk<sup>1\*</sup> and Onur Öztürk<sup>2\*</sup>

İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bil. Fak. Gemi İnşaat Müh. İstanbul, wowozturk @gmail.com

İTÜ FBE, Jeoloji Mühendisliği, Ayazağa, İstanbul, [onur.ozturk@live.com](mailto:onur.ozturk@live.com)

## Özet

Çalışma kapsamında, ülkemizde üç ana ulaşım türünün çevreye etkileri açılardan karşılaştırmaları yapılmıştır. Ulaştırma sektöründe modlar bazında, enerji tüketimlerinin incelenmesi ve enerji verimliliğini arttırmak adına yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Devamında ise, ulaşım türlerinin çevresel etkileri araştırılmıştır. Karayolu, demiryolu ve denizyolunun; hava kirliliği, su kirliliği, gürültü kirliliği ve kaza riskleri gibi çevresel etkileri incelenmiştir. Mevcut durumda karayolu ağırlıklı taşıma hizmeti verilmesi sonucunda enerji tüketimi, hava kirliliği, gürültü kirliliği ve kaza riski oldukça yüksektir. Çevresel etkileri azaltabilmek için; yeni demiryolu hatları yapılmalı ve yeni koridorlar oluşturularak çevre dostu olan bu türün oranı artırılmalıdır. Denizyollarında ise, deniz ticaret filomuz yenilenmeli, limanlarımızın çağa ayak uydurması sağlanmalı ve çevre açısından avantajları olan bu türden daha etkili bir şekilde faydalanılmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaşım Modları, Türkiye, Çevresel Etkiler.

## Abstract

Within the scope of the study, the effects of the three main transportation types in our country were compared from the environmental impact perspective. In the transportation sector, some modes of study were carried out to examine energy consumption and to improve energy efficiency. Subsequently, the environmental impacts of transportation types were investigated. Environmental impacts of railway, maritime and highway such as air pollution, water pollution, noise pollution as well as accident risks were examined. In the current situation, as a result of highway weighted transportation service, energy consumption, air pollution, noise pollution and accident risk are very high. To reduce environmental effects; new railway lines should be built and new corridors should be created to increase the rate of this environmentally friendly line. On the other hand, maritime commerce should be renewed, our harbors should be kept up to date, and this transportation mode which is environmentally friendly should be used more effectively.

**Keywords:** Mode of Transport, Turkey, Environmental Impacts.

## 1. Giriş

Nüfus artışı, yapılanma ve sanayinin büyümesi ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte ülkemizde geçmişten günümüze enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Türkiye Makine Mühendisleri Odası'nın 2012 yılı Dünyada ve Türkiye'de 'Enerji Verimliliği Hakkında Oda Raporu'nda belirtildiği üzere ülkemizde 1990 yılında 25,5 milyon TEP olan enerji üretimi, 2010 yılına kadar yalnızca 7 milyon TEP artarak 32,5 milyon TEP'e ulaşmıştır. Aynı süre içerisinde enerji talebinde olan artış ise 56 milyon TEP'dir. Bu fark sebebi ile 2008 yılında ithal enerji bağımlılığı %73'e kadar yükselmiştir. [1], Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Ulaşım İstatistikleri'ne göre, ulaştırma sektörü 26,8 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) enerji tüketimi ile ülkemizin nihai enerji tüketiminde %19,6'lık bir paya sahiptir. Bu sektörde enerji tüketiminin yaklaşık %98'ini petrol ürünleri teşkil etmektedir. Ulaşım sektörünün petrol ürünlerine, dolayısıyla neredeyse tamamen ithal kaynaklara olan bağımlılığı hem Türkiye enerji sektörü hem de çevre için önemli sorunlar doğurmaktadır. Petrol tasarrufu sağlanması, alternatif ve çevreye duyarlı yakıt tiplerinin ulaşımda kullanımının artması ve yakıtları daha etkin kullanmak adına geliştirilen teknolojilerin ulaştırma sektöründe kullanılması Türkiye'de ulaşım sektöründe enerji verimliliğinin artması adına önemi büyüktür. Ülkemizde kara araç sayısının her yıl artması, nüfus yoğunluğunun belirli bölgelerde toplanması gibi sebeplerle, ulaştırma sektöründeki enerji tüketimi her yıl düzenli olarak artmaktadır. Günümüzde kullanılan ulaştırma sistemlerini karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu olmak üzere dört ana grupta toplayabiliriz, çalışmada ilk 3'ü incelenmektedir. Dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de en çok kullanılan ulaştırma türü karayoludur. Türkiye'de yapılan ton-kilometre'nin %93'ü ve yolcu-kilometre'nin %88'i karayolları üzerinden gerçekleşmektedir. Yük taşımacılığında ikinci sırayı demiryolu, üçüncü sırayı ise denizyolu almaktadır, Çizelge 1, [2].

Çizelge 1. Ülkemizde türlere düşen taşıma değerleri.

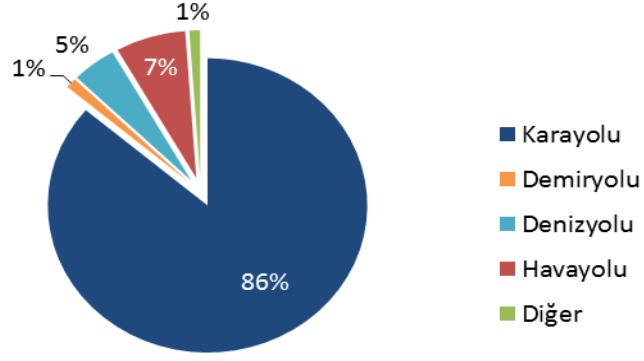
Türkiye'de Ulaşım Sistemlerine Göre Yük ve Yolcu (2016)	Ton-km	Yolcu-km
Karayolu	253.139	300.852
Demiryolu	11.661	7.829
Denizyolu	8.547	1.112
Havayolu	19	31.730

**Kaynak:** T.C Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı

## 2. Ülkemizde Ulaştırma Sektöründe Enerji Kullanımı

Türkiye'de ton-km ve yolcu-km açısından da başı çeken ulaşım sistemlerinden karayolu, enerji tüketimi açısından da diğer ulaşım sistemlerine göre oldukça fazla bir paya sahiptir. Demiryolu taşımacılığı ton-km olarak ikinci, yolcu-km olarak da üçüncü sırayı almasına rağmen, enerji tüketimi enaz olan ulaştırma sistemlerinden biridir, Şekil 1.





Şekil 1. Türkiye'de ulaştırma sistemlerinin enerji tüketim payları, 2011.

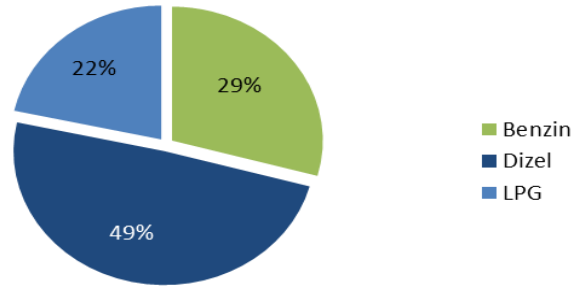
Çizelge 2'de ulaşım sistemlerine göre kullanılan yakıt türleri verilmiştir. Demiryolu dışındaki tüm ulaşım sistemlerinde yakıt olarak çoğunlukla petrol ürünleri kullanılmaktadır. Petrolün yaygın kullanımı göz önünde bulundurularak, enerji verimliliğinin artması ve karbon salınımının azalması için daha tasarruflu ve çevreye duyarlı petrol işleme yöntemlerinin araştırma ve geliştirme aktiviteleri hız kazanmaktadır. Ek olarak, elektrik depolama teknolojilerinin gelişmesi ve çevreye olan duyarlılığın artmasıyla birlikte, elektrik ile çalışan motor tipleri geliştirilmekte ve özellikle karayolu ve demiryolu ulaşımında kullanımı yaygınlaşmaktadır [3].

Çizelge 2. Ülkemizde ulaşımda kullanılan yakıt türleri.

Kullanılan Yakıt Türleri	
Karayolu	Benzin, dizel yakıt, doğalgaz, lpg, elektrik
Demiryolu	Elektrik, dizel yakıt
Denizyolu	Fuel oil, dizel yakıt vb. petrol ürünleri
Havayolu	Jet A1, avgas, jet b vb. petrol ürünleri

## 2.1. Karayolunda Enerji Tüketimi

2016 yılında, Türkiye'de hâlihazırda 21 milyondan fazla kayıtlı motorlu kara taşıtı bulunmaktadır. Bu taşıtların %54'ünü özel otomobiller, %20'sini kamyon ve kamyonetler, %14'ünü motosikletler, %8'ini traktörler, %3'ünü ise otobüs ve minibüsler oluşturmaktadır (TÜİK). Karayolu taşıtları kullanılan yakıt türlerine göre incelendiğinde, taşıtların 100%'ü petrol türevi yakıt tüketmektedir. TÜİK 2016 verilerine göre, karayolu taşıtlarının yaklaşık yarısı dizel yakıt, %29'u benzin, %22'si ise LPG tüketmektedir. Türkiye'de son yıllarda kullanımı teşvik edilen ve giderek kullanımı artan bir diğer alternatif kara taşıtı ise elektrikli veya hibrit otomobillerdir, Şekil 2, [3, 4].

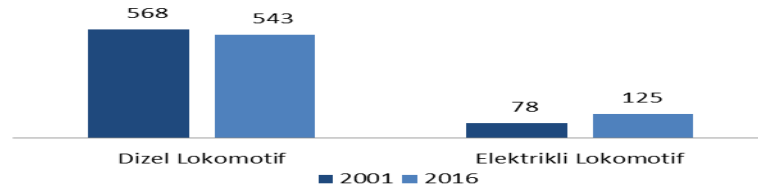


Şekil 2. Türkiye'de yakıt türüne göre motorlu karayolu taşıt sayısı, 2016.

Türkiye'de, son yıllardaki karayolunda, LPG ve dizel motorlu araçların sayısında belirgin bir artış görülürken, benzinli araç sayısı son 12 yılda fazla değişmemiştir Şekil 3 [4]. Günümüzde demiryollarında kullanılan araçlar, dizel yakıt veya elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. AB ülkelerinde ortalama elektrikli demiryolu hattı oranı %50'ye yaklaşmışken, 2003 verilerine göre Türkiye'de demiryolu hatlarının sadece %20'si elektrik ile çalışmakta, geri kalanı ise dizel yakıt enerjisinden yararlanmaktadır [2- 5].

## 2.2. Demiryolunda Enerji Tüketimi

Karayolu ve demiryolu sistemlerini enerji tüketimi açısından karşılaştırmak gerekirse, 2011 yılı TCDD verilerine göre, demiryollarında toplam 171.065 TEP enerji tüketilmiştir. Tüketilen enerjinin %89'u dizel yakıt, %11'i ise elektriktir, Şekil 3.



Şekil 3. Türkiye'de yakıt türlerine göre lokomotif sayıları 2001-2016.

Karayolu sistemlerinde şehirlerarası taşımacılıkta ise 2011 yılında demiryolları için harcanan enerjinin yaklaşık 53 katına tekabül edecek şekilde, 9.007.642 TEP enerji harcanmıştır. Çizelge 3'de karayolu ve demiryolu sistemlerinin tükettiği TEP enerji, birim taşıma değerleri ve enerji yoğunlukları (TEP/birim taşıma) gösterilmiştir.

Çizelge 3. Karayolu ve demiryolunda enerji tüketimi.

Taşıma Sistemleri	Enerji Tüketimi (TEP)	Taşıma Miktarı (milyon yolcu-km)	Enerji Yoğunluğu (TEP/yolcu-km)
<b>Şehirlerarası Yolcu Taşımacılığı (2011)</b>			
Karayolu	3.877.204	242.265	0,0000160

Demiryolu	88.250	5.882	0,0000150
-----------	--------	-------	-----------

Taşıma Sistemleri	Enerji Tüketimi (TEP)	Taşıma Miktarı (milyon yük-km)	Enerji Yoğunluğu (TEP/yük-km)
<b>Yük Taşımacılığı (2011)</b>			
Karayolu	5.130.438	203.072	0,0000253
Demiryolu	82.816	11.677	0,0000071

Çizelgeden, yolcu taşımacılığında demiryolu ve karayolunun birbirine çok yakın enerji yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir.

### 2.3. Denizyolunda Enerji Tüketimi

Ulaştırma sektöründe denizyolu, yük ve yolcu taşıma kapasitesi ve yakıt tüketimi göz önüne alındığında, yük taşımacılığında da yolcu taşımacılığında da az enerji tüketimine sebep olan ulaşım türüdür. Makine Mühendisleri Odası'nın 2012 yılı verilerine göre, yolcu taşımacılığında, otomobil kullanımı 567 kcal/kişi-km ile birim nakliyat başına en yüksek enerji tüketimine sahipken denizyolu ulaşımı 20 kcal/kişi-km ile en düşük enerji tüketimine sahiptir. Aynı çalışmaya göre, yük taşımacılığında, kamyon kullanımı, birim nakliyat başına 921 kcal/ton-km ile en yüksek enerji tüketimine sebep olurken, denizyolu ulaşımı ile birim nakliyat başına 25 kcal/ton-km enerji tüketimi oluşmaktadır, Çizelge 4.

Çizelge 4. Ulaştırma Türlerinin Yük ve Yolcu Başına Enerji Tüketimi

		Yolcu Taşımacılığı (kcal/kişi-km)	Yük Taşımacılığı (kcal/ton-km)
Karayolu	Otomobil	567	-
	Otobüs	155	-
	Kamyon	-	921
Demiryolu		48	61
Denizyolu		20	25

Bu önemli farkı değerlendirmek ve denizlerle çevrili olan ülkemizde deniz ulaşımının payını giderek arttırmak kaçınılmazdır. Ülkemizde enerji tüketiminde yüzde yirmiye yakın bir paya sahip olan ulaştırma sektöründe, enerji verimliliğini artırma ve çevre duyarlılığı artırma amaçlı çalışmalar yürütülmektedir [7].

Karayolu ulaşımının en büyük enerji kaynağı olan petrolün ham maddesi olan fosil yakıtların yenilenebilir enerji türünden olmaması ve rezerv ömrünün ortalama altmış yıl olması sebebiyle alternatif yakıt türleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Sanayi Şurası'nın 'Karayolu Ulaşımında Enerji Verimliliği ve Enerji Kaynaklarının Çeşitlendirilmesi Raporunda' belirtildiği gibi 2030 yılı öngörülerinde dünyada 1,3 milyar daha fazla insan yaşamakta olacak ve bu sebeple enerji tüketimi %36 artacaktır. Ulaştırma sektöründe petrole olan talep azalacak, petrol yerine doğalgaz, biyodizel ve elektrik gibi enerji kaynaklarının yer alacağı düşünülmektedir. Petrol kaynaklarının kısıtlı olması sebebi ile alternatif yakıtların kullanımına geçilmesinin yanı sıra yakıt verimliliğini arttırabilmek adına taşıtlar üzerinde yenilik ve iyileştirmeler, sürücü davranışlarının iyileştirilmesi, karayolu altyapı özelliklerinde düzenlemeler ve vergilendirme yoluyla araç alımı ve kullanımını düzenlemek, otomobil üreten firmaların, devletin ve belediyelerin üzerine düşen görevlerdir.

### 3. Ulaştırmanın Çevresel Etkileri

Her ulaşım türünün de ekolojik sisteme farklı seviyede etkileri bulunmaktadır. Karayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşım türlerinin hava kirliliği, su kirliliği, gürültü kirliliği ve kaza riskleri bakımından farklı zararları mevcuttur. Çevre, dünya üzerinde yaşamını sürdüren canlılarının hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdüğü ortamdır. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını; insan, hayvan, bitki ve diğer mikro organizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. Doğanın temel fiziksel unsurları olan, hava, su ve toprak üzerinde olumsuz etkilerin oluşması ile ortaya çıkan ve canlı öğelerin hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen cansız çevre öğeleri üzerinde yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışmasına Çevre Kirliliği adı verilmektedir [8-10].

#### 3.1. Karayolu Ulaşımının Etkileri

Ulaştırma türleri içinde çevresel etkiler açısından en elverişsiz sistemdir. Karayolu trafik kazaları diğer sistemlerle karşılaştırılamayacak derecede önemlidir. Ekonomik faktörlerin yanı sıra, çevre kirliliğine neden olan kirletici emisyonların ve sera etkisine neden olan CO<sub>2</sub> emisyonlarının sınırlandırılması amacıyla, taşıtların yakıt tüketimlerine kısıtlamalar getirilmektedir. Trafiğin devamlılığının olması karayolu gürültüsünün daha rahatsız edici olmasına neden olmaktadır. Ayrıca tüm gelişmelere rağmen kaza riski, ölüm ve yaralanma sayısı hala çok yüksektir. Birim işe düşen yakıtın fazla olması ve kullanılan yakıtlar nedeniyle iklim değişimine etkisi de oldukça fazladır. Kazaları azaltmak için eğitime büyük önem verilmeli, trafik kuralları, emniyet kemeri takma, alkollü araç kullanmama üzerinde önemle durulmalı, sıkı trafik kuralları uygulanmalıdır. Taşıtlardaki güvenlik sistemlerinin daha da geliştirilmesi kazalar sonucu oluşan zararların en aza indirgenmesinde önemli bir rol teşkil eder.

Karayolunda gürültü ve hava kirliliği önemli seviyelerdedir. Taşıtların şehir içindeki düşük hızda ve ivmeli hareketlerindeki motor, aktarma organları ve egzoz sistemi gürültüleri en önemli gürültü kaynaklarını oluştururken, yüksek hızlı otoyollardaki trafikte lastik-yol etkileşiminden kaynaklanan gürültü en yüksek gürültü emisyonunu oluşturmaktadır. Karayolunda trafiğin devam süresinin fazla olması, araçların düzensiz seyretmesi, araç gürültülerinin homojen olmayışı gürültüyü ve insanda oluşturduğu rahatsızlık hissini olumsuz yönde etkilemektedir. Genel olarak, dizel motorlu çok büyük kamyonlar hariç tüm taşıtlarda 100 km/saat ve üzerindeki hızlarda lastik-yol gürültüsü en etkin kaynaktır. Modern küçük taşıtlar için bu değer 60 km/saat seviyesine kadar düşmektedir. Islak zeminde ise aynı lastik gürültüsü daha düşük hızlarda oluşmaktadır. Lastik-yol gürültüsü taşıtların iç gürültü seviyesi ve sürüş konforu üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir.

1960 lardan günümüze kadar olan süreç içerisinde, gerek yolcu gerekse yük taşıtlarının yakıt tüketimleri taşıt tipine bağlı olarak %50-300 arasında değişen oranlarda azaltılabilmektedir. Bu gelişmeye 1970 lerde başlayan enerji krizine bağlı olarak hızlı bir artış sürecine giren petrol fiyatları neden olmuştur. Taşıtların yakıt tüketiminin azaltılması için üzerinde çalışılan teknolojik alanlar; taşıt boyutunun ve kütesinin azaltılması, motor performansının iyileştirilmesi, lastik performansının iyileştirilmesi, aerodinamik form, transmisyon-motor uyumudur. Tüketimin azaltılması hava kirliliğinde de azalmayı sağlamaktadır.

Karayolunda yaygın şekilde dizel, daha düşük oranda benzin ve LPG kullanılmaktadır. Egzoz emisyonu bileşimi dizel ve benzin motorlarında farklıdır. Herhangibir önlem alınmamış dizel motoru benzin motorunda oluşan CO, HC (VOC) gibi zararlı gazları daha az içerdiği için, daha az çevre kirliliği yaratmaktadır. Gerekli önlemler alındığında, çevre kirliliği benzin motorlarında daha etkili bir şekilde azaltılabilmektedir. Bu nedenle taşıt araçlarındaki çevre kirliliği önleme çalışmaları, daha çok benzin motorlu araçlarda yoğunlaştırılmıştır.

### **3.2. Demiryolu Ulaşımının Etkileri**

Karayoluna göre daha emniyetli bir ulaştırma türüdür. Özellikle yüksek hızlı demiryollarında yok denecek düzeyde kaza söz konusudur. İşletmeye açıldığı günden bugüne Japonların Tokaido- Şinkansen hattında 3 milyar yolcu taşınmıştır. Bu süre içinde ciddi bir yaralanma veya ölümlerle sonuçlanan bir kaza meydana gelmemiştir. Fransız TGV hattında ve Alman yüksek hızlı demiryolu hatlarında sonuçları fazla önemli olmayan birer kaza meydana gelmiştir. Bu örnekler demiryolunun karadaki alternatifi olan karayoluna göre ne kadar güvenlik unsuru yüksek bir sistem olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Demiryolu gürültüsü kesikli gürültü tipine girip, zamana bağlı gürültü diyagramında sivri uçlar oluşturur. Bu tip gürültünün devamlılığı düşüktür, uykuda duyulan rahatsızlık azdır, haberleşme ve konuşma zorluğu fazladır. Tren seyirleri daha uzun bir aralık ve sessizlik vardır, bu nedenle uzun seyir aralıkları demiryolunda bir miktar dinlenme olanağı sağlar. Karayolunda gürültü yayılması benzer tipteki taşıtlarda ve eşit hızlarda bile motorun dönme sayısına bağlı olarak değişirken, demiryolunda benzer tip taşıtlar ve yakın hızlarda gürültü hemen hemen aynıdır. Karayolunda özel araçlar düzensiz seyrederek, seyirleri önceden tahmin edilemez. Buna karşın demiryolunda seyir planına uygun ve düzenli bir seyir şekli vardır. Yapılan araştırmalar bu tür gürültünün uykuyu bölmediğini ve böyle bir gürültü bölgesinde yerleşimlerin olabildiğini göstermiştir.

### **3.3. Denizyolu Ulaşımının Etkileri**

Yeryüzünde hayatın kaynağını oluşturan su ve deniz kirlenmesi çevre kirliliğinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Günümüzde deniz kirliliği deniz suyunda oksijen azalmalarına, denizlerde yaşayan canlılarda zehirlenme belirtilerine neden olmakta ve denizdeki canlılar giderek yok olmaktadır. Doğal olmayan deniz kirliliği; deniz kıyıları boyunca kurulmuş bulunan yerleşme merkezleri ve sanayi tesislerinden, havayolu araçlarından, denizlerde kurulmuş bulunan platform ve boru hatlarından, gemilerden meydana gelmektedir.

Gemilerin neden olduğu kirlilik ise; taşıtların işletilmesi sırasında meydana gelen hava kirliliği, su kirliliği, gürültü kirliliği gibi etkilerin dışında kazalar sonucu meydana gelen veya kasta ve bilgisizliğe dayanan kirliliktir. Gemilerden ve diğer deniz araçlarından oluşan ve denizlerin kirletilmesine neden olan maddeler, özellikle uluslar arası sözleşmeler ve deniz

kirlenmesini önleme kuralları göz önünde bulundurularak beş başlık altında toplanabilmektedir. Bunlar; petrol, zehirli sıvılar, ambalajlı zararlı maddeler, pis sular, çöplerdir.

Denizcilik faaliyetlerinden kaynaklı toplam CO<sub>2</sub> emisyonları 2013 yılından 2015 yılına %2.4 lük artış ile 910 milyon tondan 932 milyon tona ulaşmıştır. Uluslararası denizcilik emisyonları %1,4, iç denizcilik emisyonları %6,8, balıkçılık emisyonları %17 artış göstermiştir. Denizyolu taşımacılığı dünya üzerindeki CO<sub>2</sub> ve sera gazı emisyonlarının (CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak) %3 ünden sorumludur. 2007-2012 yılları arasında yılda ortalama 1 milyar ton CO<sub>2</sub> ve sera gazı emisyonu salımı gerçekleştirmiştir. Deniz taşıtları 2015 yılında 932 milyon ton CO<sub>2</sub> salınımı yapmıştır. Şekil 6'da 2015 yılına ait tüm denizcilik faaliyetlerinden kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının dağılımı ve taşımacılık rotaları kolaylıkla görülebilmektedir. CO<sub>2</sub> iklim kirlenme emisyonlarından yalnızca biridir. Bunun dışında BC, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi emisyonlar da kirlenmelerdendir. 2013-2015 yılları arasındaki değişimleri hemen hemen aynı seviyelerde kalmışlardır. Nitrojen oksitler 2013-2015 yılları arasında %3,5 artarken kükürt oksitler %1 artış göstermiştir. Deniz taşıtlarının verimliliklerindeki gelişimlerine rağmen sera gazı emisyonları ve yakıt tüketimi artmaya devam etmektedir.

Gelecekteki sosyal ve ekonomik duruma bağlı olarak denizyolu CO<sub>2</sub> emisyonlarının artışı beklenmektedir. Denizyolu taşımacılığında ileriye yönelik geliştirmeler yapılmamasının yanı sıra diğer sektörlerin sera gazı emisyonlarında azaltmaya gitmesi sonucu, uluslararası denizcilik sektörü 2050 yılında dünya üzerindeki CO<sub>2</sub> emisyonlarının %17'inden sorumlu olacağı tahmin edilmektedir, Şekil 6.

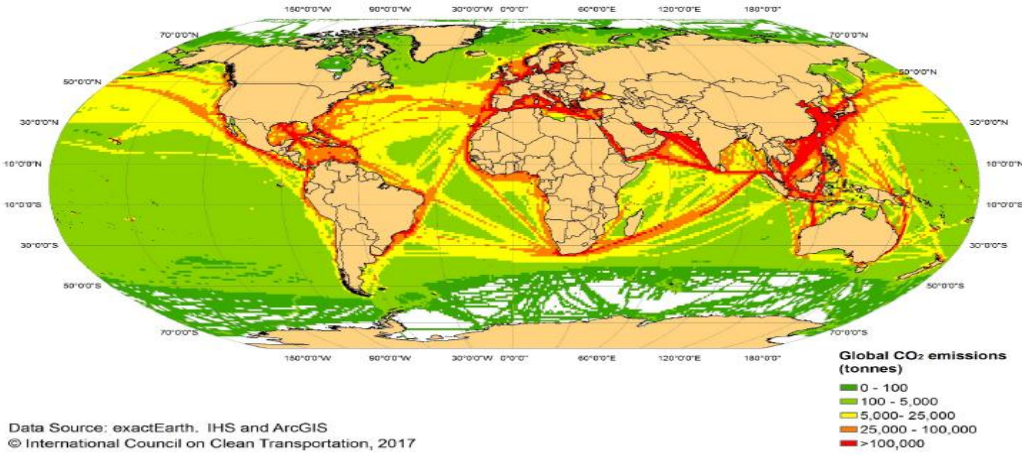


Figure 4. Global distribution of shipping CO<sub>2</sub> emissions, 1°x 1°, 2015

Şekil 6. Denizyolunda taşıma rotaları.

Üç ulaşım türünün enerji kullanım verimliliğindeki sıralaması ise Çizelge 5 de verildiği gibidir.

Çizelge 5. Enerji Kullanım Verimliliği

--

<b>ENERJİ KULLANIM VERİMLİLİĞİ</b>		
Ulaşım türleri	Yolcu Taşımacılığı	Yük Taşımacılığı
Karayolu	Düşük	Düşük
Demiryolu	Orta	Çok Yüksek
Denizyolu	Yüksek	Çok Yüksek

Genel olarak çevresel etkilere bakıldığında, karayolu ulaşımının hava kirliliği ve kaza riski bakımında diğerlerine göre daha etkili, denizyolu ulaşımının ise su kirliliği açısından daha etkili olduğu ve deniz taşımacılığı faaliyetlerinden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları toplam küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının %3'ü ile %5'i arasında olduğu görülmektedir. Ulaşım türlerinin tercih edilmelerine yapılacak ulaşımın amacı da göz önüne alınarak çevresel etkilerinin de rol oynadığı görülmektedir. Örneğin; kaza riski ve hava kirliliği bakımından karayolu en olumsuz konumda bulunmaktadır, ancak şehiriçi ulaşımında en pratik yolculuklar genellikle karayolu ile sağlandığı için, karayolu tercih edilmeye devam etmektedir. Literatür taraması sonucunda oluşan kanaate göre Çizelge 6, 7 ve 8 oluşturulmuştur. Burada incelenen türler için farklı özellikleri ve çevresel etkiler açısından 5 seviye olarak değer verilmektedir.

Çizelge 6. Türlerin çevresel etkilerinin seviyelendirilmesi.

<b>ÇEVRESEL ETKİLER</b>				
Ulaşım türleri ve etkiler	Hava Kirliliği	Su Kirliliği	Gürültü Kirliliği	Kaza Riski
Karayolu	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Demiryolu	Düşük	Çok Düşük	Orta	Düşük
Denizyolu	Orta	Yüksek	Düşük	Çok Düşük

Çizelge 7. Ulaşım türlerinde yolcu taşımacılığı için değerlendirme.

Sistem	Güvenlik	Enerji Verimliliği	Erişilebilirlik	Çevresel Etkiler		
				Hava kirliliği	Su Kirliliği	Gürültü Kirliliği
Konvans. Demiryolu Hattı	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük	Orta
Yüksek Hızlı Demiryolu Hattı	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük	Orta
Şehir İçi Karayolu	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
Şehirler Arası Karayolu	Orta	Düşük	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
Denizyolu	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük

Çizelge 8. Ulaşım türlerinde yük taşımacılığı için değerlendirme.

Sistem	Güvenlik	Enerji Verimliliği	Erişilebilirlik	Çevresel Etkiler		
				Hava kirliliği	Su Kirliliği	Gürültü Kirliliği
Demiryolu	Çok Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Çok Düşük	Orta
Karayolu	Orta	Düşük	Çok Yüksek	Yüksek	Çok Düşük	Yüksek
Denizyolu	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük	Düşük	Yüksek	Düşük

Çizelgeler incelendiğinde demiryolunun ve denizyolunun birçok faktör açısından daha elverişli olduğunu görmekteyiz. Bu farklılıklardan yararlanmak ve enerji ve çevre açısından uygun olan sistemlere daha çok ağırlık vermek ülkemiz ve toplum yararına olacaktır.

#### 4. Sonuçlar



Artışın hızla devam ettiği düşünülürken enerji tüketimi ve çevresel etkileri azaltmak açısından taşıma talebinin artık neredeyse tamamının karayolu ile sürdürülebilmesi mümkün görülmemektedir. Oysa bugün ülkemizdeki taşıma sistemi, geçmişte belirlenen yanlış politikalar neticesinde karayolu taşımacılığına bağımlı bir hale gelmiştir. Bu bağımlılığın faturasını ise yılda ortalama 7.000 kişi trafik kazalarında yaşamını yitirerek, binlerce kişi yaralanıp sakat kalarak ve ülkeye milyonlar mertebesine ulaşan maddi kayıpla ödemekteyiz. Hava kirliliği, iklim değişimi, alan tüketimi, gürültü, kazalar gibi etkiler birlikte düşünülürken burada türel dağılımda iyileştirme yapılması gerektiği aşikardır. Belirlenecek olan yeni politikalarda demiryolları ve deniz yollarının daha etkin bir şekilde kullanılması vazgeçilmez bir zorunluluktur.

Aksi takdirde ülkenin daha büyük kayıplar yaşaması kaçınılmaz bir gerçektir. Şehirlerarası yük ve yolcu taşımacılığında demiryolunun payı artırılmalıdır. Denizyollarında ise, işletim esasları ve fiziki yapılar çağa yaraşır hale getirilerek filomuz ve limanlarımızın çağa ayak uydurması sağlanmalı ve denizlerimizden daha etkili bir şekilde faydalanılmalıdır. Sonuç olarak ulaştırma türlerinin birbirini dengeli tamamlamasının gerekli olduğu ve herbirinin avantajından yeterince yararlanılması ile faydalı bir sistem oluşturulabileceği göz ardı edilmemelidir.

## Kaynaklar

- [1] TMMOB, Türkiye Makine Mühendisleri Odası, Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu, syf. 12, 2012.
- [2] Enerji Verimliliği Derneği, Ulaşım Sistemlerinde Enerji Verimliliği, 2015.
- [3] ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Yoğunlukları ve Enerji Verimliliği İstatistikleri, 2013.
- [4] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Ulaştırma İstatistikleri, 2016.
- [5] Solak A. Türkiye’de Ulaştırma Sektörü Enerji Tüketiminin Azaltılması: Bir Senaryo Yaklaşımı, 2013.
- [6] UB, Ulaştırma, Denizcilik ve Habercilik Bakanlığı, İstatistiklerle Ulaştırma, Denizcilik ve Habercilik, 2016.
- [7] TMMOB, Oda Raporu: Ulaşımında Demiryolu Gerçeği, Nisan, 2012.
- [8] Miola, Ciuffo, Giovine and Marra Regulating Air Emissions from Ships, p.13, 2010,
- [9] Cunniff, P. F., , “Transportation Noise”, Environmental Noise Pollution, John-Wiley & Sons Inc., Canada, p. 151-175, 1977.
- [10] Öztürk, Z., II. Ulusal Kenttsel Altyapı Sempozyumu, Ulaştırma Sistemlerinin Çevresel Boyutu, Sf. 119-129, 1999.
- [11] N. Olmer, B. Comer, B. Roy, X. Mao, D. Rutherford, Greenhouse Gas Emissions From Global Shipping, 2013.
- [12] Christopher M. Puchalsky, Comparison of Emissions from Light Rail Transit and Bus Rapid Transit, 2015.

# MULTICRITERIA DECISION MAKING IN THE URBAN TRANSPORT: SELECTION OF RAIL SYSTEM TECNOLOGY

Mustafa Hamurcu<sup>1\*</sup> and Tamer Eren<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey, e-mail: [hamurcu.mustafa@kku.edu.tr](mailto:hamurcu.mustafa@kku.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey, e-mail: [teren@kku.edu.tr](mailto:teren@kku.edu.tr)

## Abstract

The objective of this study is to use an appropriate multicriteria decision making method to identify the most suitable metro vehicles for urban transport. Most cities in the developing world have very limited resources to cope with the high levels of public transport demand they experience. Effective usage of these resources is important for economy and society. Selection of the most appropriate metro rail systems vehicle also is difficult, and there are many variables such as technical, environmental impact and social features pressures on decision making process to select a particular system. This paper selects of among the alternatives of the most widely used metro rail system vehicles for developing cities. Multicriteria decision making methods, fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), TOPSIS ad VIKOR methods are used for solution of problem. These methods allow for effective comparison and selection of the most suitable one between the alternatives. The process involves conducting pairwise comparisons with respect to evaluated criteria and includes the best selection among the alternatives technology. In the end, the most suitable metro vehicle is selected among the its alternatives to be developed urban transport. The results of select process is evaluated and gave some advice.

**Keywords:** Metro, Fuzzy analytic hierarchy process, TOPSIS, VIKOR, Technology selection

# SELECTION OF INTERCITY TRANSPORTATION PROJECTS UNDER THE VARIETY BUDGET SCENARIOS IN TURKEY

Mustafa Hamurcu<sup>1\*</sup> and Tamer Eren<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kirikkale University, Kirikkale, Turkey, e-mail: [hamurcu.mustafa@kku.edu.tr](mailto:hamurcu.mustafa@kku.edu.tr)

<sup>2</sup> Kirikkale University, Kirikkale, Turkey, e-mail: [teren@kku.edu.tr](mailto:teren@kku.edu.tr)

## Abstract

Transportation area are rapidly growing in the Turkey. There are more transportation projects different area such as bridge, highway, urban transport, rail systems and inter-city transport projects. High-speed rail and rapid train projects are one of these projects for intercity transport. Intercity transport is very important for people in terms of travel time and safe, are variety projects in this area. The allocated budget to this area is finite; thus, integration, demand, population, regional development and budget limitations should be considered to choose the most valuable project in the best ranking. This paper investigates an application study from a high-speed rail and rapid train projects in Turkey to selection the most suitable projects for rail transport network. An application consists of planned high-speed rail projects and rapid train projects and the goal is to find the most suitable and the best advantage projects in Turkey. In this paper, it used analytic hierarchy process(AHP) to find the weight of the identified criteria for the rail systems in first step. Then it is presented a zero-one goal programming (ZOGP) model to optimize and schedule the implementation procedure on the project budget and special limitation. Finally, the best suitable projects are selected among the planned high-speed rail and rapid train projects with variety budget scenarios for intercity transportation.

**Keywords:** Intercity transportation, Goal programming, Analytic hierarchy process, Project selection

# YÜKSEK HIZLI RAYLI SİSTEMLERDE TEKERLEK-RAY TEMAS ANALİZİ

AHMET DEVECİ<sup>1</sup>, METE KALYONCU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ahmet.deveci6735@hotmail.com

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, mkalyoncu@selcuk.edu.tr

## Özet

Tekerlek-ray temas alanında yüksek gerilimler meydana geldiği için plastik deformasyonlar oluşur. Günümüzde hızı 350 km' ye kadar ulaşabilen hızlı trenler düşünülürse, tekerlek ve ray profilinde oluşan plastik deformasyonlar, hem ulaşım konforun azalmasına hem de ekonomik kayıplara neden olacaktır. Bu nedenle tekerlek-ray temas alanı ve üzerinde oluşan gerilmeler net bir şekilde anlaşılması gerekmektedir.

TCDD tarafından Yüksek Hızlı Tren hatlarında kullanılan UIC60E1 ray ile Hızlı Teren Setlerinde kullanılan 850 ve 920 mm çapındaki S1002 profilli tekerlek arasındaki (ray mantarının tepe noktası-tekerlek konik yüzeyi ve ray mantarını köşesi- tekerlek flanş boğazı) temas analizleri hertz teorisine göre yapılmıştır. Yüzey altı asal ve kayma gerilmeleri ise, Johnson tarafından sağlanan yöntemler kullanılarak sayısal olarak belirlenmiştir. Son olarak sonlu elemanlar metodu (SEM), ANSYS Workbench simülasyon programı aracılığıyla UIC60E1- S1002 (Ø850) arasında temas analizleri yapılmıştır ve sonuçlar sayısal hesaplar ile karşılaştırılmıştır.

Sayısal hesaplar ile SEM metodu sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Her iki yöntemle bulunan temas alanı eliptiktir ve temas gerilmeleri ise tekerlek ve ray çeliğinin genel dayanımının üstünde çıkmıştır. Yuvarlanma çapı arttıkça temas gerilmesinin azaldığı ve tekerin flanş boğazında oluşan temas gerilmesi, tekerlek konik yüzeyinde oluşan temas gerilmesinin iki katı kadar olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Tekerlek-ray temas, hertz teori, Ansys Workbench.

## Abstract

In the wheel-rail contact area, plastic deformations occur because of high stresses. Nowadays, if high speed trains reaching speeds of up to 350 km are considered, plastic deformations in the wheel and rail profile will cause both loss of transport comfort and economic loss. For this reason, it is necessary to understand clearly wheel-rail contact area and the stresses that are formed on it.

The contact analysis between the UIC60E1 rail used by the TCDD in the High Speed train lines and the S1002 profiled wheel of 850 and 920 mm in diameter used by the TCDD in high-speed trains (rail head -wheel conical surface and rail head corner-wheel flange) was made according to the hertz theory. The subsurface principal and shear stresses was determined numerically with the use of methods which were provided by Johnson. Finally, contact analysis between the UIC60E1- S1002

(Ø850) was made via the finite element method (FEM) ANSYS Workbench simulation program and the results were compared with numerical calculations

Numerical calculations and SEM method results are found to be close to each other. The contact area of both methods is elliptical and the contact stresses are above the general resistance of the wheel and rail steel. As the rolling diameter increases, the contact tension decreases and the contact tension on the wheel flange throat is twice as much as the contact tension on the conical surface of the Wheel.

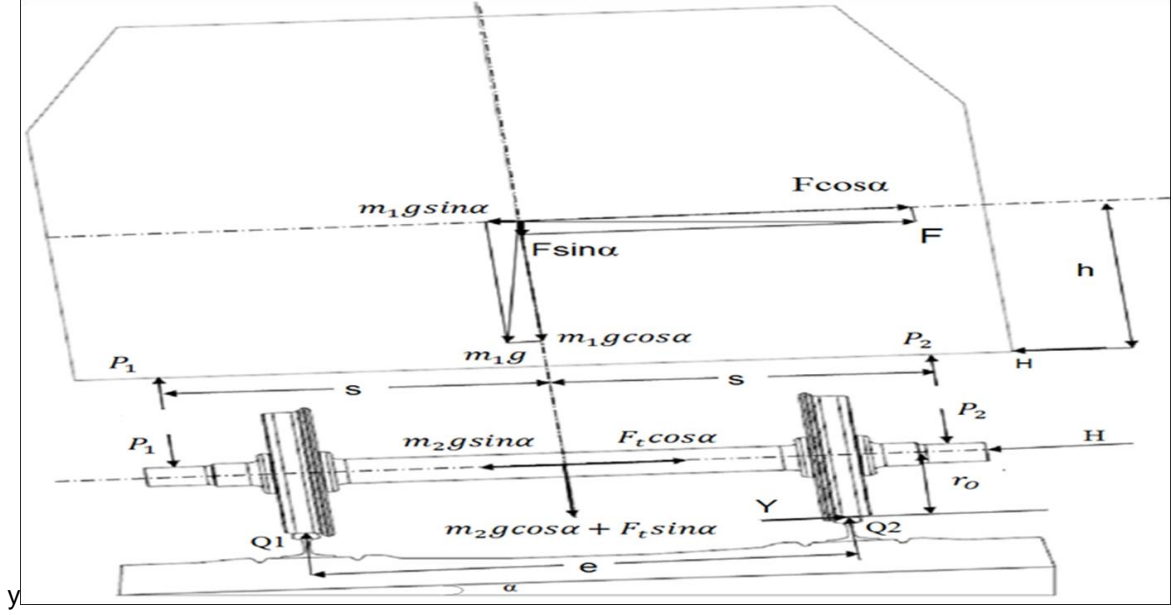
**Keywords:** Wheel-rail contact, Hertz theory, Ansys Workbench.

## 1. Giriş

Hertz 1881 yılında, bazı varsayımlar üzerine temas halindeki iki elastik cisim arasındaki temas alanının büyüklüğünü ve basıncını, cisimler arasındaki normal yükün bir fonksiyonu olarak teorik bir çözüm sunmuştur. Hertz, iki silindirik camın yük altında deforme olduğunu ve temas alanının eliptik bir şekle sahip olduğunu, yükü kaldırdığında ise camların orijinal haline geri döndüğünü gözlemlemiştir [1]. Hertz teorisinin, tekerlek-ray arasındaki tek nokta temasları için iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tek nokta olmayan temaslarda temas basıncı sonlu elemanlar yöntemi (SEM) ile belirlenmektedir. Hertz ve SEM metodu ile tek nokta teması sonucu yapılan analizlerde, temas alanı eliptik olmaktadır. Aks yükü 22.5 ton olduğu zaman bu alan içerisindeki maksimum gerilme  $1300 \text{ N/mm}^2$  'ye ulaşmaktadır. Temas yüzeyinden 6 mm derinliğine kadar kayma gerilmesi, maksimum değerine ulaşmaktadır. Ayrıca dar kurplarda temas gerilmesi  $2500 \text{ N/mm}^2$  ulaşmaktadır [2]. Johnson (1985), iki hareketli küre arasındaki boyuna, enine ve spin sürünme katsayılarını incelemiştir. Araştırması, temas olaylarının anlaşılmasına büyük katkı sağladığı için birçok gazetede ve bir kitapta belgelenmiştir [3]. M.Arslan, 1000 mm çaplı mono blok tekerlek ile UIC 60 ray arasında meydana gelen etkileşim, temas, stres yoğunlaşması vb. olayları ile analiz etmiştir [4]. Ranjan ve Sarkar, aşınma nedeniyle, tekerlek konikliği ve ray profili yarıçaplarındaki değişimlerinin, maksimum temas basıncına etkisinin incelemiştir [5]. Ashofteh ve Mohammadnia, statik ve yarı statik yükleme koşulları altında İran demir yollarına ait bir vagon tekerleğinin, UIC 33 ve UIC 60 ray ile temas sonucundaki gerilmelerini ve elastik-plastik deformasyonlarını SEM ile incelemiş ve çıkan sonuçları karşılaştırmıştır. Ayrıca, tekerlek yuvarlanma yarıçapındaki değişimlerinin, maksimum temas basıncına etkisini incelemiştir [6]. Daneshmand ve arkadaşları, değişik yük altında tekerlek-ray temas analizi yaparak kritik gerilmeleri belirlemişlerdir. Hertz temas teorisi, SEM ve üzerinde çalıştıkları yeni analitik formüllerle edinilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [7]. Esen ve Eroğlu (2015), UIC 515 tekerleği ile UIC 60 ray profilinin statik ve yuvarlanma analizini SEM ile incelemiştir [8]. Sharma ve Kumar, tekerlek ve ray temas alanının üzerindeki gerilmeyi analiz etmek için Hertz ve SEM kullanmıştır. Sürünme kuvvetlerini ise Kalker teorisini kullanarak bulmuştur [9]. Özdemir ve Voltr, UIC60 rayı ile S1002 tekerleği arasında temas gerilmesini ve elastik-plastik deformasyonlarını, beş farklı malzeme modeli kullanarak SEM ile incelemiştir [10].

## 2. Dikey Tekerlek Yükü

R yarıçaplı kurpta V hızı ile giden bir taşıtta, kurplarda teorik deverin olmadığı durumlarda oluşan merkezkaç kuvveti ile sisteme etkiyen diğer kuvvetlerin dengede olduğu durum Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Yatay kurplarda meydana gelen kuvvet bileşenleri [11]

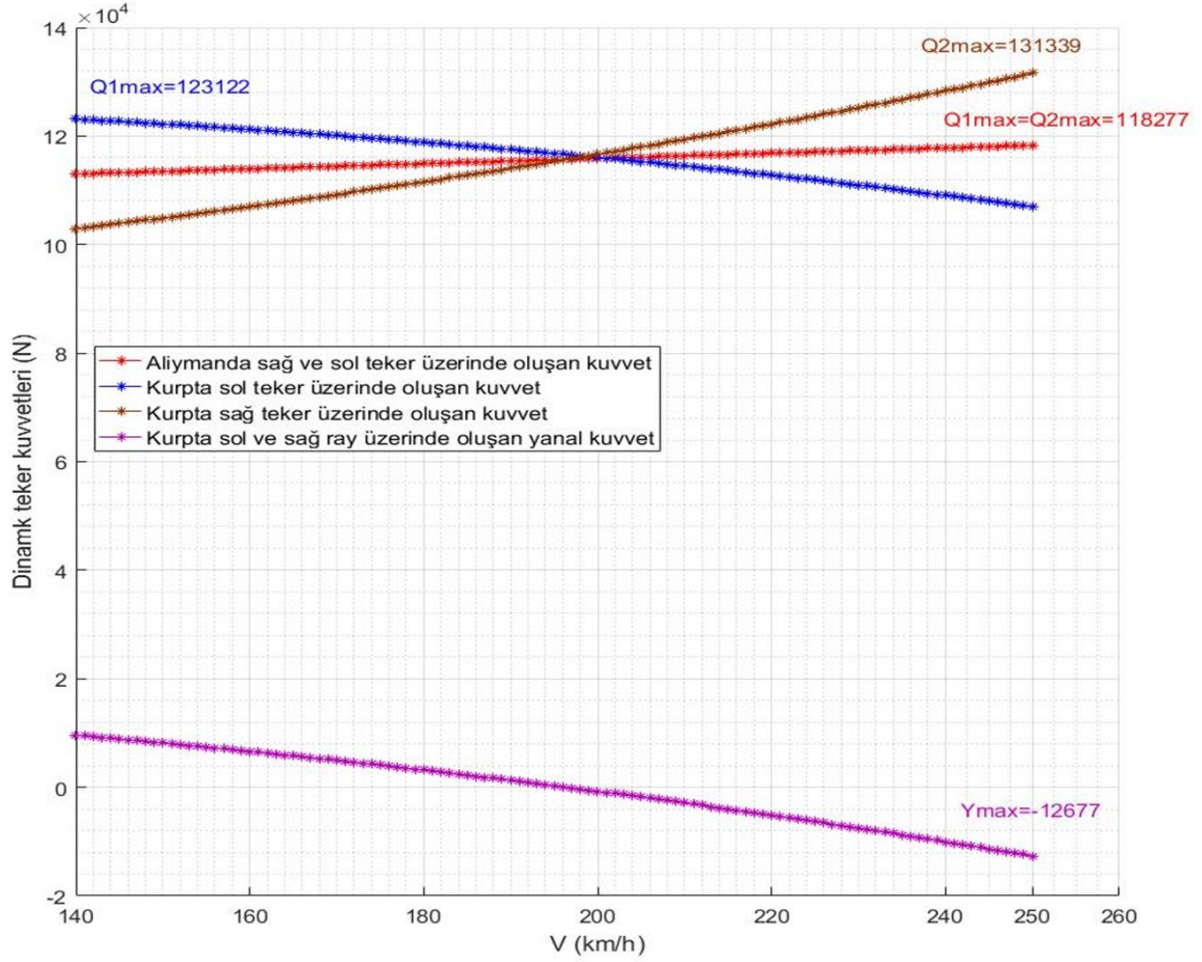
**P1, P2** ve **H** aks üzerine gelen dikey ve yanal kuvvetlerdir. **Y**, sağ veya sol ray üzerinde oluşan yanal kuvettir. **F**, vagon üzerinde oluşan merkezkaç kuvvetidir. **Ft**, tekerlek seti üzerinde oluşan merkezkaç kuvvetidir. **Q1 ve Q2** ray üzerine gelen statik dikey tekerlek kuvvetleridir. Dinamik dikey tekerlek kuvvetini hesaplamak için statik kuvvet dinamik etki katsayısı ile çarpılır. Yolcu trenleri için dinamik etki katsayısı aşağıdaki denkleme göre hesaplanır [2].

$$60 \text{ km/h} < V < 300 \text{ km/h} \rightarrow \varphi = 1 + t \cdot S(1 + 0.5((V-60))/190) \quad (1)$$

Çizelge 1. YHT 65000 hızlı tren setine ait vagonun parametreleri

Sembol	Tanım	Birim
$m_1+m_2$	Aks yükü (yolcu ve valiz yükleri dahil)	18550kg
$m_2$	Tekerlek seti ağırlığı (dişli kutusu, fren diski vb. setler dâhil)	1960 kg
$2s$	Aks üzerine gelen kuvvetler arası mesafe	2160 mm
$e$	Tekerlek-ray temas noktaları arasındaki mesafe	1500 mm
$h$	Araç ağırlık merkezi ile aks eksenindeki uzaklık	1250 mm
$r_0$	Tekerlek yuvarlanma yarıçapı	425 mm
$V$	Maximum yapacağı hız	250 km/h
$R$	Minimum karp yarıçapı	3500 m
$dt$	Teorik dever	211 mm

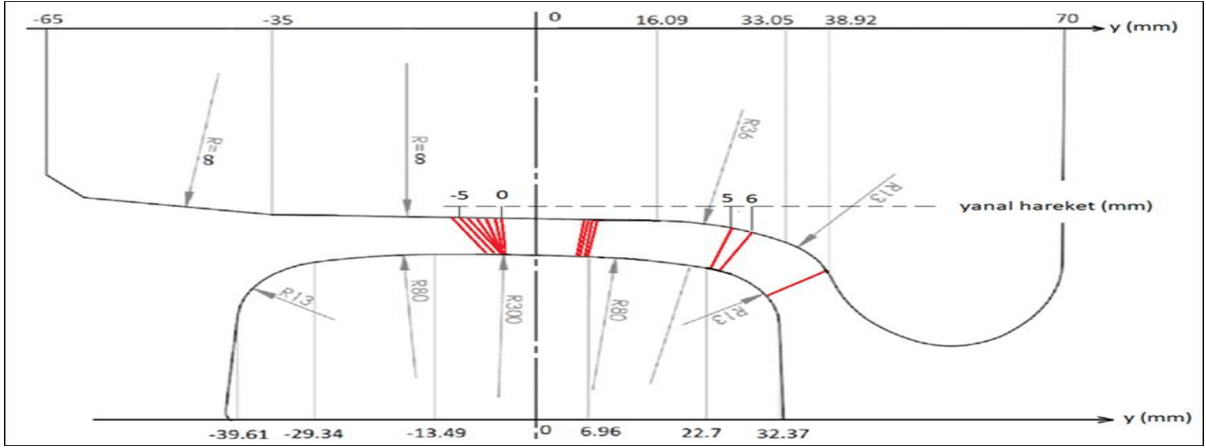
dn	Uygulanan dever	130 mm
lt	Eksik dever	81 mm
S	Hat durumuna bağlı katsayı (İyi durumdaki hat kategorisi seğilmiştir)	0.2
t	Tekerlek- ray temas gerilmelerin hesaplanması için üst güven sınırı	1
$\phi$	Dinamik etki katsayısı	1.3



şekil 2. Aliyman ve kurpta oluşan dinamik kuvvetler

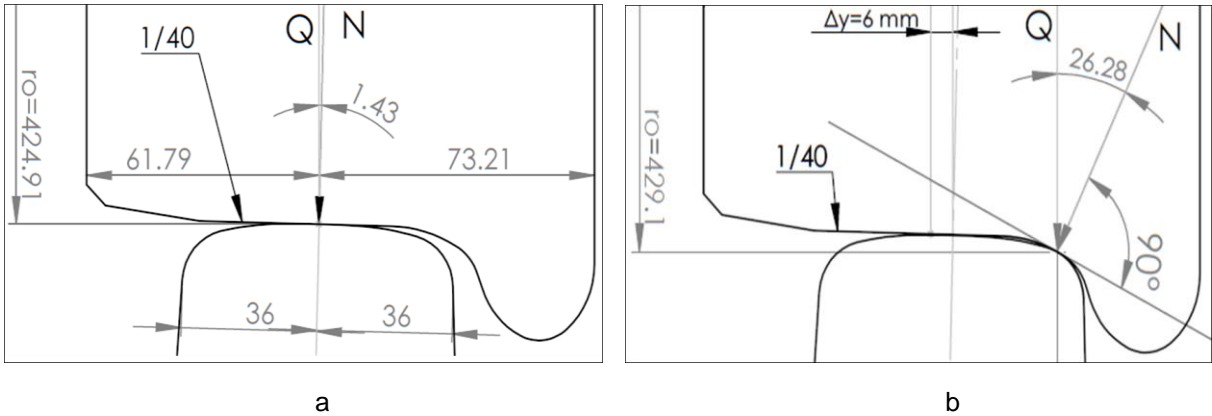
### 3. Temas Geometri

TCDD tarafından YHT hatlarında kullanılan UIC60 E1 ray profili ile ve 850 mm yuvarlanma çapındaki S1002 profilli tekerleğin, yanıl hareket sonucu temas noktaları şekil 3'deki gibidir. Bu çalışmada 250 km/h hızı ile giden bir taşıt için düz hatlarda tekerlek setinin yanıl hareket olmadığı ve 3500 m kurplu hatta ise teker setinin 6 mm yanıl hareket ettiği varsayılmıştır.



Şekil 3. Tekerlek-ray temas noktaları

Şekil 4-a'da ekartman aralığı 1435 mm olan hatlarda, tekerlek seti yanal yönde hareket etmediği sürece temas açısı ( $\delta_e$ ) tekerlek konikliğinin açısına ( $1.43^\circ$ ) eşit ve temas noktasındaki yuvarlanma yarıçapı yaklaşık 425 mm'dir. Temas noktasına gelen dikey kuvvet ise  $\cos(1.43) \approx 1$  olduğundan dikey tekerlek kuvvetine eşittir. Tekerlek setinin 6 mm yanal yönde hareketinde ise ray mantarını köşesi ile tekerlek flanş boşğazındaki yuvarlatma yarıçapının temas noktası ve açısı Şekil 4-b'deki gibidir. Şekil 4' deki Q yükleri alıyman ve kurpta hesaplanan maksimum dinamik tekerlek yükleridir. N kuvvetleri ise temas noktalarına gelen dik kuvvetlerdir.



Şekil 4. Tekerlek ray temas noktası,  $\Delta y=0$  (a),  $\Delta y=6$  (b)

$$N_0 = 118277 \cos(1.43) \approx 118277 \quad (2)$$

$$N_6 = 131339 \cos(26.28) = 117764 \quad (3)$$

#### 4. Temas Basınç Gerilmesinin Hesaplanması

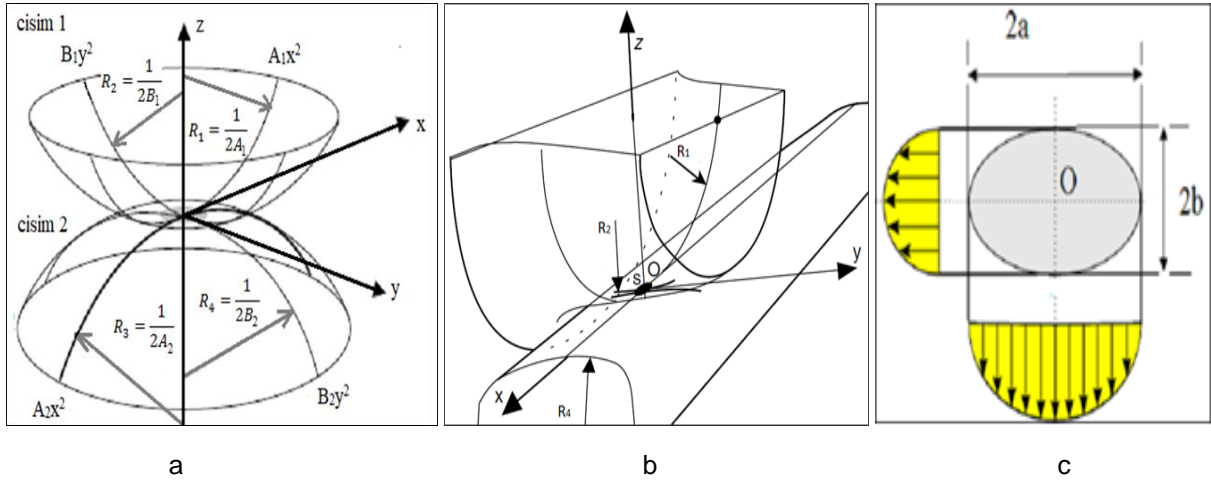


#### 4.1 hertz teorisi

Hertz bazı gerçekçi varsayımlar yaparak, temas halindeki iki elastik cisim arasındaki temas alanının boyutlarını ve meydana gelen basıncı cisimler arasındaki normal kuvvetin bir fonksiyonu olarak tanımlayan teorik bir çözüm sunmuştur. Bu teorik çözüm, en yaygın tekerlek-ray teması problemleri için bölgesel gerilmeleri en iyi şekilde açıkladığından önemlidir. Hertz teorisinin raylı sistemlere uygulanışı incelendiğinde cisimler küre düzlem şeklinde olmaktadır. Hertz teorisine göre maksimum basınç gerilmesi denklem 4 ve temas alanındaki basınç dağılımı ise denklem 5'deki gibidir.

$$\sigma_{zmax}=(3N)/(2\pi ab) \quad (4)$$

$$\sigma_z=\sigma_{zmax}[1-(x/a)^2-(y/b)^2]^{1/2} \quad (5)$$



Şekil 5. Hertz temas, Genel durum(a), tekerlek-ray temas durumu (b), temas alanı (c)

Çizelge 2. Maksimum temas basıncının, Hertz temas teorisine göre sonuçları (teker ve ray çeliğinin elastisite modülü 210000 MPa ve poisson oranı 0.3 olarak alınmıştır).

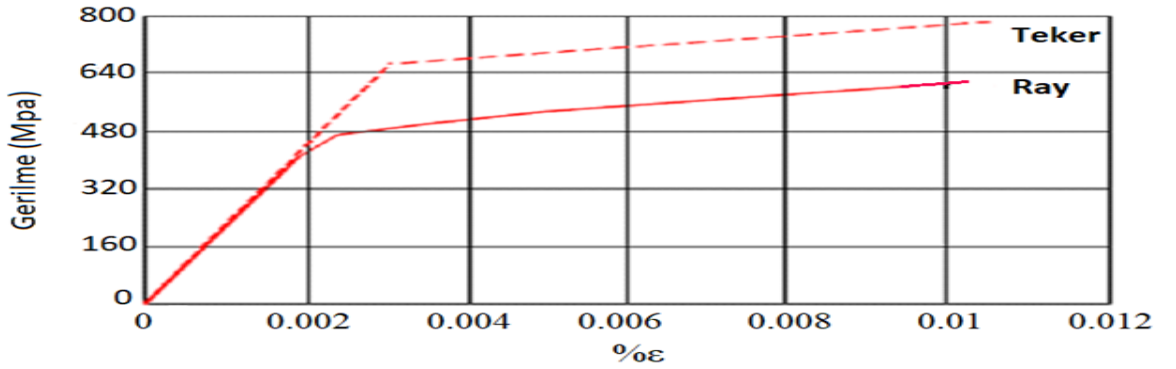
Parametre	Birim	Ø850		Ø920	
$\Delta y$ (mm)	mm	0	6	0	6
N	kN	118.277	117.764	118.277	117.764
$R_1$	mm	424.91	429.1	459.91	464.1
$R_2$	mm	$\infty$	-36	$\infty$	-36
$R_3$	mm	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$R_4$	mm	300	13	300	13

a	mm	8.889	14.790	9.313	15.263
b	mm	7.048	2.001	6.997	1.973
$\sigma_{zmax}$	Mpa	901.29	1901.1	866.63	1866.82

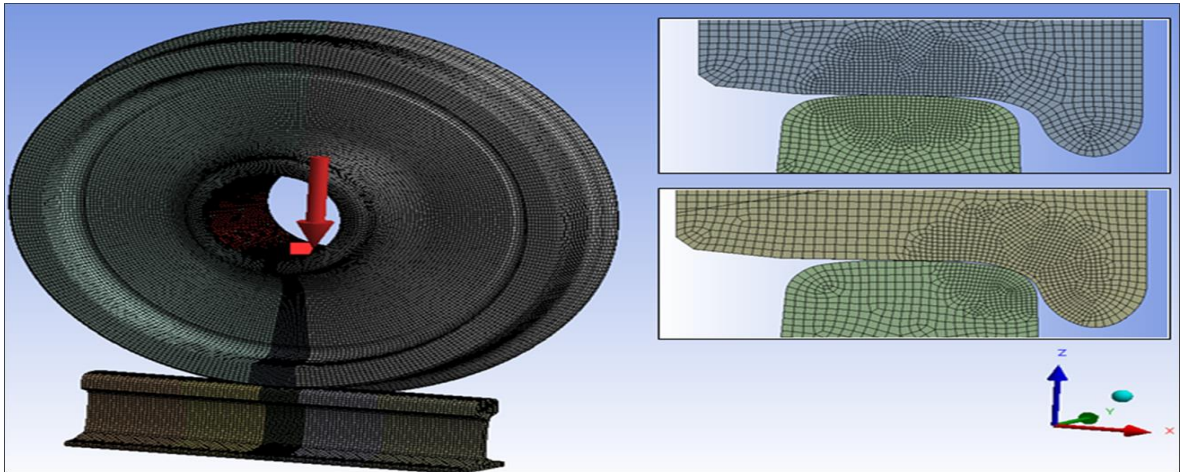
Maksimum Yüzey temas basıncı oluşturulduktan sonra, temas merkezi altı asal gerilmeler Johnson tarafından sağlanan yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. Yüzey altı asal gerilmelere göre de maksimum kayma ve Von-Mises gerilmesi hesaplanır [3].

#### 4.2.Sonlu Elemanlar Metodu

Solid Works programı kullanılarak, UIC60 E1ray ile S1002 tekerlek profilinin 3-boyutlu katı modeli ve montajları oluşturulup ansys workbench platformuna aktarılmıştır. Ansys workbenc programında tekerlek ve ray çeliklerin mekanik özellikleri Şekil 6'daki gibi girilmiştir [4]. Analitik hesaplar ile Ansys de yaptığımız sonuçların mukayesesini için tekerlek-ray frictionless (sürtünmesiz ayrılabilir) kontak olarak oluşturulmuştur. Daha sonra sırasıyla, meshleme ve ray tabanından fixed support verilip, hesaplanan maksimum dikey yükler tekerlek aks yatağından z yönünde uygulanmıştır.

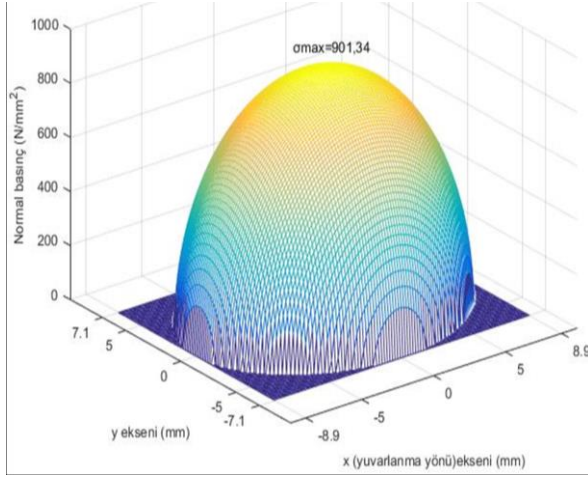


Şekil 6. Tekerlek ve rayın malzeme modeli (Bilinear isotropic hardening)

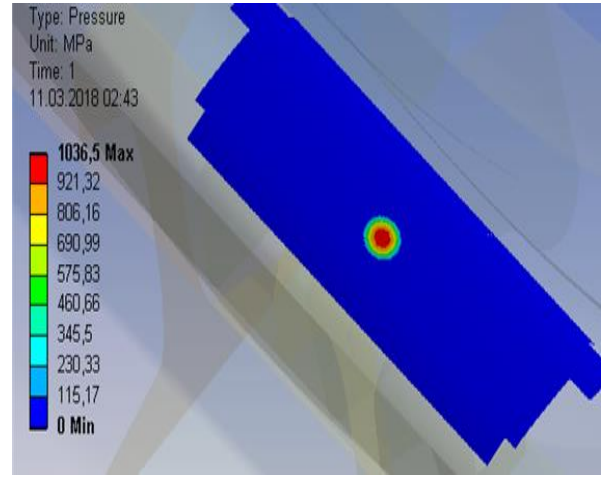


Şekil 7. Mesh ve yükün aks yatağından uygulanışı

## 5. Analiz Sonuçları

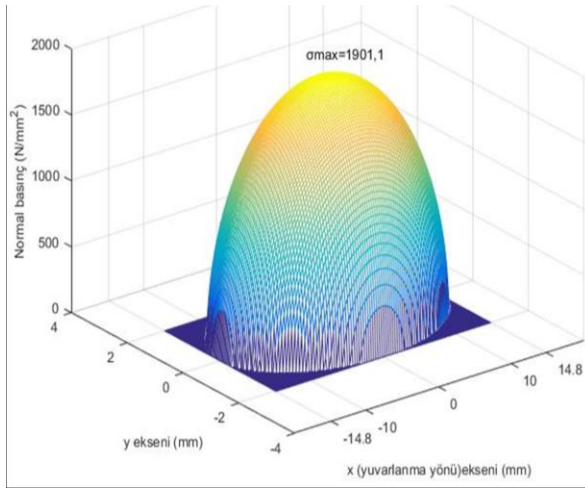


a

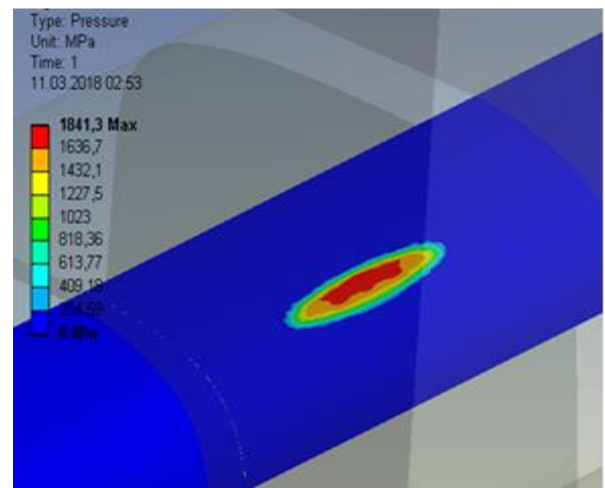


b

Şekil 8.  $\Delta y=0$  noktasında oluşan Hertz (a) ve SEM (b) temas alanının üzerindeki basınç dağılımı

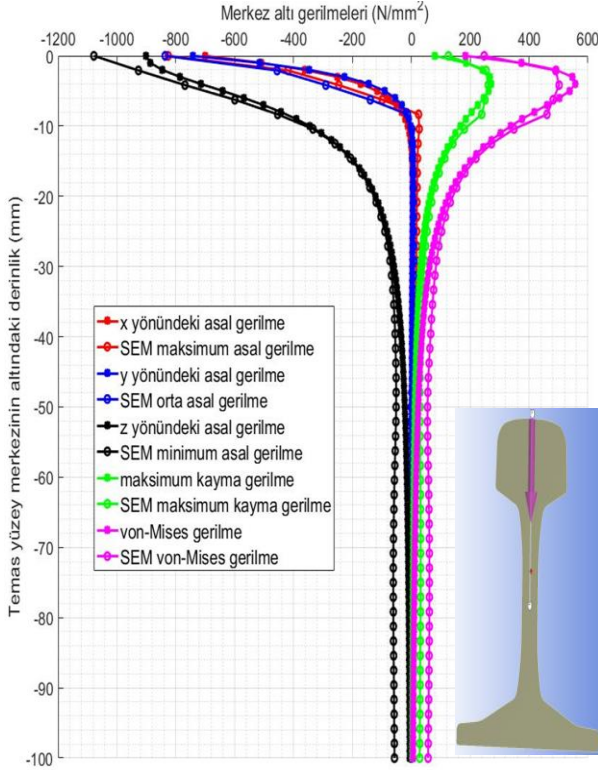


a

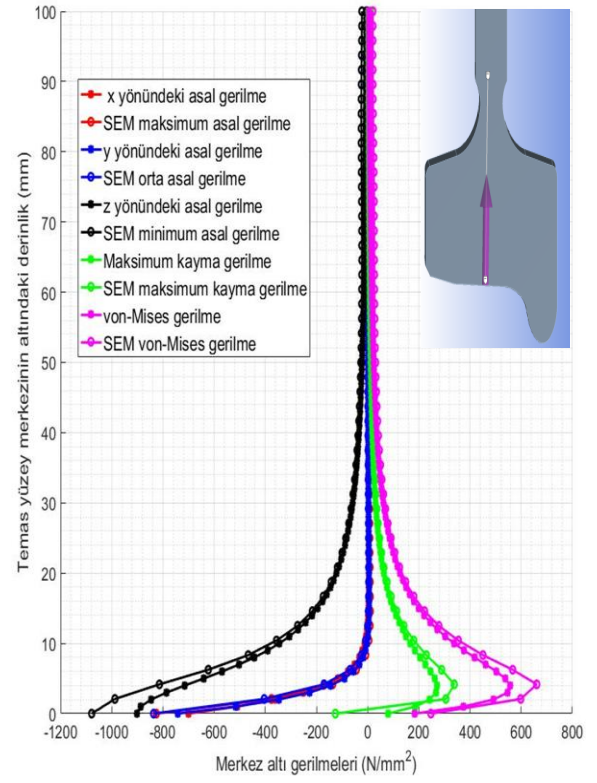


b

Şekil 9.  $\Delta y=6$  noktasında oluşan Hertz (a) ve SEM (b) temas alanının üzerindeki basınç dağılımı

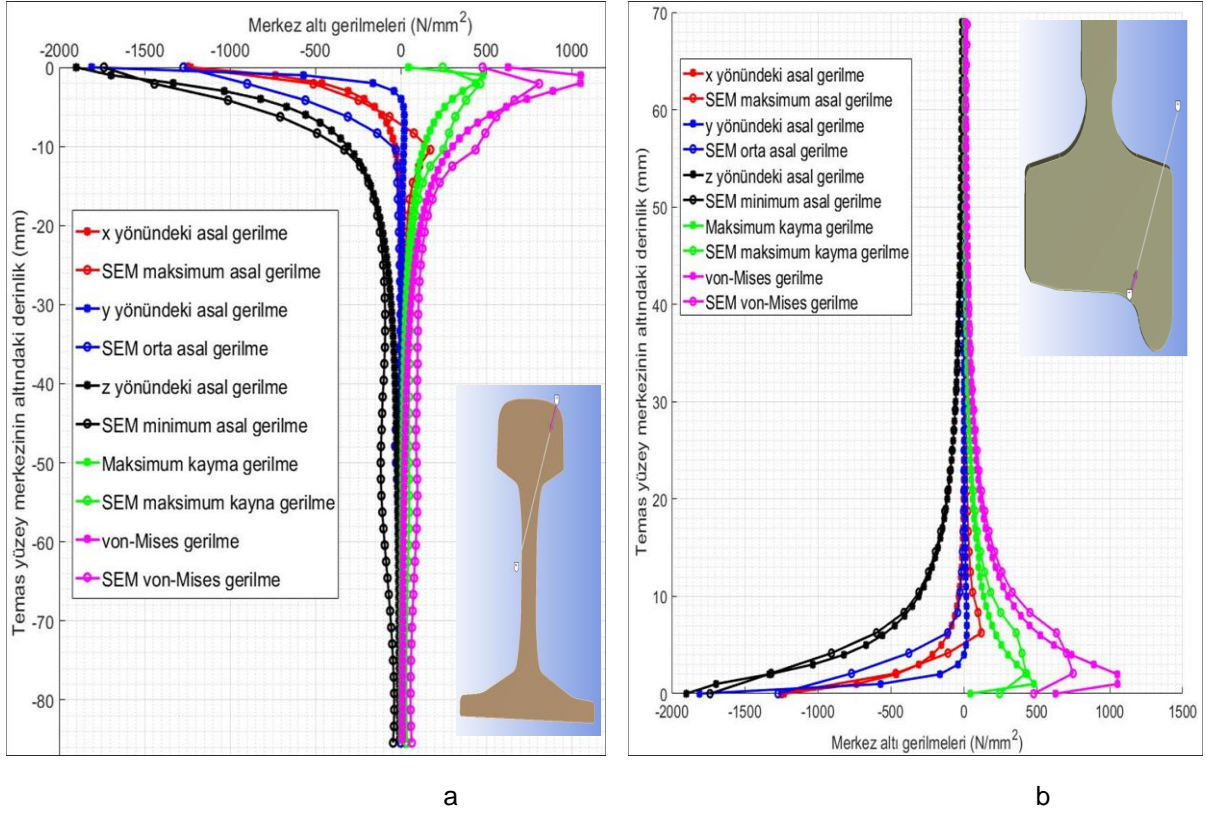


a



b

Şekil 9.  $\Delta y=0$  noktasında, temas yüzeyi merkezini derinliğinde oluşan ray (a) ve tekerlek (b) üzerindeki gerilmelerin Hertz ve SEM sonuçlarına göre karşılaştırılması



Şekil 10.  $\Delta y=6$  noktasında, temas yüzeyi merkezinin derinliğinde oluşan ray (a) ve tekerlek (b) üzerindeki gerilmelerin Hertz ve SEM sonuçlarına göre karşılaştırılması

## 6. Sonuç ve Öneriler

SEM ile tekerlek-ray temas analizi, ANSYS Workbench simülasyon programı aracılığıyla yapılmıştır. Analitik olarak hesaplanan gerilmeler, SEM sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, birbirini tatmin edebilir derecede yakın çıkmıştır. Her iki yöntemle bulunan temas alanının eliptiktir. Buna göre, hem Hertz teorisi ve hem de SEM sonucunda görüldüğü üzere, maksimum kayma ve von-Mises gerilmeleri maksimum temas basıncı arttığında yüzeye daha yakın olmaktadır. Maksimum kayma ve von-Mises gerilmeleri ne kadar yüzeye yakın olursa, yüzey daha çabuk deformasyona uğrayacaktır. Ayrıca tekerlek yuvarlanma yarıçapı arttıkça maksimum temas basıncı azalmaktadır.

UIC 60E1 ray profili ile S1002 tekerlek profili arasında, 1-4 mm aralığındaki yanal hareket sonucunda temas noktaları ray mantarının tepesi ile tekerlek konik yüzeyinde gerçekleşmektedir. 5-7 mm aralığında temas noktaları ise ray mantarının köşesi ile tekerlek flanş boğazında gerçekleşmektedir. Ray mantarının köşesi ile tekerlek flanş boğazı teması sonucu oluşan maksimum basınç, ray mantarının tepesi ile tekerlek konik yüzeyi teması sonucunda oluşan maksimum basıncının iki katı kadar olmakta ve günümüzde kullanılmakta olan ray ve tekerlek çeliklerinin genel dayanımının üzerinde çıkmaktadır. Bundan dolayı bu noktalarda, plastik şekil değiştirme ve yorulma sonucunda kusur sayıları daha çok ve kusur boyutları daha büyük olması beklenmektedir. Bu noktalardaki yüksek gerilmelerden kaçınılması için Yüksek Hızlı Tren (YHT) hatlarında, kurplarda flanş teması istenmediği için karp yarıçapı minimum 3500 m olarak belirlenmiştir. Tekerlek-ray temas alanında çok yüksek gerilmeler meydana geldiği için günümüzde hala ray ve tekerlek çeliklerinin kalitesi artırılmaktadır.

SEM ile yapılan analizlerde, sürtünme katsayısı; ıslak, kuru, paslı, bozuk yüzeyli tekerlek ve raylarda farklı değerlerde olacağı için, temas durumu sürtünmesiz (frictionless) yerine sürtümlü (frictional) seçilerek ve tekerlek-ray malzeme modelleri detaylandırılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca bozuk yüzeyli tekerlek ve rayların teması sonucu oluşan alan ve gerilme dağılımı SEM ile incelenebilir.

Bu çalışma Ahmet DEVECİ 'nin yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Hertz , H. R., On the contact of two elastic solids, Miscellaneous Papers. 8th ed. London: Macmillan& Cop, 146-162, 1882.
- [2] Lichtberger, B., Track compendium: formation, permanent way, maintenance, economics, Eurail press, Hamburg, Almanya, 42-122, 2005.
- [3] Johnson, K. L., Contact mechanics, *Cambridge University*, İngiltere,1-68,1985.
- [4] Arslan, M.A.,Ray tekerlek temas ilişkisi analizi, Araştırma projesi, T.C. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 1-16, 2008.
- [5] Ranjan, V. and Sarkar, P.K., An approximate analysis for Hertzian elliptical wheel-rail contact problem, International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms,IIT Roorkee, India, 249-253, 2013.
- [6] Ashofteh, R.S. and Mohammadnia A., Stress analysis in the elastic-plastic analysis of railway wheels, IJR International Journal of Railway, Vol.7(1), 1-7, 2014.
- [7] Daneshmand, S., Hassan, M., Monfared, A., Monfared, V. and Taheran, F., Role of exponential and power law formulations in contact stres, *Vol. 7(1)*, 7–13, 2014.
- [8] Esen, İ. and Eroğlu, M., 3D Finite element analysis of UIC 60 rail and UIC 515 wheel rolling contact and understanding starting mechanism of wear, 2nd International Iron and Steel Symposium, Karabük, 2015.
- [9] Sharma, S. and A. Kumar, A., Comparative study of Indian and Worldwide railways, *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.* 114–120, 2016.
- [10] Özdemir, Y. And Voltr, P., Analysis of the Wheel and rail frictionless normal contact considering material parameters, *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 15(2), 95-103, 2016.
- [11] Kumbasar, F., Üst yapı ve demiryolu mekaniği, Ankara, 185-202, 1972.

# HAFİF RAYLI SİSTEMLERDE KÖPRÜ VE BALASTSIZ HAT GEÇİŞ BÖLGELERİNİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA İLE İNCELENMESİ

İnş. Yük. Müh. Fahrettin Ersin ERBAŞ<sup>1\*</sup> and Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İTÜ FBE, Transportation Eng. Prog., Istanbul, Turkish, e-mail: erbasersin@gmail.com

<sup>2</sup> İTÜ FBE, Transportation Eng. Prog., Istanbul, Turkish, e-mail: ozturkzu@itu.edu.tr

## Özet

Demiryollarında açık hattan köprü/viyadük yapılarına geçiş bölgeleri; demiryolunda ani yapısal değişimlerin gerçekleştiği bölümlerdir. Meydana gelen bu ani değişim; zamanla üstyapı ve altyapı elemanlarında bozulmalara, dinamik yüklemeye, zemin oturmalarına ve yüksek maliyetli bakım ihtiyacına sebep olmaktadır. Demiryolu köprüleri genellikle derin temellere sahip, minimum düzeyde oturma yapan, rijit yapılardır. Fakat bu köprülerin yaklaşım bölgeleri, tekrarlayan tekerlek yüklerine maruz kalan dolgu zeminler üzerinde buldukları için zamanla köprü ile bu dolgu zeminler arasında düşey seviye farklılıkları oluşmaktadır. Demiryolu geçiş bölgelerinde karşılaşılan en büyük sorun bu ani düşey seviye farklılıklarının yarattığı dinamik yükleme etkisidir. Bu yüzden mümkün olduğunca yavaş ve kademeli bir rijitlik değişimi istenmektedir. Demiryolu geçiş bölgelerinde ortaya çıkan sorunlar için alınabilecek önlemler iki ana kısımda incelenebilir. Bunlardan ilki altyapıda ve zemin elemanlarında alınan önlemlerdir. Diğer bir yöntem ise üstyapı elemanlarında yapılacak değişikliklerdir. Bu sunumda geçiş bölgelerinde altyapı iyileştirmesinde kullanılan en yaygın iki yöntemin (teknik blok ve yaklaşım plakası uygulaması) sonlu elemanlar analizi ile irdelenerek sağladığı faydalar incelenmiştir. Çalışmada hiç bir iyileştirme yöntemi kullanılmayan durumlarda oluşan oturmalar ve iyileştirme yöntemleri uygulandıktan sonraki değerler karşılaştırılmıştır. İrdeleme sonunda; kullanılan yaklaşım plakası ve teknik blok yöntemlerinin zemin oturma eğilimini engellemeye yönelik ciddi bir katkı yaptığı ve hattaki seviye değişimlerini istenen düzeyde tutmaya yardımcı olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Balastsız üstyapı, hafif raylı sistem, altyapı, demiryolu köprüsü, hat geçiş bölgesi

## Abstract

Transition zones between open track and bridge structures in railway are affected by abrupt structural changes. According to these changes; settlements, dynamic load effects, rail structure deteriorations and high maintenance costs are occurred. Railway bridges have deep foundations and with this regard they have nearly rigid structure and have low settlements. The stiffness changes in these areas are demanded as slightly as possible to reduce effect of elastic track deflections which cause dynamic loads and localized degradation. Otherwise both drive comfort and safety are affected negatively. Deformations that sourced by different settlements in transition zones cause high cost of maintenance. In order to prevent these affects; there are two major types of solution. These methods can be

categorized as “modifying substructure and subgrade elements” and “modifying superstructure elements”. In this paper, reasons of problem and remedial methods are listed in order to analyze their contribution to reduce effects. For this aim, two major effective methods (approach slab and technical block) are investigated by using finite element method with computer models and results are compared with open track situation with no any preventive improvement. According to study, open track without any improvement and transition track to bridge approach models demonstrates settlements. However, it is observed that both used improvement methods (technical block and approach slab) have good performances in order to prevent different settlement of ballastless track.

**Keywords:** Balastless track, light rail transit, railway, railway bridge, infrastructure, track transition

## 1. Giriş

Demiryolu üst ve altyapısının ortak amacı taşıta elastik bir destek görevi üstlenmektir. Raylı sistemlerde geçiş bölgeleri; hattın üstyapısında veya altyapısında ani değişimlerin meydana geldiği bölgelerdir. Bu değişimler hatta dinamik yükleme durumunu artırır ve zamanla bakım gerekliliğine sebep olur. Köprü/viyadük yaklaşım bölgeleri, hemzemin geçitler, özel makas bölgeleri, balastlı hattan balastsız hatta geçilen bölgeler hattın elastik performansının değişim gösterdiği belirli geçiş bölgeleridir.

Hat alt ve üstyapısının yol boyunca benzer elastisiteye sahip olması hareket halindeki trenlerin hem konforu için hem de uzun vadede oluşacak bakım gereksinimlerini azaltabilmek için çok önemlidir. Bu sebeple uzun ömürlü bir demiryolu yapısı inşa edebilmek için hatta ani yapısal değişimlerin olma ihtimali olan bölgeler tasarım yapılırken belirlenmelidir. Gerekli iyileştirme uygulamalarının yapılmadığı durumlarda, üstyapı ve altyapı hasarlarının tekrarlayan tren yükleri ile beraber çok ağır bakım maliyetleri ve hat performansında düşüşler ortaya çıkar. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada sadece bu geçiş bölgelerindeki bakım çalışmaları nedeniyle yılda 200 Milyon \$ harcandığını belirlemiştir [1]. Bakım maliyetlerinin ve hattaki deformasyonları engellemek için farklı önleyici yöntemler geliştirilmiştir.

Bu makalede, hafif raylı sistemelerin köprü/viyadük yaklaşım bölgelerinde, uzun vadede karşılaşılan sorunlar, bunların nedenleri ve alınabilecek önlemler incelenecek ve hafif raylı sistem için köprü yaklaşım bölgesinde uygulanan iyileştirme yöntemleri ve bu yöntemlerin normal duruma göre sağladığı katkılar sayısal olarak irdelenecektir.

## 2. Demiryolu-Köprü Geçiş Bölgelerinde Karşılaşılan Sorunlar



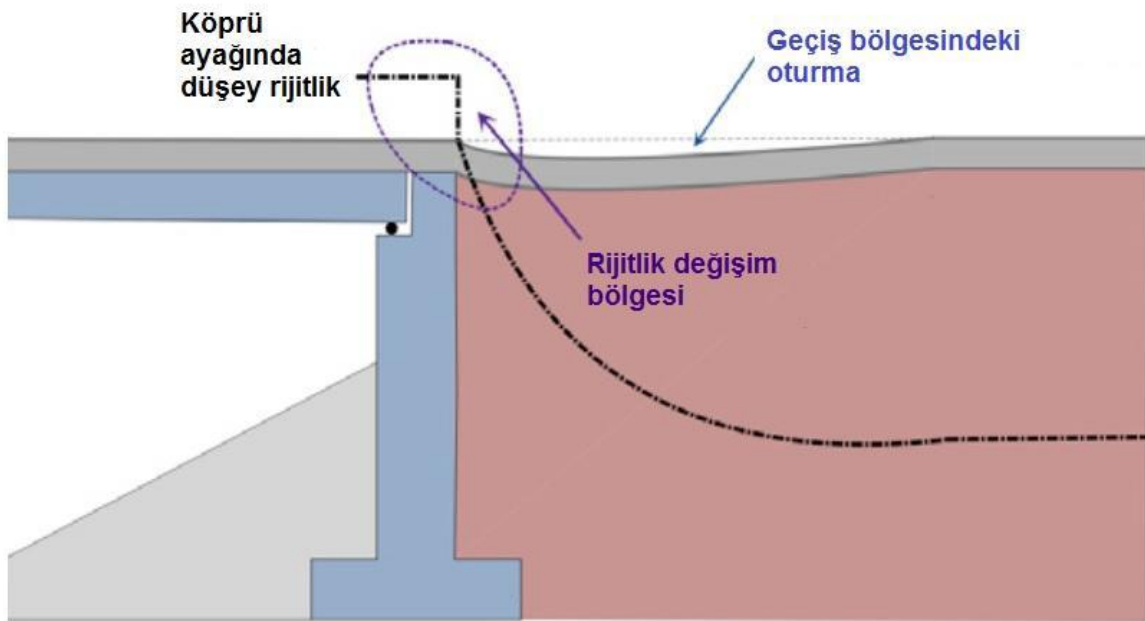
Hattın işletim ömrü boyunca, demiryolu geçiş bölgelerinde altyapısal farklılıklar, farklı elastik davranışlarından kaynaklanan bazı sorunlar oluşmaktadır. Geçiş bölgesinde gözlemlenen bu sorunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Travers ve balast arasında boşlukların oluşması,
- İki farklı bölgede farklı oturmaların oluşması,
- Rayda aşınmalar ve şekil bozuklukları ortaya çıkması,
- Üstyapı elemanlarında yıpranmalar,
- Beton traverslerde ve balastsız hattaki mesnetlerde çatlakların oluşması,
- Geçiş bölgesindeki altyapıda zamanla bozulmaların oluşması,
- Ray açıklığı ve hat gabarisinde bozulmalar,
- Rayın geçiş sırasında tekerlek yüklerinin etkisi ile aşağı yukarı hareket etmesi,
- Hat geometrisinin zamanla değişmesi,
- Geçiş bölgesindeki oturmaların kabul edilebilir değerlerin üzerine çıkması.

Bu sorunların ortaya çıkmasını engelleyecek önlemleri alabilmek için bu sorunların nedenlerini doğru anlamak gerekmektedir.

### 3. Demiryolu-Köprü Geçiş Bölgelerinde Karşılaşılan Sorunların Kaynakları

Köprüler ve viyadükler gibi sanat yapıları, derin temeller üzerine inşa edilen, zemin oturmalarına dayanıklı yapılardır (bkz. Şekil 1). Köprü yaklaşım bölgeleri ise dolgulardan meydana gelmekte olup, genellikle yükleme ile beraber köprülere kıyasla büyük miktarda oturmaların olduğu bölümlerdir.

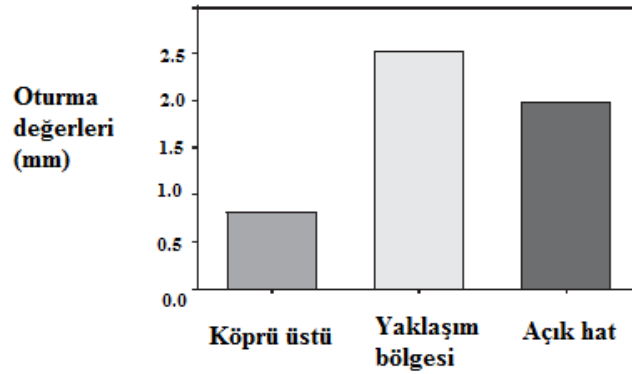


Şekil 1. Köprüde oluşan oturma bölgesi

Zemin ve köprü arasındaki trenin hareket yüzeyindeki seviye değişimleri, statik tekerlek yüküne göre 3 kat daha fazla bir dinamik yükleme durumuna sebep olmaktadır. Bununla beraber geçiş bölgelerinde rijitlik değişimleri de meydana gelmektedir. Ani rijitlik değişimleri tek başına dinamik yüklemeye neden olmasa da ray seviyesindeki değişimler ile birlikte önemli bir etki yaratır ve ek bir gerilme (stres) yaratarak hat bileşenlerindeki bozulmaları artırır. Bu durum demiryolu hattında rijitlik uyumsuzluğu kaynaklı temel bir problem yaratmaktadır.

Bazı durumlarda köprüdeki rijitlik değeri açık hattaki değer iki katına kadar çıkabilmektedir. Bundan dolayı hattaki seyir konforu azalır, köprüye yaklaşım bölgesinde, demiryolu yapısındaki elemanlarda ek bir gerilim oluşur ve köprü üzerindeki dinamik yükleme artar [2]. Dinamik etkiler minimum düzeyde olsa bile geçiş bölgesinde dolgu zemin üzerine oturan hat, köprü üzerindeki hattan daha fazla oturma eğilimi gösterir. Bu durum özellikle derin temeller üzerine inşa edilmiş köprünün yüksek rijitliğe sahip olması nedeniyle oturma durumunun ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda gözlenir ve geçiş bölgesinin olduğu bölgedeki balast tabakası altında zamanla bir çukur ortaya çıkar. Oturmaların kaynağı sadece geçiş bölgelerindeki farklı rijitlikler yüzünden oluşan ray seviye değişimleri ile oluşan ani dinamik yük etkileri değildir. Bununla beraber iyi sıkıştırılmamış zeminler, yetersiz drenaj, erozyon, çevresel faktörler, donma-çözülme olayları ve yeterli stabiliteye sahip zeminler ile dolgu yapılmamasıdır.

Köprü ile açık hat arasındaki seviye değişiminin yarattığı temel problem, düşey tekerlek ivmelenmesini arttırarak dinamik bir yükleme durumu oluşmasıdır. Bu etki tekrarlayan tekerlek yükleri ile hat alt ve üst yapısında büyük aşınmalara ve şekil bozukluklarına yol açar. Bu yüzden uzun süreli hat kullanımında birçok sorun ve ağır bakım maliyetleri oluşmaktadır. Şekil 2’de ise geçiş durumunda farklı bölgelerdeki oturmaların mm seviyesinde karşılaştırmaları verilmiştir [3]. Burada görüldüğü gibi yaklaşım bölgesindeki oturma değerleri köprü üzerindeki değerlerden 4 kat daha fazladır. Bu seviye farkı tekrarlayan tekerlek yükleri ile yıllar içinde artar ve ağır bakım yüklerine ve hat işletmesinde kesintilere neden olur. Bu sebeple alınabilecek önlemler hat inşasında alınmalıdır.



Şekil 2. Oluşan oturmaların farklı bölgeler için karşılaştırılması

#### 4. Geçiş Bölgelerinde İyileştirme Uygulamaları

Geçiş bölgesinin uygun olarak tasarlanması ve inşa edilmesi bu bölgeyi etkileyen birçok faktör yüzünden zorlaşmaktadır. Mevcut demiryollarının çoğunda yapılan yetersiz geçiş bölgesi çalışmaları ve inşa hataları; hattın işletim ömrü boyunca tekrarlayan ağır bakım maliyetleri, servisin sekteye uğraması ve üstyapıda ortaya çıkan önemli bozulmalar gibi sonuçları doğurmaktadır. Yapım aşamasında alınmayan önlemlerin yerine telafisi zor durumlar oluşmaktadır. İdeal bir geçiş bölgesi, sorunların ana kaynağı olan rijitlik farkına sahip iki bölge arasındaki farklı oturmaları asgari düzeye indirmelidir. Bunun için alınabilecek önlemler ve değişik uygulamalar araştırılmıştır. Başarılı sonuç veren iyileştirme yöntemleri iki ana başlıkta aşağıdaki gibi sıralanabilir [4];

Çizelge 1. Geçiş bölgesinde iyileştirme uygulamaları

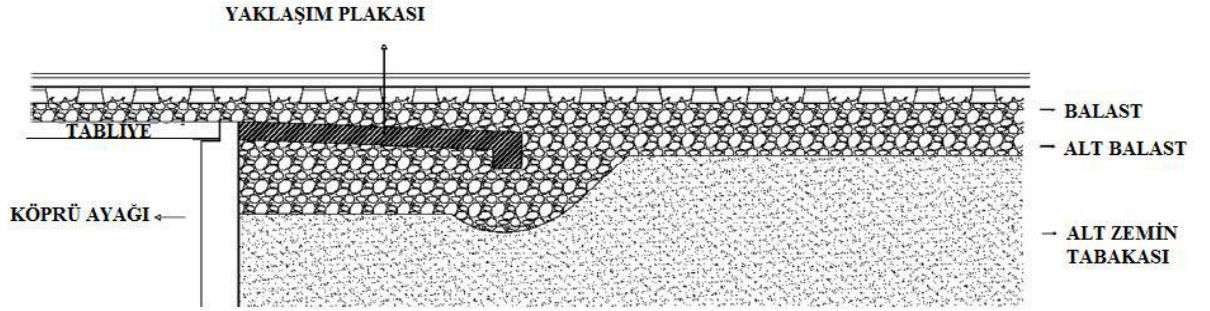
Raylı Sistemlerde Geçiş Bölgesi İyileştirme Uygulamaları	
Altyapı ve zemin elemanları üzerinden yapılan uygulamalar	Üstyapı elemanları üzerinden yapılan uygulamalar
Balast altında asfalt tabakası (HMA) kullanılması	Ek ray uygulaması
Taş kolon ve kazık uygulamaları	Farklı rijitlikte pedlerin köprü üstyapısında kullanılması
Geotekstil kullanımı	Travers için farklı malzemeler seçilmesi (Polimer, ahşap vb.)
Yaklaşım plakası gibi gömülü yapıların kullanımı	Çerçeve şeklinde travers kullanımı veya genişleyen traverslerin sanat yapısına doğru sıklaşarak kullanılması
Zemine farklı uzunlukta çelik çubuklar yerleştirilmesi	
Balastlı hattan balastsız hatta geçiş yaparak rijitlik artırımı	Özel reçeneler, poliüretan malzemeler ile balast stabilitesinin artırılması
Dolgu zeminde iyileştirmeler (teknik blok)	

Geçiş bölgelerindeki iyileştirme yöntemlerinin iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlar; iki farklı bölge arasındaki oturma farklılıklarını azaltmak ve farklı rijitlik seviyeleri arasındaki ani değişimi minimum seviyeye indirgemektedir. Altyapı ve zeminde yapılan uygulamalar genellikle bu amaca sahiptir ve zemini güçlendirerek oturmaları azaltmayı sağlar. Üstyapı elemanları üzerinden yapılan uygulamalar ise rijitlik seviyesindeki farkları azaltarak üstyapı elemanlarındaki deformasyonların azaltılmasını ve dolaylı olarak dinamik yüklemeye etkisini düşürmeyi amaçlar.

##### 4.1. Yaklaşım Plakası Uygulaması

Betonarme yaklaşım plakaları bir ucu köprü kenarına oturan ve zemine doğru eğimle yukarıdan aşağıya doğru veya zemine paralel olarak alt zemin tabakasını destekleyen ve rijitliği arttırmaya yarayan mesnet yapılarıdır. Ayrıca yaklaşım plakaları zemindeki serbest suyun alt zemin ve dolgu tabakalarına geçişini önlemede görev alır ki, bu plastik oturma durumunun önüne geçmek için çok önemlidir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, yaklaşım plakası kullanılan geçiş bölgelerinde, açık hatta göre %40'a yakın daha az oturma gözlemlenmiştir Zeminde biriken sıvı dolgudaki mukavemeti düşürecek ve zamanla oturmalara yol açacaktır. Ayrıca yaklaşım plakaları toprak hareketlerinin ve erozyonun önlenmesinde de kontrole yardımcı olmaktadır.

Tasarıma ve inşa edilecek yerdeki koşullara bağlı olarak değişmek ile beraber AREMA Standardında 6m uzunluk, minimum tavsiye edilen uzunluktur. Ancak yaklaşım mesafesine göre ve kullanılan diğer önlemler ile beraber bu uzunluk kısalabilir. Bu yöntem sayısal örnek çalışmada incelenecek yöntemlerden biridir ve yöntemin uygulanması ile oluşacak oturma miktarları sayısal olarak irdelenecektir.

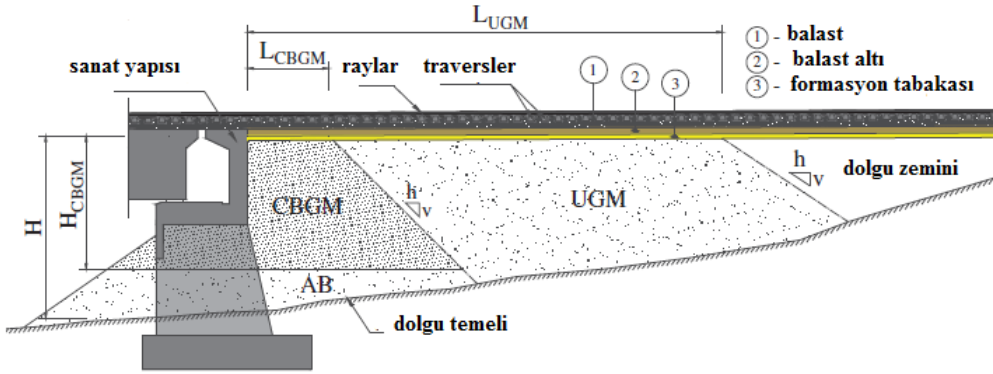


Şekil 3. Köprü geçiş bölgesinde yaklaşım plakası ve altyapı elemanları [4]

#### 4.2. Geçiş bölgesindeki dolgu zeminini iyileştirme teknikleri (Teknik Blok uygulaması)

Köprü yaklaşım bölgesinde karşılaşılan sorunları (oturmalar, rijitlik farklılığı ve dinamik yükleme durumu vb.) önlemek, bakım süresini uzatmak ve bakım maliyetini düşürmek için en verimli yöntemlerden biri geçiş bölgesinde yapılacak zemin iyileştirme çalışmalarıdır. Bu çalışmalar farklı demiryollarına göre değişkenlik göstermektedir. Dolgu uygulama bölgesi birçok projede en az 15-20 m veya köprü ayağının 4 katı uzunluğunda alınmaktadır. Güçlendirilen özel dolgu tabakaları farklı oturmaları engellediği gibi aynı zamanda rijitlik değişimleri arasında yumuşak bir geçiş sağlamaya da yardımcı olmaktadır. Bu amaçla kullanılan dolgu malzemeleri yüksek elastisite modülüne sahip ve plastik deformasyonlara karşı dayanıklı olanlar arasında seçilmektedir. Genellikle geçiş bölgesindeki dolgularda kullanılan malzemeler bu özelliklere sahip olan; bağlanmamış granüllü malzemeli (UBM) ve çimento ile bağlanmış granüler malzemeli (CBGM) zeminlerdir. Ülkeden ülkeye bu uygulamanın ismi "teknik blok" veya "geçiş kamalı zemin" olarak değişmektedir.

Şekil 4'de şematik bir zemin güçlendirmesi uygulaması görülmektedir. Buradaki dolgu yüksekliğine (H) göre, dolgunun sanat yapısından önce veya sonra yapılmasına göre veya sanat yapısının türüne göre geçiş bölgesi geometrisinde değişimler olabilir [5].



Şekil 4. Geçiş bölgesinde dolgu ile iyileştirmenin şematik gösterimi [2]

Çeşitli geçiş bölgesi uygulamaları incelendiğinde aşağıdaki bazı özellikler benzerlik gösterir;

- Dolgu tabakaları sanat yapısından geriye doğru 20 m uzunlukta bir alana yayılır,
- Kademeli geçişi sağlayabilmek için köprüye doğru eğim artırılır ( 3:2, 2:1 gibi eğimlerde).
- CBGM tabakası 1:1 eğimle ve yüzde %3 ile %5 arası bağlayıcı malzeme (çimento, kireç vb.) oluşturulur.
- Geçiş bölgesi boyunca dolgu ve CBGM tabakası arasında iyi sıkıştırılmış bir UGM tabakası yerleştirilir.
- Köprü ve CBGM tabakası arasında drenajı sağlayabilmek için bir ayırıcı tabaka tasarımı yapılır.
- Toprak işleri uygulamasının doğru şekilde uygulanması için; zemin tabakalarının uygun geometlerinin belirlenmesi gerekir, tabakalara yeterli sıkıştırma uygulanmalıdır,
- Düzgün bir rijitlik geçişi sağlanması için tren hızları göz önüne alınarak, uygun dayanıma sahip malzeme özellikleri belirlenmelidir,
- Uzun vadede oluşacak oturmalar asgari seviyeye indirilmelidir,
- Zemin malzemeleri homojen dağılıma sahip olmalı, eşdeğer zemin yoğunluğu sağlanmalıdır,
- İnşaat aşamasındaki uygulamaların kalite kontrolü tasarıma uygun olarak yapılmalıdır ve sahada titizlikle takip edilmelidir.

## 5. Örnek Bir Hafif Raylı Sistem Geçiş Bölgesi İçin Sayısal İrdelemeler

### 5.1. Tasarım Prensipleri

Yapılan model çalışmasında, balastsız bir hat üzerinde dinamik tekerlek yükü 115 kN olan bir hafif raylı sistem aracı için 16 m uzunluğunda bir model kesitinde statik yükleme durumu incelenmiştir. Hafif raylı sistem taşıtının tekerlek yükü 65 kN, dingil yükü ise 130 kN'dur. Ancak daha belirgin sonuçlar alınması için, seçilen tekerlek yükü normalden %75 daha fazla alınmıştır. Bunun nedeni hız ile beraber tekerleklerin yaratacağı dinamik yükleme durumunun tasarımda etkin olmasıdır. 2 dingilin (4 tekerlek) etkidiği durum ve oturma limitleri 2mm olarak alınmıştır.

Aracın tasarım hızı 80 km/saat'tir. "HyperWorks" programı kullanılarak, sonlu elemanlar analizi yöntemi yardımıyla oturma analizleri yapılmıştır.

Örnek çalışmadaki hattın üstyapı özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Balastsız beton üstyapıdır ve altında ince temel beton taşıyıcı tabakası vardır,
- Sıkıştırılmış alt zemin tabakasının elastisite modülü  $E = 50 \text{ Mpa}$ ,
- Doğal zeminin elastisite modülü  $E = 100 \text{ MPa}$ 'dır,
- Hat Açıklığı 1435 mm,
- Balastsız üstyapı taşıyıcı döşemesi 2400mm genişlikte, 5250mm uzunlukta, 200mm kalınlıkta betonarme, 3 arda arda döşeme olarak tanımlanmıştır. Üstyapı beton sınıfı C35/45'tir.
- Alt taşıyıcı tabaka 2600mm genişlik ve 150mm kalınlıkta taşıyıcı döşeme altında sürekli bir alt tabaka oluşturur, malzemesi C20/25 betondur.
- Bağlantı elemanı aralığı 750mm'dir.
- Ray 54G2 oluklu ray eşdeğeri.
- Yaklaşım plakası ebatları; uzunluk:5.15m, genişlik:3.0m ve yükseklik:0.40m'dir. Malzeme C35/45 donatılı betondur.

Tasarımda üstyapı ve altyapı elemanları bitişik olarak, ancak temel betonu ile alt zemin bitişik, değil hareket edebilir şekilde modellenmiştir. Perspektif görünüşleri tek ray için alınsa da, bütün analizler simetrik olarak bütün hat için yapılmıştır. Malzemeler lineer elastik olarak tanımlanmıştır. Deformasyonlar düşük seviyede kaldığı için lineer elastik malzeme yaklaşımı geçerliliğini korumaktadır. Köprü ayağı ile zemin tabakası arasındaki sürtünme katsayısı( $\mu$ ): 0.5'tir. Yaklaşım plakası ebatları; uzunluk:5.15m, genişlik:3.0m ve yükseklik:0.40m'dir, malzeme C35/45 donatılı betondur.

## 5.2. Oturma Limitleri

Oturma limitleri örnek çalışmadaki model için altyapı ve üstyapıda 2 mm olarak alınmıştır. Seçilen zeminin görece sağlam bir kireç taşı malzemesinden oluştuğu düşünülerek, gerçekçi limitler belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu değerlerin içinde elastik üstyapı elemanlarının esnemeleri de bulunmaktadır.

## 5.3. Durum Analizleri

Örnek çalışmada 4 ana durum için sayısal inceleme yapılmıştır. Bunlar;

- **Durum 1:** Açık demiryolu hattında sadece sıkıştırılmış dolgu altında doğal zeminin tekerlek yükleri altında zemin davranışı,
- **Durum 2:** Köprü yaklaşımında herhangi bir iyileştirme uygulanmadığı durumdaki davranış,
- **Durum 3:** Köprüye geçişte betonarme yaklaşım plakası uygulandığı durumdaki zemin davranışı,
- **Durum 4:** Geçiş bölgesindeki dolgu zeminini iyileştirme teknikleri (Teknik Blok uygulaması) uygulandığındaki zemin davranışı.

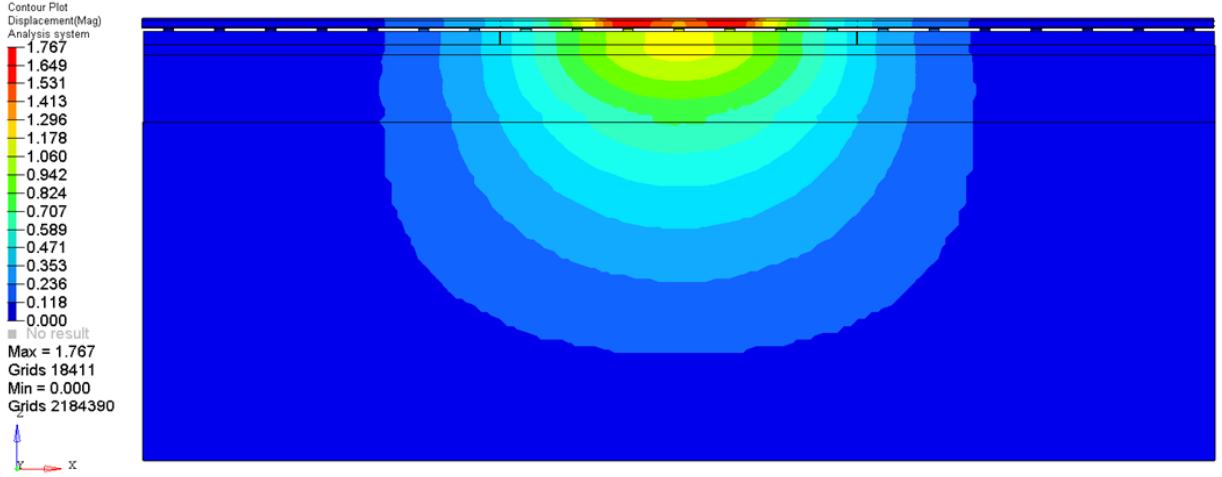
#### 5.4. Malzeme Özellikleri

Modelde farklı zemin katmanları farklı renkler ile gösterilmiştir. Davranışsal olarak zemin dolguları plastik davranış sergilerken beton katmanlar çok yüksek elastisite modüllerine sahiptir ve rijit davranış gösterirler. Teknik blok zemin dolguları 3 ana farklı tipten oluşmaktadır. Teknik blok için uygun olarak çimento ile bağlanmış granüler dolgu zemin (CGBM) köprü ayağının yanına doldurulurken, bağlanmamış granüllü zemin ara dolgu tabakası (UGM) olarak kullanılmıştır. Tip-1 dolgu yeşil renk ile belirtilmiştir ve iyice sıkıştırılarak (porozite=0.95 p) CGBM'nin altındaki katmana ve ara dolguya destek olarak doldurulmuştur.

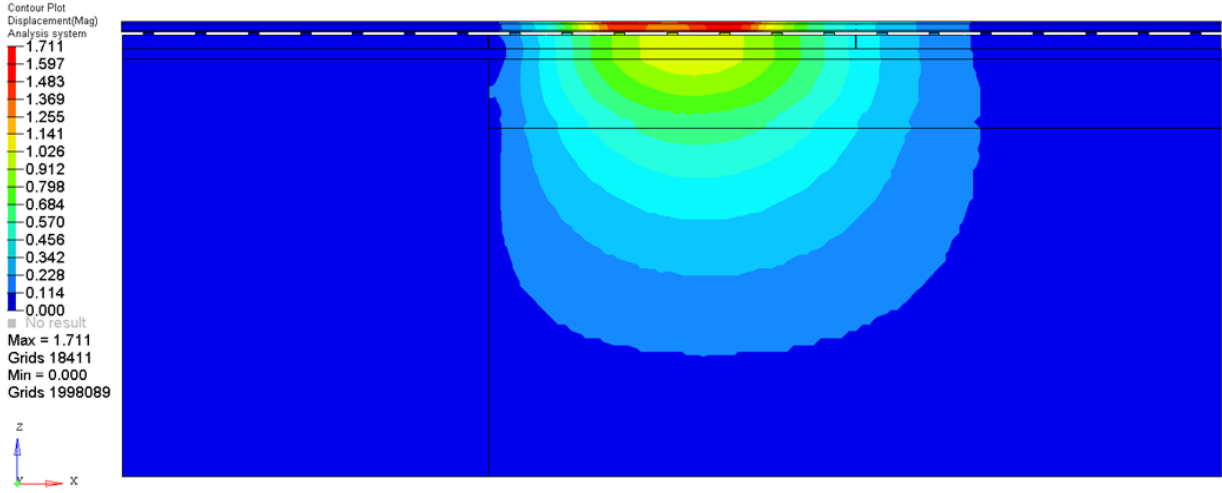
Çizelge 2. Örnek çalışmada kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Tipi	Programdaki Rengi	Elastisite Modülü(MPa)	Poisson Oranı(n)
Dolgu tipi 1	Koyu yeşil	120	0.4
Bağlantı elemanı altlık (çelik ile aynı)	Yeşil	210000	0.3
CGBM %3 Çimento içerikli	Kırmızı	320	0.4
Balastsız hat beton mesneti	Gri	34000	0.2
Ara dolgu	Sarı	250	0.4
Grobeton	Mavi	24000	0.2
Sıkıştırılmış alt zemin	Pembe	50	0.4
Ray Pedi	Mor	33	0.4
Kireç taşı	Kahverengi	100	0.25
Ray çeliği	Turuncu	210000	0.3

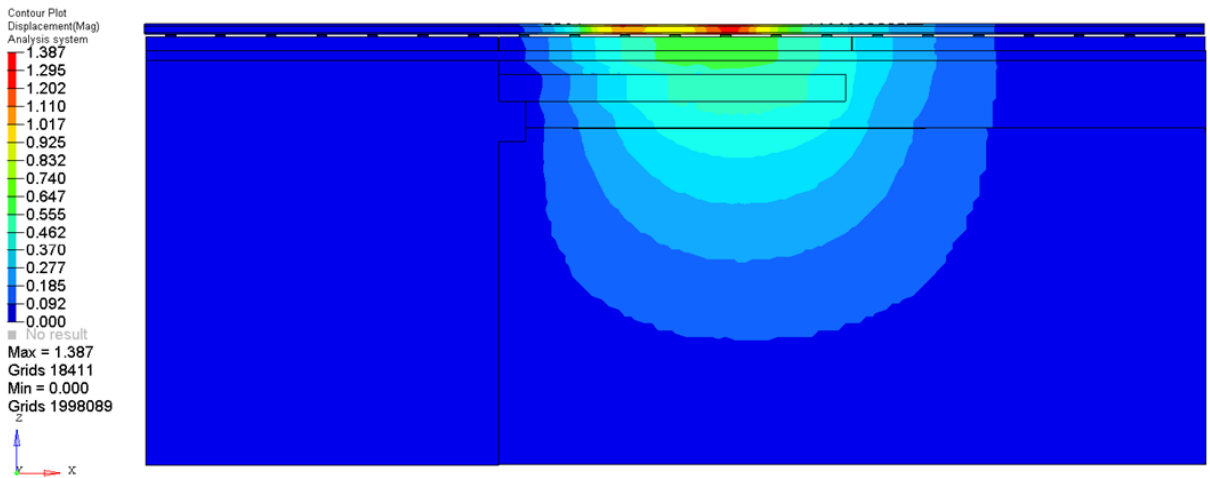
#### 5.5. Model Çalışmaları



Şekil 5. Serbest zemin durumu oturma analizi

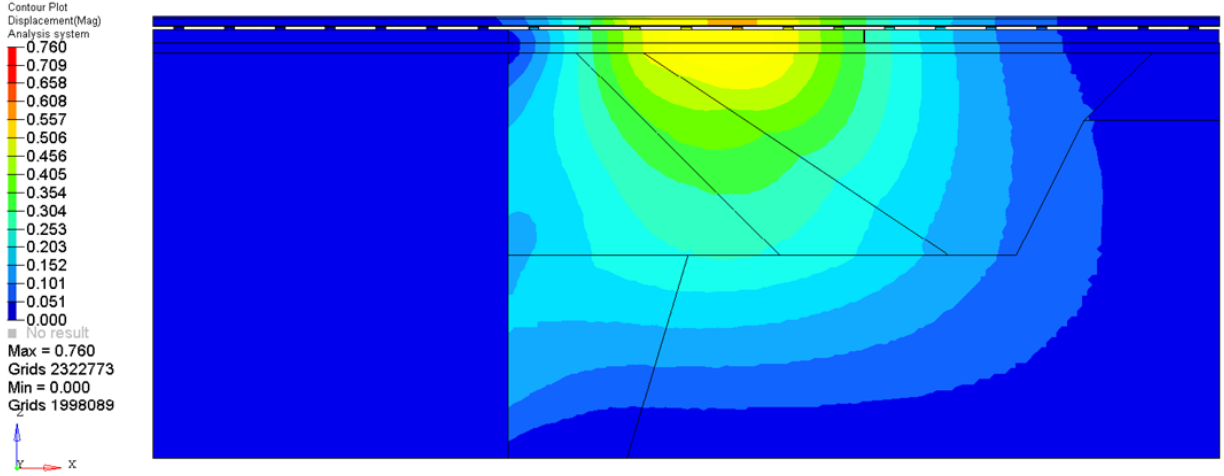


Şekil 6. Köprü yaklaşımı serbest zemin durumu oturma analizi





Şekil 7. Köprü ile balastsız hat geçişinde yaklaşım plakası uygulaması durumunda oturma analizi



Şekil 8. Köprü balastsız hat geçiş bölgesinde teknik blok uygulanması durumunda oturma analizi

Örnek çalışmada 4 farklı durum için "HyperWorks" programı kullanılarak, sonlu elemanlar analizi yöntemi yardımıyla yapılan oturma analizlerinin sonuçları Şekil 5-8 de görülmektedir. Serbest zemin ve köprü yaklaşımındaki açık hat durumlarında analizi yapılan oturma değerlerinin belirlenen limit değerlere çok yaklaştığı saptanmıştır. Ayrıca tekerleğin temas içinde olduğu bölümler incelendiğinde, oturma bölgelerinin bu bölgelerde, ray üstünde toplandığı görülmüştür. Bu bölgelerdeki sorun zaman içinde istenmeyen ray seviye değişimleri ve üstyapı bozulmalarına neden olabilir. İyileştirme uygulanmayan serbest zemin durumu ve köprü yaklaşım serbest zemin durumunda oturma sırasıyla; 1.77mm ve 1.71 mm olarak dingil bölgelerinin alt tarafında yoğunlaşarak oluşmuştur.

Yaklaşım plakası kullanımının balastsız üstyapı köprü geçiş bölgesinde oturmaları engellemek için ciddi bir katkı sağladığı analiz sonuçlarından görülmektedir. Oluşan en büyük oturma değeri 1.38 mm civarında olmuştur (Şekil 7) ve zemin altındaki oturmalar daha geniş bir bölgeye, daha az seviyelerde iletilmiştir. Arka tekerde 1.38 mm olan maksimum oturma değeri ön tekerde daha da azalarak 1.11 mm civarına kadar düşmüştür. Ayrıca zemin altında kullanılan bu rijit mesnet tekerleklerden iletilen yükü ön ve arka tekerlek bölgelerinde normal zemin durumuna göre daha iyi sönmülmüş ve bu bölgedeki oturmaları azaltmıştır. Bununla beraber balastsız üstyapıyı desteklemiş ve bölgenin rijitliğini arttırmıştır.

Teknik blok iyileştirmesinde, köprü ayağına yakın taraftaki dolgu zeminde %3 civarında çimento bazlı karışım kullanılacağı varsayılmış ve köprü ile olan düşey sürtünme katsayısı 0.5 olarak alınmıştır. Zemin iyileştirmelerini irdeleyen bu modelin analizi, en iyi geçiş bölgesi performansını teknik blok uygulamasının verdiğini göstermiştir. En yüksek oturma değeri 0.65 mm olarak bulunmuş ve belirlenen oturma limitlerinden çok daha düşük çıkmıştır (Şekil 8). Daha önemlisi herhangi bir bölgede, tekerlek temas bölgesi dahil, yüksek bir oturma görülmemiş ve zemin katmanları içinde derinlere yayılan düşük oturma değerleri oluşmuştur.

## 6. Sonuçlar

Demiryolu yapısı birbiri ile i içe geçen bir çok katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar demiryolu taşıtının temas kurduğu raylar ile başlar ve altyapının en altındaki doğal zemin tabakasına kadar uzanır. Demiryolu yatırımlarının güvenli, konforlu, uzun ömürlü ve çevreye duyarlı olması beklenmektedir. Bu beklentilerin karşılanması için yapısal tasarım kritik öneme sahiptir. Demiryolu st ve altyapısının amacı taşıtta elastik bir destek görevi görmektedir. Hattaki ani rijitlik değişimleri hem üstyapı hem de altyapı elemanlarına büyük zararlar vermekte ve zaman içinde bakım maliyetlerini fazlasıyla artırmaktadır. Raylı sistemlerde açık hattan köprü/viyadük bölgesine geçişlerde, bu ani rijitlik değişimleri sıklıkla görülmektedir. Bunun temel sebebi, derin temeller üzerinde duran çok yüksek rijitliğe sahip sanat yapısı ile elastik davranış gösteren zemin tabakasının farklı rijitlik değerlerine sahip olmasıdır. Tekerlek yükleri bu geçiş üzerinde seyrederken, iki bölgede oluşan farklı zemin oturmaları, seviye farklılıklarına neden olmaktadır. Zaman içinde bu seviye farklılığı demiryolu yapısına gelen düşey yöndeki dinamik etkiyi arttırır ve hem üstyapı hem de altyapıyı hasara uğratır. Traverslerde kırılma, ray çatlakları, şekil bozuklukları ve zemindeki oturmalar bu hasarlardan en önemlileridir. İyileştirmelerde genel amaç zemin stabilitesinin artırılmasıdır. Bu amaçla teknik blok, beton yaklaşım plakası, balast altında asfalt tabaka kullanılması, taş kolon-kazık uygulamaları ve geotekstil kullanımı en başarılı sonuç veren yöntemlerdir. Yöntemler mevcut zemin durumuna göre farklılık gösterebilir.

Üstyapı elemanlarında ise; geçiş bölgesinde ek ray uygulaması, balastın stabilitesinin özel yapışkanlar yardımı ile arttırılması, genişleyen travers bölgesi yapılması ve köprünün rijitliğini azaltmaya yönelik ped ilaveleri alınabilecek önlemlerden bazılarıdır.

rnek bir balastsız üstyapı ile köprü geçiş bölgesi çalışmasında, sonlu elemanlar analizi kullanılarak, HyperWorks yazılımı yardımıyla, belirlenen 16 m'lik geçiş bölgesi için, 2 mm seviyesindeki oturma limitlerini sağlanıp sağlanmadığı, 4 farklı durum için incelenmiştir. rnek alışma sonucunda grldğu gibi geçiş bölgesinin performansı, altyapının stabilitesinin artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Zemin analizleri sonucunda görülmüştür ki, eğer bölgedeki mevcut zemin oturmaya elverişli bir zemin ise, bu bölgeye teknik blok uygulaması yapılması hattın uzun ömürlü ve konforlu olması için faydalıdır. Bununla beraber yaklaşım plakası da uygulanabilecek bir başka alternatif metot olarak ele alınabilir [5].

## Kaynaklar

- [1] Sasaoka, C., Davis, D., Guilen D. (2004). Damping Pads and Track Designs for Reducing Impacts at Special Trackwork, *Transporstation Tech. Center, Inc.* Pueblo, Colorado, ABD.
- [2] Paixao, A., Fortunato E., Caada R. (2013) Design and construction of backfills for railway track transition zones, *Instituiton Mechanical Engineers, Journal of Rail and Rapid Transit.*
- [3] Banimahd, M. Woodward, P., Kennedy, J., Medero G. (2010). Behaviour of train-track interaction in stiffness transitions, *Institution of Civil Engineers, ICE Proceedings, Transport*
- [4] Sanudo, R., Casado, J. A. (2016). Track transitions in railways: A review, *Construction and Building Material Journal, Volume 112, Sayfa 140-157.*, İstanbul.
- [5] Erbaş, F.E., (2017). Hafif Raylı Sistemlerde Köprü ile Balastsız styapı Geçiş Bölgelerinin İrdelenmesi, Yüksek lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

# HARMONİK KUVVET ZORLAMASI ALTINDA DEMİRYOLU KÖPRÜSÜ TİTREŞİMLERİNİN DEĞİŞTİRİLMİŞ ADOMIAN AYRIŞTIRMA METODU (DAAM) İLE İNCELENMESİ

Ferda BİLİK<sup>1\*</sup> and Tuncay KARAÇAY<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Gazi University, Ankara, Turkey, ferda.bilik@hotmail.com

<sup>2</sup> Gazi University, Ankara, Turkey, karacay@gazi.edu.tr

## Özet

Demiryolu köprüleri tren geçişlerinde sürekli dinamik kuvvetlerin etkisi altında kalmaktadır. Bu dinamik etkiler sebebi ile meydana gelen titreşimlerin incelenmesi ve köprü tasarımlarının bu çerçevede yapılması gerekmektedir. Bu problem literatürde basit mesnetli kiriş üzerinden geçen hareketli kuvvet olarak modellenenilmektedir, fakat elde edilen hareket denklemleri dördüncü mertebe doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem olmaktadır. Bu çalışmada demiryolu köprüsü basit mesnetli bir Euler-Bernoulli kirişi olarak modellenmiştir. Tren geçişi ise kiriş üzerinde hareketli bir Dirac Delta fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Trenin hızına bağlı olarak traversler arasında raydaki deformasyon ve ray pürüzlülüğünden kaynaklanan kuvvet değişimi harmonik olarak tanımlanmıştır. Bu harmonik kuvvet altında modal yerdeğişimi ifadesi Değiştirilmiş Adomian Ayrıştırma Metodu (DAAM) ile elde edilmiştir. Çözüm farklı yapısal özelliklerdeki kiriş nümerik değerleri ile farklı kuvvet frekansları için tekrarlanmış ve modal yerdeğiştirmeler normalize edilmiş köprü uzunluğunda gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu köprüsü, Titreşim, Harmonik zorlama, Euler-Bernoulli kirişi

## Abstract

Railway bridges are subjected to dynamic forcing during the passage of trains. The vibration response of the bridge must be investigated in order to design a durable bridge. This problem is usually modelled as a force travelling over a simple supported beam in the literature, but the equation of motion of the system becomes fourth order nonlinear partial differential equation. In this study, the railway bridge is modelled as a simply supported Euler-Bernoulli beam, and the train passage is modelled as a moving Dirac-Delta function. The variation of the forcing due to deformation of the rail between slab and also railway unevenness are modelled as a simple harmonic force depending on the speed of passing train. The modal deformation of the bridge under travelling harmonic forcing is obtained using Modified Adomian Decomposition Method (MADM). Solution is repeated for different beam structures and different harmonic frequencies and modal deformations are presented over a normalized bridge length.

**Keywords:** Railway bridge, Vibration, Harmonic forcing, Euler-Bernoulli beam

## 1. Zorlanmış Kiriş Titreşimi

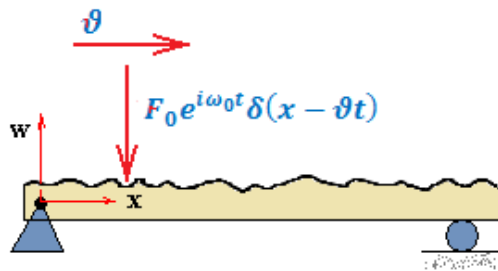
Mühendislik uygulamalarında birçok alanda kullanılan basit mesnetli Euler-Bernoulli kirişi hareket denklemi, dördüncü mertebe, homojen olmayan kısmi diferansiyel denklem ile ifade edilmektedir. Literatürde zorlanmış kiriş titreşimi analizi için çeşitli analitik veya yaklaşık yöntemler geliştirilmiştir, fakat tam ve doğru kabuller yapılmadığı takdirde yüksek mertebeli doğal frekans ve mod durumlarını belirlemek bu yöntemlerle zor olabilmektedir. Uygulamalı matematik alanında yapılan çalışmalara bakıldığında kiriş hareket denklemi gibi dördüncü mertebe parçalı sınır değer problemi çözümü için yeni bir yöntem olan Adomian Ayrıştırma Metodu (AAM) ve bu yöntemin değiştirilmiş formunun (DAAM) kullanıldığı görülmüştür [1-4].

Haddadpour, modal analiz ve AAM'yi birlikte kullanarak EB kiriş hareket denklemini sonsuz seri açılımı şeklinde ifade etmiştir [5]. Lai ve diğerleri, EB kirişinde, farklı sınır şartları opsiyonlarını belli sabitler ile iki denklem şeklinde ifade ederek, hareket denklemini çözümünde AAM kullanmışlardır [6]. Hsu ve diğerleri, değişken kesitli serbest kiriş titreşim problemlerinin, klasik ya da esnek sınır şartlarındaki çözümü için DAAM geliştirmiş ve seri açılım uygulamaları sonucu i. doğal frekans ve mod şekillerini elde ederek sonrasında aynı yöntemi Timoshenko kiriş titreşimi analizi için de kullanmışlardır [7,8]. Mao ve Pietrzko, düzgün kesite sahip iki kademedan oluşan Euler kiriş serbest titreşim analizinde AAM'yi uygulamışlardır [9]. Mao, birden fazla kademeye sahip EB kiriş serbest titreşiminde AAM'den yararlanmış ve sonrasında iki ucundan elastik mesnetlenmiş, birbirine elastik katman ile bağlı, n sayıda kiriş serbest titreşim analizinde DAAM kullanmıştır [10, 11]. Coşkun ve diğerleri, değişken kesitli EB kiriş serbest titreşim analizinde AAM, VIM (Varyasyonel İterasyon Metodu) ve HPM (Homotopy Perturbasyon Metodu) yöntemlerini kullanmış ve doğal frekans ile buna bağlı mod şekillerini karşılaştırmışlardır [12]. Mao ve Pietrzko, değişken kesitli, basit mesnetli kiriş serbest titreşimini AAM'yi kullanarak analiz etmişlerdir [13]. Bilik ve Karaçay, yüksek hızlı tren köprüsü dinamik davranışını, traversli ray yapısından dolayı oluşan harmonik etkiyi de dikkate alarak, doğrusal, homojen dördüncü mertebe denklem çözüm yöntemi uygulayarak incelemişlerdir [14].

Bu çalışmada ise yol pürüzleri nedeniyle üzerinden geçen kuvvette harmonik etki oluşturan kirişin frekans değişimine bağlı modal yerdeğişimi dinamik analizi DAAM kullanılarak yapılacaktır. Öncelikle basit mesnetli Euler-Bernoulli kiriş matematiksel modellemesi yapılacak ve buna bağlı hareket denklemini oluşturulacaktır. Elde edilen dördüncü mertebe, homojen olmayan kısmi diferansiyel denklem, sınır ve başlangıç şartları dikkate alınarak modal analiz ile ikinci mertebe homojen olmayan adi diferansiyel denklem haline dönüştürülecek ve kiriş modal yerdeğişimi DAAM uygulanarak seri açılım şeklinde ifade edilecektir. Bu sonsuz seride Binom ve Taylor açılımları kullanılarak modal formda yer değiştirme ifadesi elde edilecektir. Çözümlerin basitleştirilmesi amacıyla kirişin dönme, kayma ve burulma ataletleri ihmal edilecektir. Sonuç bölümünde jenerik üç farklı kiriş için verilen nümerik değerler, elde edilen modal yerdeğişimi analitik ifadesinde yerlerine yazılarak kiriş titreşimi ile kuvvetin uygulanma frekansı arasındaki ilişki grafik halinde gösterilecek ve bulgular değerlendirilecektir.

## 2. Kiriş Matematiksel Modellemesi ve Dinamik Analizi

Literatürde yapılan çalışmalarda dinamik analizler için Euler, Rayleigh ve Timoshenko modeli olarak bilinen çeşitli kiriş modelleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kiriş dinamik analizinin kolaylaştırılması amacıyla sönümsüz sınır şartlarına sahip, basit mesnetli ve sabit kesitli fakat kuvvette frekans değişimine sebep olan yol pürüzlerine sahip en sade kiriş modeli seçilmiş ve Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Zorlanmış basit mesnetli Euler-Bernoulli Kirişi.

### 2.1. Hareket Denklemi

Kayma deformasyonu ve dönme ataleti ihmal edilmiş, toplam uzunluğu  $L$ , elastisite modülü  $E$ , alan atalet momenti  $I$ , yoğunluğu  $\rho$ , kesit alanı  $A$  olan, sönümsüz, kuvvet hareketi boyunca kesiti değişmeyen, basit mesnetli, düz bir kiriş Şekil 1'deki gibi modellenerek hareket denklemini, sınır ve başlangıç şartları ile modal koordinatlara göre yer değişimi fonksiyonu sırayla aşağıdaki gibi yazılmaktadır [15].

$$EI \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} = F \delta(x - \vartheta t) \quad (1)$$

$$w(0,t) = 0, \quad \frac{\partial^2 w(0,t)}{\partial x^2} = 0 \quad w(l,t) = 0, \quad \frac{\partial^2 w(l,t)}{\partial x^2} = 0$$

$$w(x,0) = z_0 = 0, \quad \frac{\partial w(x,0)}{\partial t} = z_1 = 0$$

$$w(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(x) q_n(t) \quad (2)$$

Burada  $q_n(t)$  kirişin n. modal genliğini ve  $W_n(x)$  ise n. mod şekil fonksiyonunu,  $\delta$  (Dirac Delta fonksiyonu) kiriş üzerine uygulanan kuvvetin konumunu,  $\vartheta$  kuvvetin hızını,  $x$  yatay eksenini ifade etmektedir. Kuvvet ifadesi  $F = F_0 e^{i\omega_0 t}$  olup,  $F_0$  harmonik kuvvetin genliğini,  $\omega_0 = 2\pi f_0$  harmonik kuvvetin (zorlama) frekansını göstermektedir.

(1)'deki hareket denkleminde (2)'deki modal yer değişimi ifadesi gerekli türevler alınarak yerlerine yazılırsa,

$$EI \sum_{n=1}^N q_n(t) \frac{d^4 W_n(x)}{dx^4} + \rho A \sum_{n=1}^N \frac{d^2 q_n(t)}{dt^2} W_n(x) = F \delta(x - \vartheta t), \quad 0 < x < l \quad (3)$$

ve sönümsüz serbest titreşim için kiriş denklemini  $(EI \frac{d^4 W_n(x)}{dx^4} - \omega_n^2 \rho A W_n(x) = 0)$  düzenleme yapılarak (3)'te yerine yazılırsa,

$$\frac{d^2 q_n(t)}{dt^2} W_n(x) + \omega_n^2 W_n(x) q_n(t) = \frac{F}{\rho A} \delta(x - \vartheta t) \quad (4)$$

olur. Bu eşitliğin her iki tarafı  $W_n(x)$  ile çarpılıp 0 ile l aralığında x'e göre integrali alınarak n. mod şekil fonksiyonu  $W_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi}{l} x\right)$  ve basit mesnetli kiriş için  $\int_0^l W_n(x) W_n(x) dx = \frac{l}{2}$  ifadesi yerlerine yazılıp Dirac Delta fonksiyonunun integrali alınır,

$$\frac{d^2 q_n(t)}{dt^2} + \omega_n^2 q_n(t) = \frac{2F}{l\rho A} \sin\left(\frac{n\pi}{l} \vartheta t\right) \quad (5)$$

elde edilir. Matematiksel işlemleri kolaylaştırmak amacıyla  $\varepsilon = \frac{n\pi\vartheta}{l}$  ve  $F_z = \frac{2F}{l\rho A}$  kabulü yapılır ve (5)'te yerlerine yazılırsa,

$$\frac{d^2 q_n(t)}{dt^2} + \omega_n^2 q_n(t) = F_z \sin(\varepsilon t), \quad n = 1, 2, 3, \dots \infty \quad (6)$$

bulunur.

## 2.2. DAAM ile Analitik Çözüm

Bu bölümde (6)'da verilen diferansiyel denklem çözümü DAAM kullanılarak yapılacaktır [3]. DAAM'a göre genel denklem;

$$Lq_n(t) + Rq_n(t) + N(q_n(t)) = g_n(t) \quad (7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $L$  integrali alınabilen en yüksek mertebeli türevli terim operatörünü,  $R$  mertebesi  $L$ 'den az olan doğrusal diferansiyel operatörü,  $N$  doğrusal olmayan

operatörü,  $g$  ise zorlayıcı kuvvet fonksiyonunu ifade etmektedir.  $L = \frac{d^m}{dx^m}$  şeklinde gösterilmektedir. Bu operatörün tersi ise  $m$  defa integralinin alınmasıdır. Bu yöntemde ikinci mertebe adi diferansiyel denklemin genel ifadesi ve başlangıç şartları;

$$\ddot{y} + P(t)\dot{y} + N(x, t) = g(t) \quad , \quad y(0) = A \quad , \quad \dot{y}(0) = B \quad (8)$$

şeklinde olup türevin mertebesi  $m=2$ 'dir. DAAM'a göre yeni bir diferansiyel operatör olan  $L$  aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [3].

$$L = e^{-\int P(t)dt} \frac{d}{dt} \left( e^{\int P(t)dt} \frac{d}{dt} \right) \quad (9)$$

Bu eşitliğin her iki tarafının  $m=2$  defa integrali alındığında ise

$$L^{-1}(\cdot) = \int_0^t e^{-\int P(t)dt} \int_0^t e^{\int P(t)dt} (\cdot) dt dt \quad (10)$$

elde edilmektedir. Bu açıklamalar ışığında (6) dikkate alınır (8)'deki genel ifadeye göre  $P(t) = 0$  olmaktadır. Buna göre (10) tekrar yazılırsa,

$$L^{-1}(\cdot) = \int_0^t \int_0^t (\cdot) dt dt \quad (11)$$

olur. (6), (7)'deki DAAM genel terimi ifadeleriyle eşleştirilir,

$$Lq_n(t) = \frac{d^2 q_n(t)}{dt^2} \quad , \quad Rq_n(t) = \omega_n^2 q_n(t) \quad , \quad N(q_n(t)) = 0 \quad , \quad g_n(t) = F_z \sin(\varepsilon t) \quad (12)$$

ve (7)'nin her iki tarafının  $m=2$  defa integrali alınır;

$$L^{-1}(Lq_n(t)) = L^{-1}(g_n(t)) - L^{-1}(Rq_n(t)) - L^{-1}(Nq_n(t))$$

$$q_n(t) = z_0 + z_1 t - L^{-1}[R(q_n(t)) - g_n(t)] \quad (13)$$

ve (13) toplam serisi şeklinde ifade edilirse,

$$\sum_{k=0}^{\infty} q_k(t) = z_0 + z_1 t - L^{-1} \left[ R \left( \sum_{k=0}^{\infty} q_k(t) \right) - \sum_{k=0}^{\infty} g_k(t) \right]$$

elde edilir. Bu seri açılımı iki parçaya bölünerek aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q_0(t) = z_0 + z_1 t + L^{-1}[F_z \sin(\varepsilon t)] \quad (14)$$

$$q_{k+1}(t) = -L^{-1}[\omega_n^2 q_k(t)] \quad (15)$$

Başlangıç şartları (14)'te yerlerine yazılarak, (11)'e göre iki kez integrali alınırsa serinin sıfırncı terimi,

$$q_0(t) = L^{-1}[F_z \sin(\varepsilon t)] = \int_0^t \int_0^t (F_z \sin(\varepsilon t)) dt dt = F_z \left( \frac{t}{\varepsilon} - \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^2} \right) \quad (16)$$

bulunur. Bu ifade k=0 için (15)'te yerine yazılır ve k=1,2,3... için benzer işlemler tekrarlanırsa,

$$q_1(t) = -L^{-1}[\omega_n^2 q_0(t)] = \int_0^t \int_0^t \omega_n^2 F_z \left( \frac{t}{\varepsilon} - \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^2} \right) dt dt = -F_z \omega_n^2 \left[ \frac{t^3}{6\varepsilon} - \frac{t}{\varepsilon^3} + \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^4} \right] \quad (17)$$

$$\begin{aligned} q_2(t) &= -L^{-1}[\omega_n^2 q_1(t)] = -\int_0^t \int_0^t \omega_n^2 \left( -F_z \omega_n^2 \left[ \frac{t^3}{6\varepsilon} - \frac{t}{\varepsilon^3} + \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^4} \right] \right) dt dt \\ &= F_z \omega_n^4 \left[ \frac{t^5}{5! \varepsilon} - \frac{t^3}{3! \varepsilon^3} + \frac{t}{\varepsilon^5} - \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^6} \right] \end{aligned}$$

$$q_3(t) = -F_z \omega_n^6 \left[ \frac{t^7}{7! \varepsilon} - \frac{t^5}{5! \varepsilon^3} + \frac{t^3}{3! \varepsilon^5} + \frac{t}{\varepsilon^7} + \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^8} \right]$$

⋮

elde edilir. Bu ifadelerin tamamı K adet terim için toplam şeklinde yazılırsa,

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^K q_k(t) &= F_z \left( \frac{t}{\varepsilon} - \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^2} \right) - F_z \omega_n^2 \left[ \frac{t^3}{6\varepsilon} - \frac{t}{\varepsilon^3} + \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^4} \right] + F_z \omega_n^4 \left[ \frac{t^5}{5! \varepsilon} - \frac{t^3}{3! \varepsilon^3} + \frac{t}{\varepsilon^5} - \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^6} \right] \\ &\quad - F_z \omega_n^6 \left[ \frac{t^7}{7! \varepsilon} - \frac{t^5}{5! \varepsilon^3} + \frac{t^3}{3! \varepsilon^5} + \frac{t}{\varepsilon^7} + \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^8} \right] + \dots \end{aligned}$$

ve gerekli sadeleştirmelerle düzenleme yapılırsa,

$$q_n(t) = F_z \left[ \left( \omega_n t - \frac{(\omega_n t)^3}{3!} + \frac{(\omega_n t)^5}{5!} - \frac{(\omega_n t)^7}{7!} + \dots \right) \frac{1}{\omega_n \varepsilon} \left( 1 + \frac{\omega_n^2}{\varepsilon^2} + \frac{\omega_n^4}{\varepsilon^4} + \frac{\omega_n^6}{\varepsilon^6} \dots \right) - \frac{\sin(\varepsilon t)}{\varepsilon^2} \left( 1 + \frac{\omega_n^2}{\varepsilon^2} + \frac{\omega_n^4}{\varepsilon^4} + \frac{\omega_n^6}{\varepsilon^6} \dots \right) \right]$$

elde edilir. Burada  $\sin(\omega_n t) = \omega_n t - \frac{(\omega_n t)^3}{3!} + \frac{(\omega_n t)^5}{5!} - \frac{(\omega_n t)^7}{7!} + \dots$  Sin Taylor seri açılımı ve

$\left[ 1 - \left( \frac{\omega_n}{\varepsilon} \right)^2 \right]^{-1} = 1 + \frac{\omega_n^2}{\varepsilon^2} + \frac{\omega_n^4}{\varepsilon^4} + \frac{\omega_n^6}{\varepsilon^6} \dots$  Binom açılımıdır. Bu açılımlar yukarıdaki eşitlikte yerlerine yazılarak gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$q_n(t) = F_z \left[ \frac{\varepsilon^2}{(\varepsilon^2 - \omega_n^2)} \frac{1}{\varepsilon^2} \left( \frac{\varepsilon \sin(\omega_n t)}{\omega_n} - \sin(\varepsilon t) \right) \right] = \frac{F_z}{(\varepsilon^2 - \omega_n^2)} \left( \frac{\varepsilon \sin(\omega_n t)}{\omega_n} - \sin(\varepsilon t) \right) \quad (18)$$

elde edilir. EB kirişi için genelleştirilmiş doğal frekans  $\omega_n = \left( \frac{n\pi}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$   $n = 1, 2, 3 \dots \infty$  şeklinde olup bu

ifade ve daha önce verilen  $\varepsilon = \frac{n\pi\theta}{l}$  ve  $F_z = \frac{2F}{l\rho A}$  ifadeleri (18)'de yerlerine yazılarak (2)'deki modal yer değişimi analitik ifadesi,

$$w(x, t) = \sum_{n=1,2,\dots}^N \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right) \left[ \frac{2Fl^3}{EI\pi^4 \left( \frac{\theta^2 \rho A (n\pi l)^2}{EI\pi^4} - n^4 \right)} \left( \frac{n\pi\theta}{l\omega_n} \sin(\omega_n t) - \sin\left(n\pi\theta \frac{t}{l}\right) \right) \right] \quad (19)$$

şeklinde elde edilir [16].

### 3. Bulgular ve Yorumlar

Bu çalışmada basit mesnetli bir EB kirişinin atalet kaynaklı sönümleri, diğer bir deyişle, dönme, kayma ve burulma ataletleri ihmal edilerek hareketli bir kuvvet zorlamasına bağlı matematiksel modeli oluşturulmuş ve bu modele göre hareket denklemi yazılmıştır. Dördüncü mertebe, homojen olmayan, kısmi diferansiyel denklem ile ifade edilen hareket denklemi, sınır ve başlangıç şartları dikkate alınarak ikinci mertebe homojen olmayan adi diferansiyel denklem haline dönüştürülmüş ve sonrasında DAAM kullanılarak kiriş modal yerdeğişimi analitik ifadesi elde edilmiştir.

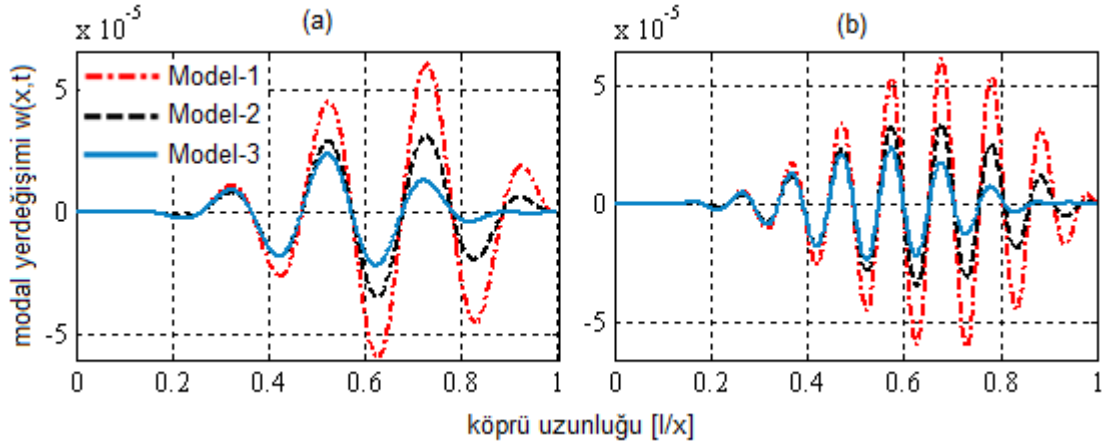
Elde edilen analitik ifade fiziksel davranışı yorumlamak için Çizelge 1'de verilen üç tip yapısal özelliğe sahip kiriş nümerik değerleri ile farklı kuvvet frekansları için sayısal olarak çözümlenmiş ve kirişte meydana gelen modal yerdeğişimleri incelenmiştir.

Çizelge 1 Kiriş özellikleri [16].

	Elastisite Modülü $E [GPa]$	Kiriş malzeme yoğunluğu $\rho [kg/m^3]$	Kiriş kesit alanı $A [m^2]$	Alan atalet momenti $I [m^4]$
Model-1	34	3750	5,13	1,12
Model-2	32	3924	6,39	2,62
Model-3	210	31825	0,57	0,62

Kiriş üzerinden geçerken kuvvet hızının bir fonksiyonu olan frekans ile harmonik titreşim üreten kuvvetlerin farklı frekans değerleri için kiriş modal yerdeğişimleri Şekil 2'de verilmiştir [16].





Şekil. 2. Kiriş modellerinin kuvvet frekans değişimine bağlı modal yerdeğişimi,  $F=60$  kN,  $\vartheta = 300$  km/sa a) 10 [Hz], b) 20 [Hz]

Beklendiği gibi frekans arttıkça kiriş titreşimi de artmış ve aynı frekans değerlerinde kiriş modelleri karşılaştırıldığında en büyük titreşim genliği Model-1 kirişte elde edilmiştir. Pürüzlü yüzeye sahip kirişlerde kuvvet hızı arttıkça zorlama frekansında artış yönünde bir etki meydana getirmesi, yüksek hızlı kuvvet geçişlerine maruz kirişlerde yüzey pürüzlerinin minimum seviyede olması gerektiğini göstermiştir.

#### 4. Sonuçlar

Boyutsuz kiriş uzunluklarına göre grafik halinde gösterilen farklı kuvvet frekanslarına bağlı kiriş modal yerdeğişimi incelendiğinde zorlama frekansı arttıkça kiriş titreşiminin de arttığı ve aynı frekans değerlerinde kiriş modelleri karşılaştırıldığında en büyük titreşim genliğinin elastisitesi düşük ve malzeme yoğunluğu en küçük olan kirişlerde meydana geldiği görülmüştür.

#### Kaynaklar

- [1] Kumar, M., and Singh, N. Modified Adomian Decomposition Method and computer implementation for solving singular boundary value problems arising in various physical problems. *Computers and Chemical Engineering*, 34, 1750-1760, 2010.
- [2] Hasan, Y.Q., and Zhu, L.M. Solving singular boundary value problems of higher-order ordinary differential equations by modified Adomian decomposition method. *Commun Nonlinear Sci Numerical Simulation*, 14, 2592-2596, 2009
- [3] Hosseini, M.M., and Nasabzadeh, H. Modified Adomian decomposition method for specific second order ordinary differential equations. *Applied Mathematics and Computation*, 186, 117-123, 2007
- [4] Momani, S., Moadi, K., and Noor, M.A. Decomposition method for solving a system of fourth-order obstacle boundary value problems. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 923-931, 2006
- [5] Haddadpour, H. An exact solution for variable coefficients fourth-order wave equation using the Adomian method. *Mathematical and Computer Modelling*, 44, 1144-1152, 2006
- [6] Lai, H.Y., Hsu, J.C., and Chen, C.K. An innovative eigenvalue problem solver for free vibration of Euler Bernoulli beam by using the Adomian decomposition method. *Computers and Mathematics with Applications*, 56, 3204-3220, 2008
- [7] Hsu, J.C., Lai, H.Y., and Chen, C.K. Free vibration of non-uniform Euler-Bernoulli beams with general elastically end constraints using Adomian modified decomposition method. *Journal of Sound and Vibration*, 318, 965-981, 2008.
- [8] Hsu, J.C., Lai, H.Y., and Chen, C.K. An innovative eigenvalue problem solver for free vibration of uniform Timoshenko beams by using the Adomian modified decomposition method. *Journal of Sound and Vibration*, 325, 451-470, 2009.
- [9] Mao, Q., and Pietrzko, S. Free vibration analysis of stepped beams by using Adomian decomposition method. *Applied Mathematics and Computation*, 217, 3429-3441, 2010.
- [10] Mao, Q. Free vibration analysis of multiple-stepped beams by using Adomian decomposition method. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 756-764, 2011

- [11] Mao, Q. Free vibration analysis of elastically connected multiple-beams by using the Adomian modified decomposition method. *Journal of Sound and Vibration*, 331, 2532-2542, 2012.
- [12] Coşkun, S.B., Atay, M.T., and Öztürk, B. Transverse Vibration Analysis of Euler-Bernoulli Beams Using Analytical Approximate Techniques. *Advances in Vibration Analysis Research*, 978-953-307-209-8, 2011.
- [13] Mao, Q., and Pietrzko, S. Free vibration analysis of a type of tapered beams by using Adomian decomposition method. *Applied Mathematics and Computation*, 219, 3264-3271, 2012.
- [14] Bilik, F., and Karaçay, T. Vibration Analysis of a High Speed Railway Bridge Modelled as Simply Supported Euler-Bernoulli Beam. *First International Congress On Advanced Railway Engineering*, İstanbul, Turkey, (2015, March).
- [15] Yang, B., "Stress, Strain and Structural Dynamics-An Interactive Handbook of Formulas, Solutions and MATLAB Toolboxes", Elsevier Academic Press, 2005.
- [16] Bilik, F. "Euler-Bernoulli Kirişli Olarak Modellenmiş Yüksek Hızlı Tren Demiryolu Köprüsünün Dinamik Davranışının Adomian Ayrıştırma Metoduyla İncelenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 50-52,68, 2015.

# RAILWAY RAMS MANAGEMENT

Alp Giray Karabacak<sup>1\*</sup> and Kemal Faruk Dogan<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> ERC Ltd. Şti., İstanbul, Turkey, e-mail: a.karabacak@e-r-c.com.tr

<sup>2</sup>, ERC Ltd. Şti., İstanbul, Turkey, e-mail: k.dogan@e-r-c.com.tr

## Özet

EN 50126 standardında tanımlanan RAMS yönetimi, geliştirilecek olan sistemin Güvenilirlik (R), Kullanılabilirlik (A), Bakım Yapılabilirlik (M) ve Emniyet (S) parametrelerine odaklanarak, kalitesini, performansını ve emniyetini azami seviyeye çıkarmayı hedef alan bir süreçtir. RAMS sürecinin uygulanması ile, sistemin yüksek emniyet seviyesinde, düşük arıza oranları ve yüksek kullanılabilirlik ile faaliyet göstermesi sağlanmaktadır. Bu bildiride, EN 50126'da adımları tanımlanan V modele göre RAMS yönetiminin yüksek hızlı trenlerin modernizasyonu sürecinde nasıl uygulandığı anlatılacaktır. İlk olarak sistemin konseptinin oluşturulması, sistem tanımlama dokümanlarının, Emniyet ve RAM planlarının hazırlanmasından sonra başlayacak olan risk analizi adımı sistem içerisinde modernizasyondan kaynaklanacak tehlikelerin belirlenmesi ve bu tehlikelerin analizleri yapılacaktır. Daha sonraki adımlarda da sistemin ve bu sistemi oluşturan alt sistemlerin/bileşenlerin Emniyet ve RAM gereksinimleri belirlenecek ve bu gereksinimlere göre tasarım, uygulama, üretim ve kurulum işlemleri tamamlandıktan sonra sistemin onaylanması ve kabulü işlemlerinin süreçleri anlatılacaktır. RAMS yönetimi süreci içerisinde kimin ne gibi sorumluluklara sahip oldukları belirtilecektir. Ayrıca sistemin ulusal otorite tarafından tescilinde gerekli uygunluk değerlendirme raporları ve belgeleri için bağımsız değerlendirme kuruluşlarının faaliyetleri anlatılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, RAMS, Emniyet, Tescil, Onay

## Abstract

RAMS management defined in EN 50126 is a process that aims to maximize the quality, performance and safety of a system, focusing on the Reliability (R), Availability (A), Maintainability (M) and Safety (S) parameters. The implementation of RAMS process ensures that the system operates at high level safety, with low failure rates and high availability. In this article, it is explained how the RAMS Management is implemented during the modernization of high-speed trains according to the "V" model steps defined in EN 50126. After concept and system definition documents, safety and RAM plans are created, the risk analysis is executed. In this step, the hazards arising from modernization of the system is determined and analysis of these hazards is performed. After risk analysis, the safety and RAM requirements on system level and subsystems/components level is determined. According to these requirements, firstly the design of the system is completed. After design, the system is manufactured and installed. Finally, the processes of approval and acceptance of the system is implemented. This article explains also the responsibilities of the parties in the RAMS management, the activities of independent bodies for conformity assessment required in the registration of the system by a national authority.

**Keywords:** Railway, RAMS, Safety, Registration, Approval

# VIBRATION DAMPING ANALYSIS OF RAILCAR BUFFER

Ahmad Partovi Meran<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey, e-mail: [ameran@konya.edu.tr](mailto:ameran@konya.edu.tr)

## Abstract

Railway vehicles undergo various harmonic forces during shunting, braking and normal operating time. These harmonic loading are transmitted to the bodies of vehicles as well as bogies and chassis through the buffers mounted on the two ends of the vehicles. The transmitted loads have adverse consequences on the life expectancy of the vehicle, comfort of passengers and safety of the freight. In this study, it is aimed to analyze the vibration characteristics of a hydraulic elastic buffer. The buffer is consist of a hydraulic oil chamber, a plunger, a separator and disc springs stacked in series and parallel arrangements. The kinetic energy of plunger is partially stored as elastic strain energy in the disc springs and the remained is dissipated by a hydraulic damper in the form of heat energy. Through the vibration damping properties of the hydraulic-elastic buffer the passengers comfort, riding quality and safety of the bogie-chassis links are improved. In order to analyze the vibration damping characteristics of the buffer, a dynamic model is established. Frequency and modal analysis are conducted to obtain the damped natural frequencies and vibrating behavior of buffer on the wide frequency spectrum. Also, the vibration behavior of the buffer under the various excitation inputs such as random and sinusoidal with variable amplitude is investigated.

**Keywords:** Vibration damping, Railcar, Buffer, Disc Spring, Nonlinear spring

# A FINITE MODEL ELEMENT MODEL FOR RAILWAY INFRASTRUCTURE

**Mehmet Çağrı BAYRAK<sup>1\*</sup>, Mesut TIĞDEMİR<sup>1</sup>, Mustafa KARAŞAHİN<sup>2</sup>, Mehmet AVCAR<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul Gelisim University, Istanbul, Turkey

In this study, a finite element model was developed for the railway infrastructure. For this aim, Midas GTS NX finite element software was employed. At first, the infrastructure elements were resized according to the typical railway cross-section i.e. infrastructure composed of four different layers was assumed. Then the obtained three-dimensional geometry was remodelled versus four different mesh sizes assuming linear elastic material properties and fixed boundary conditions in all directions. To examine the effect of the train load on the infrastructure, a uniform load was applied on the sleeper. At last, vertical displacements, stresses and strains of the infrastructure were analysed. The interaction between obtained results, duration of analyses and mesh sizes were discussed. Consequently, it was found that mesh optimization has significant effect on the obtained results.

**Keywords:** Finite element modelling; Railway infrastructure; Optimization

# FATIGUE FAILURE ASSESSMENT OF DRAW HOOK - MANUFACTURED BY FORGING - USED IN FREIGHT TRANSPORT IN RAILWAYS

Atila Keskin<sup>1</sup> Yasin Sarıkavak<sup>1,2</sup> and Merve Tuğyanoğlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Railway Research and Technology Centre, Turkish State Railways 06105 Ankara, Turkey

<sup>2</sup> Mechanical Engineering Department, Yıldırım Beyazıt University 06010 Ankara, Turkey, e-mail: sarikavak@gmail.com

## Özet

Bu çalışmada dövme metoduyla imal edilmiş ve yük taşımacılığında kullanılan cer kancasının yorulma hasarı incelenmiştir. Cer kancaları aşırı ve homojen olmayan yükler, darbe yükleri ve korozif etkilerin olduğu zorlu çevresel etkiler altında çalışmaktadır. Hasar görmüş cer kancası inceleme yapılması için sahadan dikkatli bir şekilde alınmıştır. Yorulma çatlak oluşum ve ilerleme aşamaları net bir şekilde kırılma yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu durum hasar mekanizmasının; görsel muayene, mikroyapı analizi ve bazı tahribatlı metodlar kullanılarak, sebeplerinin araştırılmasına olanak sağlamıştır. Hasar mekanizmasını etkileyen kalıntılar sayılmış ve silika, alumina, sülfür ve oksitlerden oluşan kalıntılar gözlemlenmiştir. Malzemenin akma değerinin standartlarda belirtilen sınır değerlerin altında olduğu anlaşılmıştır. Demiryollarında yük taşımacılığında servis ömründe iyileştirmeler yapılması için diğer bulgular tartışılmış ve birtakım önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** cer kancası, hasar analizi, işletme kusuru, yük taşımacılığı

## Abstract

This paper presents an investigation of a fatigue failure of draw hook used in freight transportation, manufactured by forging method. Draw hooks work at harsh environmental conditions that may cause strong impact loads, over or non-homogeneous loading conditions and corrosive factors. Failed draw hook carefully collected from field for the investigation. Fatigue crack nucleation, initiation and propagation stages clearly observed on the fracture surface. It allows investigation the roots of the failure mechanism by using experimental methods including visual inspection, microstructure analysis and some destructive test to understand the strength parameters of the failed traction hook. The inclusions observed and counted including silica, alumina, sulphur and oxide which affected the failure mechanism. Yield strength value of the draw hook was lower than the threshold value of the standards. Some other findings discussed and suggestions made to improve the service life for draw hooks used in service for freight transportation in railways.

**Keywords:** draw hook, failure analysis, service failure, freight transport

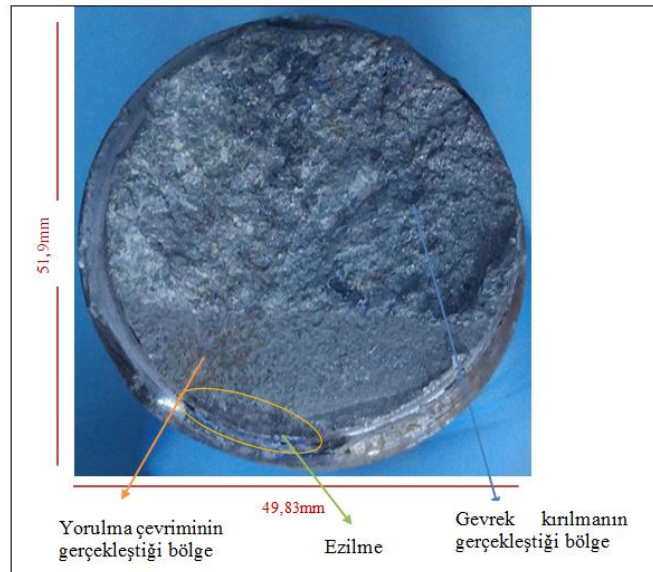
## 1. Giriş

Ülkemizde son yıllarda yüksek hızlı tren ile yolcu taşımacılığının yanında yük taşımacılığında da önemli gelişmeler meydana gelmektedir. Türkiye-Avrupa, Türkiye-Ortadoğu, Türkiye-Orta Asya ülkeleri arasında karşılıklı olarak blok yük trenleri çalıştırılmaktadır [1]. Zorlu çevresel koşullar, işletme frekansları ve işletme yüklerindeki artışlar demiryolu sistemlerinde kritik parçaların hasar görmesine neden olmaktadır. Vagon bağlantılarında kullanılan cer kancaları bu kritik parçalardan bir tanesidir. Bu bileşenler çeşitli nedenlerle hasar görmekte işletme ve bakım maliyetlerinin artışının yanında telafisi güç olumsuzluklara da sebebiyet verebilmektedir [2]. Bu çalışmada işletme şartları altında hasar görmüş ve 2017 yılında rapor edilerek TCDD Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi (DATEM) Laboratuvarlarına gönderilen cer kancası detaylı olarak incelenmiştir. Hasarın sebepleri ve malzeme yapısı görsel muayene, sertlik testi, kimyasal analiz, çekme deneyi, içyapı muayeneleri yapılarak araştırılmış ve gerekli görülen hususlar bu bildiriye belirtilmiştir.

## 2. Uygulanan Testler

### 2.1. Görsel Muayene

Kırılma hadisenin gerçekleştiği bölgeden çap ölçümü yapılmış sonuçlar Şekil 1’de gösterilmiştir. Kırılma yüzeyinin bir bölümünün yorulma çatlakları ilerlemesine; diğer bölümünün ise gevrek (ani) kırılma bölgesine ait olduğu ve ezilme olduğu gözlemlenmiştir. Kırılma ezilmenin olduğu bölgeden başlayarak çevrim izleri şeklinde yorulma olarak gelişmiş, yükü taşımadığı kesite geldiğinde ani ve gevrek olarak kırılma meydana gelmiştir. Cer kancası yüzeyi incelendiğinde sürtünme izleri ve ezilmeler ve çeşitli izler gözlemlenmiştir (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**).



Şekil 1. Kırık cer kancası kesit yüzeyi



Şekil 2. Kanca Yüzeyinde görülen sürtünme izleri, ezilmeler

## 2.2. Kimyasal Analiz

Kırık cer kancası numunesi üzerinden spektrometre ile alınan beş kimyasal analizin ortalama sonucu **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kırık cer kancası numunesinden alınan kimyasal analizlerin ortalama değerleri

Malzeme	Kimyasal analiz elementleri												
	% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Cr	% Mo	% Ni	% Al	% Cu	% Nb	% Ti	% Sn
Kırık kanca numunesi	0,5	0,313	0,622	0,0159	0,0063	0,171	0,0177	0,193	0,01	0,0462	0,0022	0,0011	0,0055

EN 15566+A1 standardı [3] ve EN 10083-2 standartlarına göre yukarıda kimyasal bileşim C50 çeliğine eşdeğer olduğu anlaşılmıştır. EN 10083-2 standartlarına yer alan C50 kalite çeliğe ait kimyasal bileşim **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir.

Çizelge 2. C50 malzemenin kimyasal bileşimi [4]



Malzeme Adı	Kimyasal bileşim elementleri								
	% C	% Si en fazla	% Mn	% S en fazla	% P en fazla	% Cr	% Mo	% Ni	% Cr+% Mo + % Ni en fazla
C50	0,47-0,55	0,40	0,60-0,90	0,045	0,045	0,40	0,10	0,40	0,63

### 2.3. Sertlik İncelemesi

Kırık cer kancasından çıkartılan numune üzerinden TS EN ISO 6506-1 [5] standardına göre yapılan brinell (HBW 2.5/187.5) sertlik deney sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kırık cer kancasından alınan sertlik değerleri

Malzeme	Sertlik değerleri (HBW)
Cer kancası numunesi	199-201

Cer kancasının yaklaşık ortalama 200 HBW sertliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. TS EN 10083-2 standartlarına göre yumuşak tavllanmış C50 kalite çelik için en yüksek değer 217 HBW olması gerektiği belirtilmiştir. UIC 825 kodlu fişe göre ise bu değer 250 HBW'den düşük olmalıdır [6].

### 2.4. Çekme Deneyi

TS EN 15566+A1 standardına göre kırık numune üzerinden çıkarılarak hazırlanan çekme deneyi numuneleri TS EN ISO 6892-1 Metot B [7] standardına göre yapılan çekme deneyi sonuçları Çizelge 2 Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'te verilmiştir. TS EN 10083-2 standardına göre normalize edilmiş C50 çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Kırık cer kancası numunelerinden alınan çekme deneyi sonuçları

Malzeme Numarası	mE (GPa)	R <sub>P 0,2</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	F <sub>m</sub> (kN)	A <sub>50</sub> (%)	L <sub>0</sub> (mm)	S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	A (%)
1.numune	207	352	664	52,48	16,2	50	79,01	18
2. numune	220	319	667	52,73	19,5	50	79,01	21
Ölçülen Çaplar	1. Numune : Ø 10,03mm 2. Numune : Ø 10.03 mm							

Uygulanan Gerilme Hızı (6-60 Mpa s <sup>-1</sup> )	30 Mpa s <sup>-1</sup>
Uygulanan Gerilme Hızı (≤0,008 s <sup>-1</sup> )	0,006 s <sup>-1</sup>

Çizelge 3. Normalize edilmiş C50 çeliğinin mekanik özellikleri [4]

Malzeme Adı	Malzeme Çapı (mm)	Akma Dayanımı(R <sub>e</sub> ) (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	% Yüzde uzama (A)
C50	d ≤ 16	355	650	12

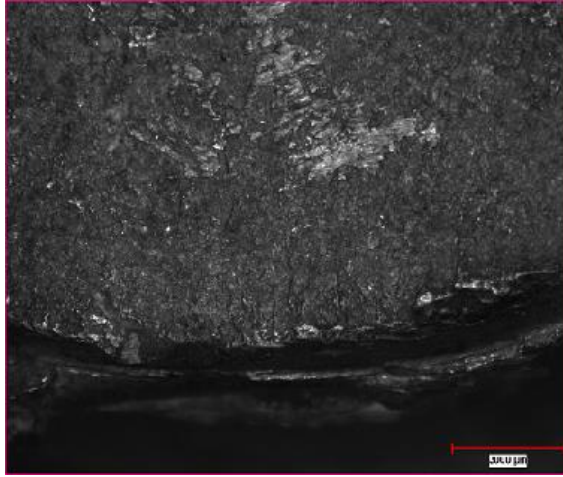
Re: Üst akma dayanımı veya akma olayı yoksa % 0,2 kalıcı uzamadaki gerilme dayanımı R<sub>P 0,2</sub>

TS EN 10083-2 standardına göre; akma dayanımı değerinin asgari sınırın altında kaldığı tespit edilmiştir.

## 2.5. Stereo ve Optik Mikroskop Kontrolü

### Makro İnceleme

Makro inceleme sonucu 8X ve 20X’de ezilme ve yorulma belirtilerinin görüldüğü bölgeler Şekil 3’de yer almaktadır.



Şekil 1. Farklı büyütmelerde kırık yüzey görüntüleri

## Mikro İnceleme

Kırık cer kancasına ait numunenin, dağlanmadan TS 3868 ISO 4967 [8] Metot A'ya göre 100X büyütmede incelemeleri yapılmış ve optik mikroskop resimleri çekilmiştir. Metot A'ya göre yapılan inceleme neticeleri izelge 46'da yer almaktadır.

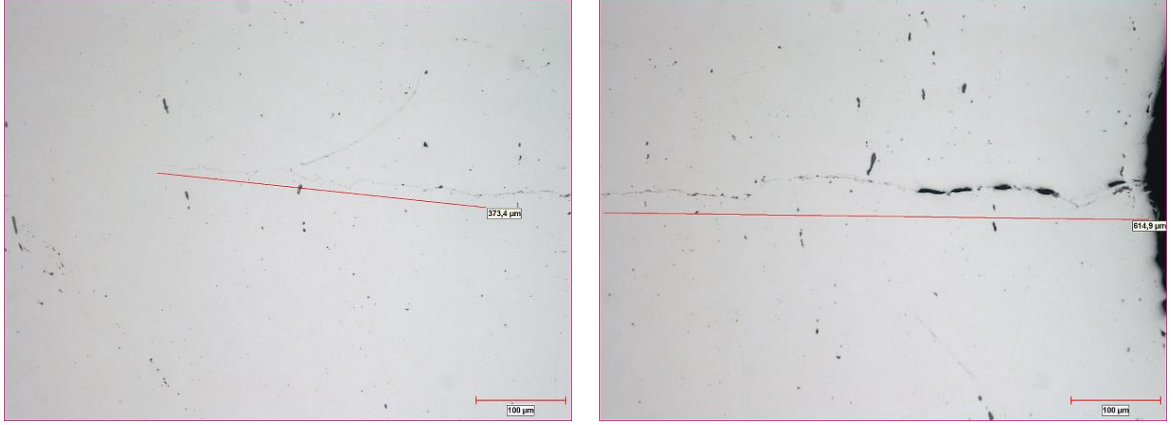
Çizelge 4. Kırık kanca numunesine ait kalıntı miktarları.

Numune		A	B	C	D	DS
		Sülfür	Alümina	Silika	Diğer oksitler	Diğer oksitler
Cer kancası numunesi	İnce	2	1	1	2	-
	Kalın	1	-	-	0,5	-

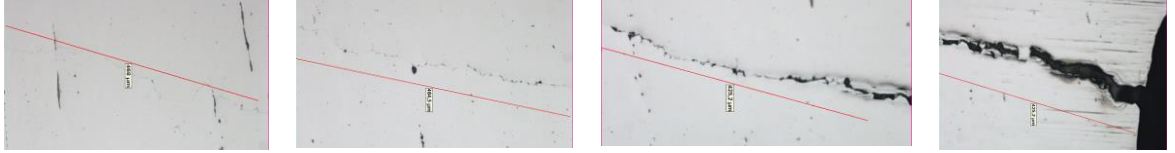
100X büyütmede yapılan inceleme sonucu sülfür, silika, alümina, oksit kalıntıları tespit edilmiştir (şekil 4). 100X büyütmede yapılan detaylı mikroskobik incelemede yüzeyden merkeze doğru ilerleyen 988,3  $\mu\text{m}$  ve 1,8 mm boyutlarında çatlaklar tespit edilmiştir (şekil 5, şekil 6).



şekil 2. ND 100X Silika, sülfür, alümina ve oksit kalıntıları

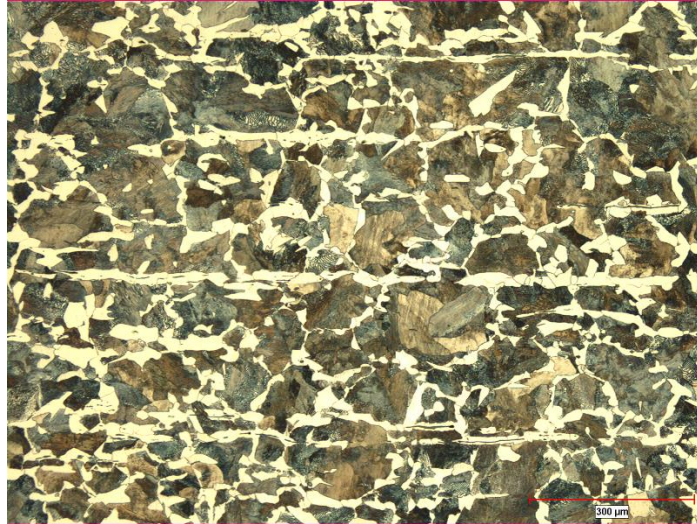


Şekil 3. 100X'de yüzeyden içeri doğru ilerleyen çatlak



Şekil 4. 100X'de yüzeyden içeri doğru ilerleyen çatlak

Kırık cer kancasına ait numune dağlandıktan sonra yapılan (NDS) incelemede; ana yapının perlitik yapı olduğu ve tane sınırlarında ferrit olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 5. NDS 100X perlitik-ferritik iç yapı

### 3. Sonuçlar

Yukarıda yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda, bu incelemede;

- Cer kancası meydana gelen bir çatlağın zamanla ilerleyerek yükü taşıyamayacağı kesite geldiğinde, cer kancasının gevrek olarak tipik yorulma kırılması meydana geldiği anlaşılmıştır.
- NDÖ Kırık kancaya ait numuneye 100X'de yapılan optik mikroskopik inceleme sonucu sülfür, silika, alümina ve diğer oksit kalıntıları olduğu tespit edilmiştir.
- NDÖ 100X'de yapılan detaylı mikroskopik incelemede yüzeyden merkeze doğru ilerleyen 988,3 µm ve 1,8 mm boyutlarında iki adet çatlak tespit edilmiştir.
- Çekme deneyi sonucunda; TS EN 10083-2 standardına göre, akma dayanımı değerinin asgari sınırın altında kaldığı tespit edilmiştir.
- NDS Yapılan optik mikroskopik incelemede; yapının perlitik, ferritik bir yapı olduğu anlaşılmıştır.

Bu incelemede dövme yöntemi ile imal edilmiş olan cer kancasında, işletme şartları altında, olumsuz yol koşulları, ani darbe, titreşim, aşırı ya da homojen olmayan yükleme/yüklemelerden dolayı ezilme ve yorulma çatlağı oluşmuştur. Yorulma çatlağı ilerleyerek yükü taşıyamadığı noktada gevrek kırılma hadisesine neden olmuştur. Kanca malzemelerinin dinamik yükler altında çalışmasından dolayı, işletme güvenliğini sağlamak ve olabilecek kazaların önüne geçmek amacıyla, belirlenen periyotlarda fiziksel muayeneden ve özellikle tahribatsız muayeneden geçirilmesi gerekmektedir.

#### 4. Referanslar

- [1] Karaman, S., Demiryolu ile Yük Taşımacılığı, Ankara Sanayi Odası Yayın Organı, 41–44, 2010.
- [2] Keskin, A. Sarıkavak, Y. ve Tugyanoglu, M., Bakım ve onarımdan geçirilen vagonlarda kullanılan cer kancalarının hasar analizi, 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'16), 2016.
- [3] European Norm, EN 15566:2009+A1:2010, Railway applications - Railway rolling stock - Draw gear and screw coupling, 2010.
- [4] European Norm, EN 10083-2 Quenched and Tempered Steels Part 2: Technical Delivery Conditions For Unalloyed Quality Steels, 2006.
- [5] European Norm, EN ISO 6506-1 Metallic materials - Brinell hardness test - Part 1: Test method, 2007.

- [6] UIC, UIC Leaflet Code 825 Technical specification for the supply of draw hooks with nominal load equal to 250 kN, 600 kN or 1000 kN for tractive and trailing stock.
- [7] European Norm, EN ISO 6892-1 Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature, 2011.
- [8] Turkish Standard, TS 3868 ISO 4967 Çelik - Metalik olmayan kalıntı içeriğinin tayini - Standard diyagramlar kullanılarak uygulanan mikroskopik yöntem, 2005.

# RAYLI ARAÇ FREN DİSKLERİNİN DÖKÜMÜNDE TRETMAN MALZEMESİ MİKTARININ MEKANİK ÖZELLİKLER VE HAVALANDIRMA SİSTEM TASARIMININ SOĞUTMA PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Onur ER<sup>1\*</sup>, Erdinç KALUÇ<sup>2</sup>, Emel TABAN<sup>2</sup> and Uğur ÖZSARAÇ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli University - Institute of Natural and Applied Sciences - Department of Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkey, e-mail: [onurer@windowslive.com](mailto:onurer@windowslive.com)

<sup>2</sup> Kocaeli University - Faculty of Engineering - Department of Mechanical Engineering, Kocaeli, Turkey, e-mail: [ekaluc@kocaeli.edu.tr](mailto:ekaluc@kocaeli.edu.tr), [emelt@kocaeli.edu.tr](mailto:emelt@kocaeli.edu.tr)

<sup>3</sup> Sakarya University - Faculty of Technology - Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya, Turkey, e-mail: [ozsarac@sakarya.edu.tr](mailto:ozsarac@sakarya.edu.tr)

## Özet

Bu çalışmada, raylı araçlarda kullanılan fren disklerinin vermiküler grafitli dökme demir olarak üretilmesiyle lamel grafitli dökme demire göre mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, fren disklerinin havalandırma kanal tasarımlarında iyileştirme yapılarak soğutma performansında artış hedeflenmiştir. Vermiküler grafit yapısı elde etmek için kalıp içi tretman metodu kullanılmıştır. Kalıp içi tretman metodunda 390, 500 ve 625 g olmak üzere 3 farklı tretman malzemesi miktarı kullanılmıştır. Tretman malzemesi miktarının fren diskinin mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Fren diski havalandırma kanallarının soğutma performansını tespit etmek için frenleme simülasyonu yapılmıştır. Frenleme simülasyonunda A ve B olmak üzere 2 farklı havalandırma kanal tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tretman malzemesi miktarı arttıkça fren diskinin mekanik özellikleri de artmıştır. 390 g tretman malzemesi miktarı kullanılarak üretilen fren disklerinde vermiküler grafit yapısı elde edilememiştir. 625 g tretman malzemesi miktarları kullanılarak üretilen fren diskleri en yüksek çekme mukavemeti değerlerini vermiştir. A ve B havalandırma kanal tasarımları karşılaştırıldığında, fren disklerinin hava kanallarının simetri eksenlerinde ulaşılan sıcaklık seviyelerinde A tasarımının B tasarımına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bunlardan dolayı, kalıp içi tretman metoduyla vermiküler grafitli dökme demir raylı araç fren diski üretiminde 625 g tretman malzemesi miktarının kullanılması ve fren diski havalandırma kanal tasarımında A tasarımının seçilmesi önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Raylı araç, fren diski, vermiküler grafitli dökme demir, mekanik özellikler, soğutma performansı

## EXAMINATION OF EFFECTS ON MECHANICAL PROPERTIES OF TREATMENT MATERIAL QUANTITY AND ON COOLING PERFORMANCE OF VENTILATION SYSTEM DESIGN IN THE CASTING OF RAIL VEHICLE BRAKE DISCS

### Abstract

In this study, it was aimed to improve the mechanical properties of the brake discs used in railway vehicles by producing them as vermicular graphite cast iron with respect to lamellar graphite cast iron. In addition, it was aimed an increase at the cooling performance by making improvement of the

ventilation duct design of the brake discs. The in-mold treatment method was used to obtain the vermicular graphite structure. In the in-mold treatment method, 3 different quantity of treatment material, 390, 500 and 625 g, were used. The effect of the quantity of treatment material on the mechanical properties of the brake disc has been investigated. Braking simulation is performed to determine the cooling performance of the ventilation ducts of the brake discs. In the braking simulation, on 2 ventilation duct designs, A and B, were studied. According to the obtained results, as the quantity of treatment material increased, the mechanical properties of brake disc increased. Vermicular graphite structure could not be obtained in the brake discs produced by using the 390 g of treatment material quantity. For brake discs produced by using 625 g of treatment material quantities were obtained the highest tensile strength values. Comparing the ventilation duct designs of A and B, it has been found that the design A in the temperature levels reached in the symmetry axes of the ventilation ducts of the brake discs is lower than B design. Therefore, it is proposed to use the quantity of treatment material of 625 g in the production of vermicular graphite cast iron rail vehicle brake disc by in-mold treatment method and choose design A in ventilation duct of brake disc.

**Keywords:** Rail vehicle, brake disc, vermicular graphite cast iron, mechanical properties, cooling performance

## 1. Giriş

Raylı araçların hareket halinde sahip oldukları kinetik enerji frenleme esnasında sürtünme yoluyla termal enerjiye dönüşmektedir. Bu süreç boyunca açığa çıkan ısı miktarı raylı aracın sahip olduğu kütle ve hızı ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. Bu ısı miktarının nispeten yüksek değerlere ulaşması, özellikle, fren diskinin sürtünme halkası yüzeyinde termal çatlakların meydana gelmesine sebep olabilmektedir [1]. Şekil 1'de, sürtünme halkası yüzeyinde bir seri termal çatlakların meydana geldiği bir raylı araç fren diski görülmektedir.



Şekil 1. Sürtünme halkası yüzeyinde termal çatlakların meydana geldiği bir raylı araç fren diski [1].

Fren diskinin sürtünme halkası yüzeyinden belirli bir seviyeye kadar içeriye girerek yayılan termal çatlakların şiddetli frenleme sürecinden dolayı meydana geldiği bilinmektedir [2]. Bu termal çatlaklar ciddi kazalara, frenleme performansında düşümlere ve sürtünen malzemelerin sık aralıklarla değiştirilmesinden dolayı bakım maliyetlerinde bir artışa sebep olabilmektedir. Ayrıca, çatlak ilerleme karakteristiği fren diskinin ömrünü belirlemektedir [3].



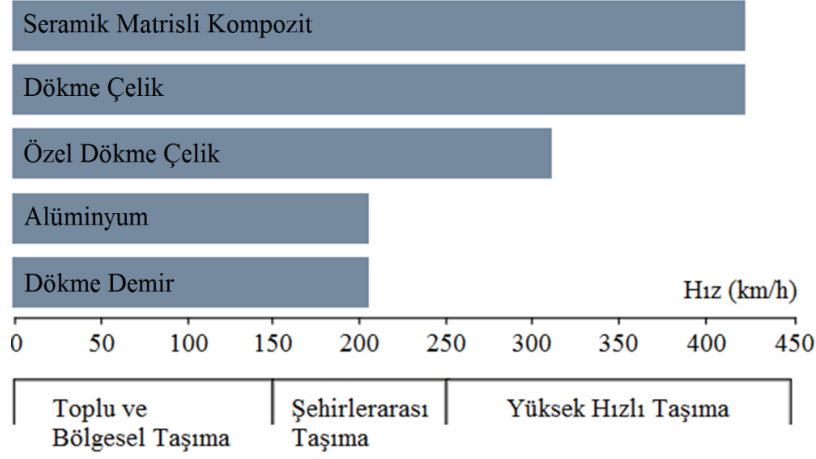
Raylı araçlarda, özellikle acil durum frenlemesi esnasında, fren diski sürtünme yoluyla üretilen ısıya maruz kalırken termal genişleme meydana gelmektedir. Termal genişleme fren diskinin yapısal şekli ve sürtünme halkası yüzeyine uygun olarak hareket eden frenleme basıncı tarafından bastırıldığı için sürtünme halkası yüzeyinde basma gerilmesi meydana gelmektedir. Bu gerilmenin tam tersine, soğuma esnasında ise çekme gerilmesi meydana gelmekte ve soğuma sonrası sürtünme halkası yüzeyinde kalıntı gerilmeler oluşmaktadır. Bu frenleme sürecinin tekrar edilmesi durumunda sürtünme halkası yüzeyinde termal yorulma çatlakları meydana gelmektedir. Dahası, tekrarlanmış frenlemeden kaynaklı aşınma ve termal yorulmanın sebep olduğu çarpılma, fren diski ve balata arasında düzensiz bir temas yüzeyine yol açarak üretilen sürtünme ısısını lokal bir alan üzerinde yığılmaktadır [4, 5]. Analizler, fren disklerinde meydana gelen bu problemin düşük çevrimli termomekanik yorulmanın bir sonucu olduğunu göstermektedir [2, 5, 6]. Diğer taraftan, fren diski kristal yapısı makroskobik sıcak nokta alanlarında değişmekte ve bu alanlarda martenzit faz oluşumu meydana gelmektedir. Martenzit çok sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir. Sıcak nokta alanlarının çevresindeki çatlaklar martenzit faz oluşumundan sonra soğuma esnasında meydana gelmektedir [6].

Özellikle, termal çatlaklar başta olmak üzere frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklıkların ortaya çıkarabileceği problemleri azaltmak ve frenleme performansını arttırmak için fren sistemlerine hem konstrüktif hem de metalürjik uygulamaların yapılabileceği düşünülmektedir [7]. Örnek olarak, konstrüktif açıdan daha etkili bir soğutma sağlayan havalandırma sistem tasarımları [7, 8] ve metalürjik açıdan yüksek C'li dökme demirler verilebilmektedir [7, 9]. Ayrıca, yüksek termal gerilmelere maruz kalan fren diski termal yorulmaya karşı daha iyi mukavemet gösteren malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Bu durumda, Ni, Cr ve Mo'lu dökme demirler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu alaşım elementlerinin nispeten yüksek maliyetli olması biz dezavantaj yaratmaktadır [5].

Etkili bir soğutma sağlaması açısından raylı araçlarda kullanılan fren disklerinin çoğunda havalandırma sistemi bulunmaktadır. Bu havalandırma sistemi kanatçık ve kanallardan meydana gelmektedir. Havalandırma sistemine sahip fren diskleri, frenleme esnasında, fren diskinin soğutulmasında ve yüksek termal direnç elde edilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır [10-12]. Bu fren disklerinin soğutma etkisi iki temel unsura bağlı olmaktadır. Bunlar, fren diski içinden geçen kütle debisi, bir diğer deyişle, fren diskinin hava pompalama etkisi ve fren diskinin yüzeyi üzerindeki ısı transferi katsayısıdır [11].

Raylı araçlarda kullanılan fren disklerinin havalandırma sistem tasarımlarında farklı geometrilere sahip kanatçıklar bulunmaktadır. Bunların frenleme ve termal performans üzerine etkileri bir takım parametrelerinin seviyeleri optimize edilerek iyileştirilebilmektedir. Bu parametreler kanatçık sayısı, şekli (kesiti), boyutu, açısı ve pozisyonu olmak üzere beş adettir [13, 14]. Optimum frenleme ve termal performans sağlanması için en etkili parametre kanatçık sayısıdır. Diğer taraftan, şekil ve açı parametreleri de optimize edilerek ısı transferi geliştirilebilmektedir [13]. Optimize edilmemiş fren diski havalandırma sistem tasarımları optimum hava akışı üretmediklerinden dolayı etkili bir sıcaklık dağılımı sağlayamamaktadır [12].

Raylı araçlarda kullanılan fren diski malzemesi olarak sıklıkla, nispeten daha iyi metalürjik kararlılık davranışı sergileyen dökme demirler kullanılmaktadır [5, 15]. Özellikle, konvansiyonel hatlarda işletilen raylı araçların fren diskleri dökme demirden üretilmektedir. Yüksek hızlı raylı araçlarda kullanılan dökme demirlerde Ni, Cr ve Mo'lu özel kimyasal kompozisyonlar kullanılmaktadır. Bu durumdan anlaşılacağı üzere, yüksek hızlı raylı araçlarda kullanılan fren disklerinin mekanik ve termal yüklere karşı daha mukavemetli olması gerekmektedir [16]. Şekil 2'de raylı araçların işletme hızlarındaki değişimle gereksinim duyulan bazı fren diski malzemeleri arasındaki ilişki görülmektedir.

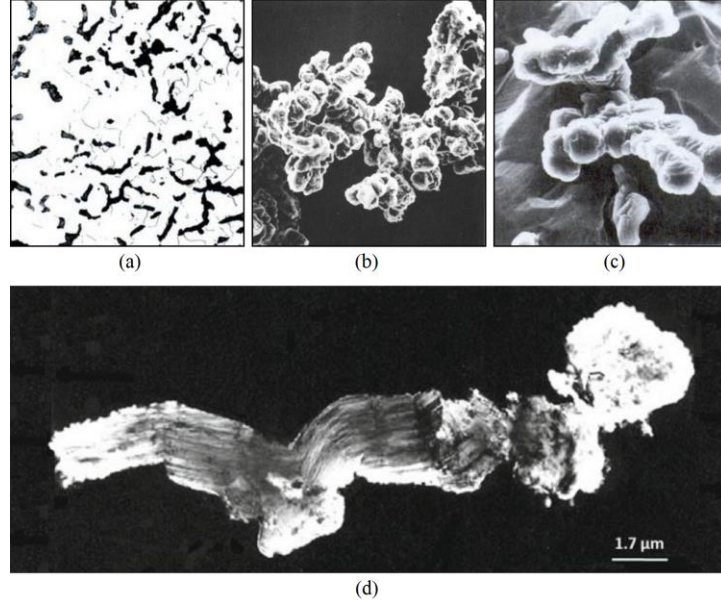


Şekil 2. Raylı araçlarda kullanılan fren diski malzemelerinin işletme hızlarına göre kullanımları [17].

Raylı araçlarda kullanılan fren diskleri genellikle lamel grafitli dökme demirden (LGDD) üretilmektedir. Bunun nedenleri yüksek termal iletkenlik, yüksek termal dağılma gücü, termal yüklerle direnç, düşük maliyet ve üretiminin basitliğine dayanmaktadır [2, 16, 18]. Bu fren disklerinin üretiminde kullanılan bir diğer dökme demir küresel grafitli dökme demirdir (KGDD). Bu malzemenin seçimi esas olarak LGDD'ye göre daha yüksek tokluk davranışına sahip olmasından kaynaklanmaktadır [4, 18]. Tokluk davranışı, özellikle raylı araçlarda kullanılan fren disklerinde, frenleme esnasında meydana gelebilen akma mukavemetine yakın termoelastik ve plastik gerilmeleri karşılamaya gereksinim duyulduğundan dolayı büyük önem taşımaktadır [4]. LGDD, KGDD ile karşılaştırıldığında daha büyük termal iletkenlik; daha düşük elastikiyet modülü özellikleri vermektedir. KGDD'nin düşük termal direncinden dolayı fren disklerinde kullanımının pek uygun olmadığı bilinmektedir [15].

LGDD ve KGDD'den üretilmiş raylı araçlarda kullanılan fren diskleri işletme şartlarında bir takım problemlerle karşılaşabilmektedir. Lamel grafitlinin kullanımında düşük tokluk özelliğinden dolayı fren diskinin sürtünme halkasında termal çatlaklar; küresel grafitlinin kullanımında ise düşük termal iletkenliğinden dolayı fren diskinde çarpılmalar meydana gelebilmektedir. Bu problemler yüksek hızlarla birlikte frenleme zarfında daha yüksek sıcaklıklara erişildiğinden dolayı daha kritik bir düzeye ulaşmaktadır. Bunlardan dolayı, raylı araçlarda mekanik ve termal özellikleri açısından LGDD ile KGDD'nin arasında yer alan vermiküler grafitli dökme demirden (VGDD) üretilmiş fren disklerinin kullanılacağı önerilmektedir. Bu doğrultuda çatlama ve çarpılma arasında iyi bir denge kurulabileceği düşünülmektedir.

Sıkıştırılmış grafitli dökme demir (Compacted Graphite Cast Iron - CGI) olarak da adlandırılan [19, 20] VGDD'ler, KGDD'lerin gelişimi sırasında ortaya çıkmıştır. Lamel ile küresel grafit arasında geçiş sayılabilecek bir grafit yapısına sahip olmaktadır. KGDD'lerin üretimi II. Dünya Savaşı'ndan sonra başarılı çıkışını sürdürürken, günümüzde yeni bir malzeme gelişimi olarak ortaya çıkan vermiküler grafit yapısı, küresel grafit üretiminde hep olumsuz ve istenmeyen bir grafit tipi olarak görülmüştür [21]. Şekil 3'de VGDD'nin mikro yapı görüntüleri görülmektedir.



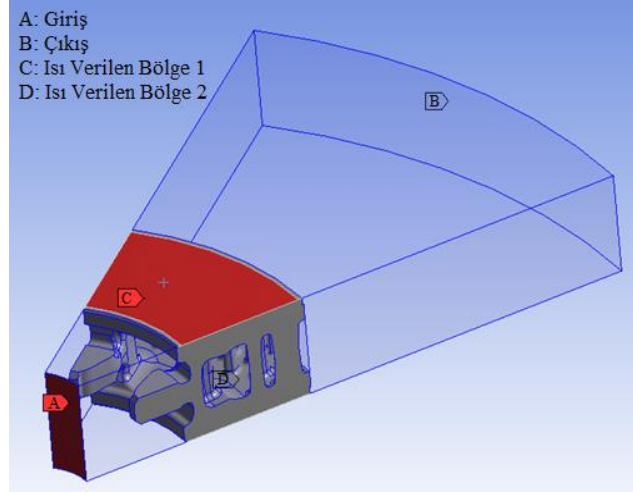
Şekil 3. VGDD'nin mikro yapı görüntüleri: (a) optik metal mikroskobu görüntüsü (100x), (b) taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope – SEM) derin dağlanmış görüntüsü (200x), (c) SEM derin dağlanmış görüntüsü (395x) ve (d) geçirimli elektron mikroskobu (transmission electron microscope – TEM) görüntüsü [19, 20, 22].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Frenleme Simülasyonu

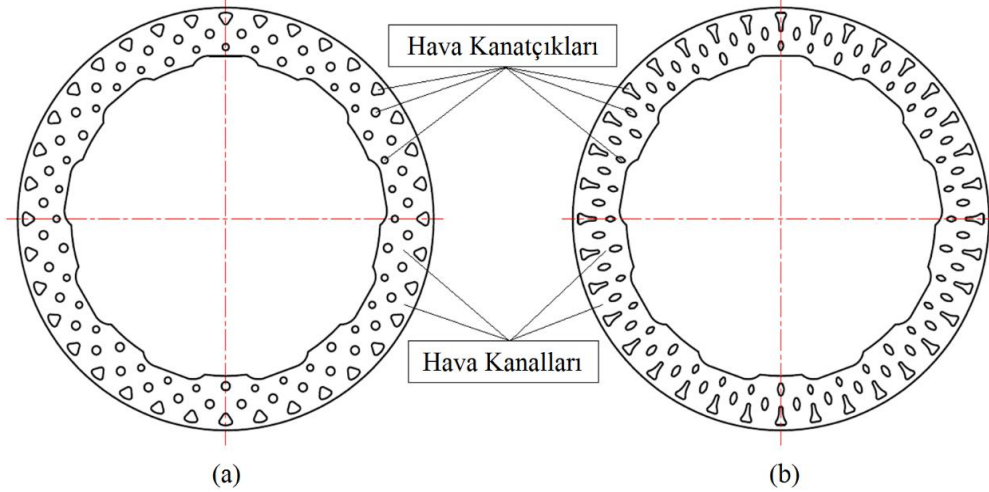
Frenleme simülasyonunun amacı iki farklı raylı araç fren diski havalandırma sistemi tasarımı kullanarak acil durum frenlemesi esnasında üretilen ısıdan kaynaklı fren diski sürtünme halkası yüzeyinde ve hava kanatçıklarındaki sıcaklık seviyeleri ve dağılımlarını araştırmaktır. Hava kanallarından geçen ısınan havanın akışını incelemektir. Bunlara göre, iki farklı fren diski havalandırma sistemi tasarımı arasında bir karşılaştırma yapılarak frenleme esnasında fren diskini soğutma etkinliği açısından optimum olanı belirlendi. Frenleme simülasyonu Ansys Fluent bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi.

Analiz geometrisinde varsayım yapılan model raylı araç fren diskinin 40°'lik dilimi esas alınarak hazırlandı. Bu modele göre balataların raylı araç fren diskiyle temas ettiği alanda yüzeysel ısı yük tanımlandı ve ısı transferinin tek yönlü (fren diski üzerinden) gerçekleştiği varsayıldı. Şekil 4'de, frenleme simülasyonunda uygulanan sınır şartları görülmektedir. Raylı araca acil durum frenlemesi uygulanarak hızı 250 km/h'dan 0 km/h'a düşürülerek tamamen durdurulduğu senaryo simüle edildi.



Şekil 4. Frenleme simülasyonu çalışmasında sınır şartları.

Frenleme simülasyonu çalışmasında, değişken parametre olarak iki farklı raylı araç fren diski havalandırma sistemi tasarımı kullanıldı. Şekil 5’de bu tasarımlar görülmektedir. Acil durum frenlemesi esnasında üretilen ısıdan kaynaklı fren diski sürtünme halkası yüzeyinde ve hava kanatçıklarındaki sıcaklık seviyeleri ve dağılımları araştırıldı. Hava kanallarından geçen ısınan havanın akışı incelendi. İki farklı fren diski havalandırma sistemi tasarımı arasında bir karşılaştırma yapılarak tasarımların fren diskini soğutma etkinlikleri irdelendi. Fren diski havalandırma sistemi tasarımları haricindeki tüm veriler sabit parametreler olarak kabul edilmiştir.

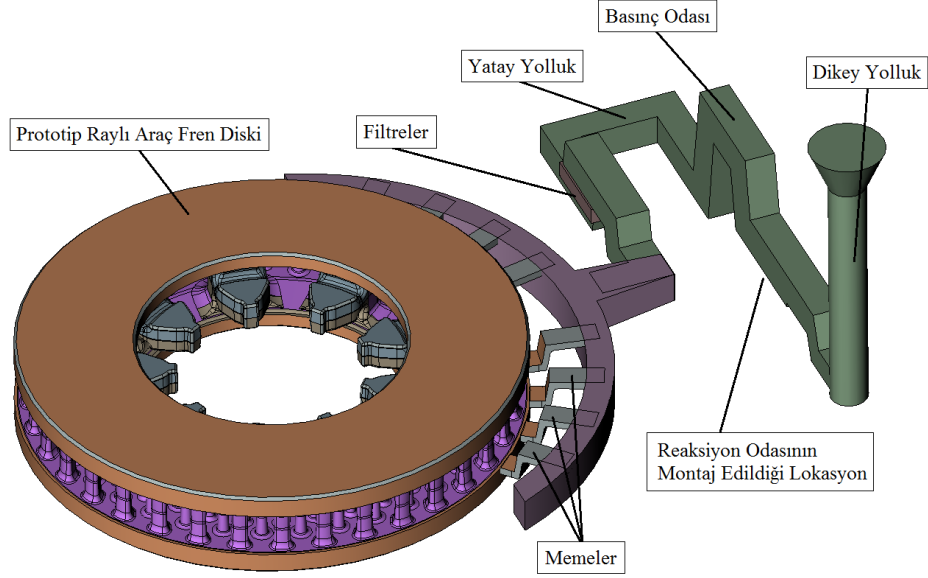


Şekil 5. Frenleme simülasyonu çalışmasında kullanılan iki farklı raylı araç fren diski havalandırma sistemi tasarımları: (a) tasarım A ve (b) tasarım B.

Şekil 5’deki tasarımlar oluşturulurken pazarda hâlihazırda bulunan fren disklerinin havalandırma sistem tasarımları ve literatürde bu konuda yapılan çalışmalar [10-13, 23-27] esas alındı. Tasarım A en dış sektöründe üçgen ve orta ile en iç sektöründe daire geometrik şekillere; tasarım B ise en dış sektöründe T ve orta ile en iç sektöründe elmas desenli geometrik şekillere sahip olmaktadır. Bunlar hibrid tasarımlar olup farklı geometrik şekillerin bir araya getirilmesiyle oluşturuldu. Geometrilere, toplam hava kanatçık yüzey alanı her iki tasarımda birbirine eşit olacak şekilde tasarlandı.

## 2.2 Döküm Prosesi

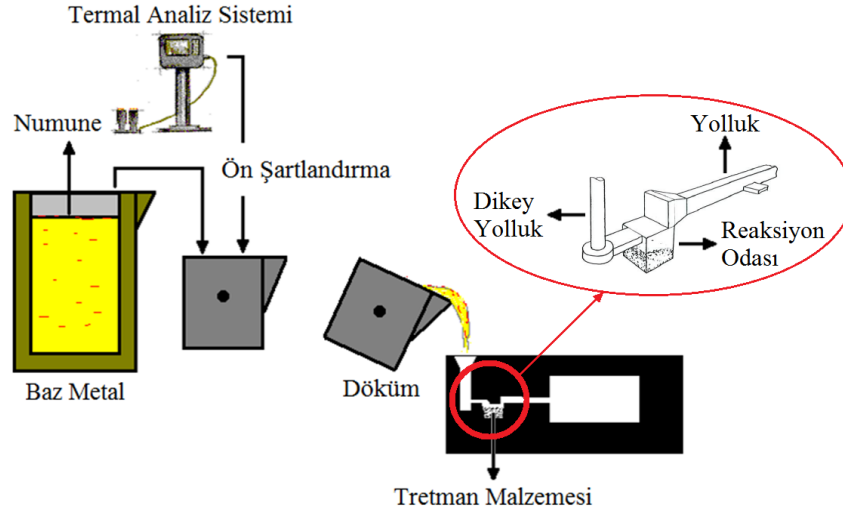
VGDD üretimi için kalıpta işlem tretman tekniği kullanıldı. Bu teknikte, tretman prosesi kalıpta gerçekleştirildiğinden [28] dolayı kalıba geometrik olarak form veren derecelerin plakalarına raylı araç fren diski kum kalıp modeli ve yolluk sistemi bağlandı. Şekil 6'da, raylı araç fren diski ve yolluk sistemi 3 boyutlu görsel olarak görülmektedir.



Şekil 6. Raylı araç fren diski ve yolluk sisteminin 3 boyutlu görseli.

Optimum tretman malzemesi miktarının belirlenmesi için bir deneysel çalışma yapıldı. Bu deneysel çalışma kapsamında, prototip VGDD raylı araç fren diski yoluyla birlikte döküldü. Kalıplamadan sonra alt ve üst kalıp dereceleri kapanmadan önce yolluk sistemindeki reaksiyon odasının içerisine tretman malzemesi yerleştirildi. Tretman malzemesi olarak Elkem firması tarafından üretilen ve ticari ismi Lamet 5504 Nodulariser olan malzeme kullanıldı. Aşı malzemesi olarak ise Ask Chemicals firması tarafından üretilen ve ticari ismi SB 5 olan aşı kullanıldı. Bu çalışmada, değişken olarak 1 adet parametre ve buna bağlı 3 adet seviye üzerinde çalışıldı. Parametre tretman malzemesi miktarıdır. Seviyeleri 390 g, 500 g ve 625 g'dir. Hedef değişken çekme mukavemetidir. 3 farklı miktarda tretman malzemesi kullanılarak tretman proseslerinin gerçekleştirilebilmesi için bu miktarların tam olarak (ağına kadar dolu) içerisine yerleştirilebildiği 3 farklı reaksiyon odası tasarlandı ve üretildi. Bu reaksiyon odaları şekilsel olarak benzer; bununla birlikte, boyutsal olarak farklı tasarlandı. Şekil 7'de, VGDD üretimi için kullanılan kalıpta işlem tretman prosesine ait şematik bir gösterim görülmektedir. Çizelge 1'de, VGDD raylı araç fren diskinin hedeflenen kimyasal kompozisyonu görülmektedir. Bu hedef kimyasal kompozisyon aralığında bir VGDD raylı araç fren diski dökmek için ergitme prosesinde sırasıyla aşağıdakiler yapıldı:

- Ocak pik, çelik, C ve ferro-alyajlarla şarj edilerek sıvı metal elde edildi.
- Sıvı metale harici olarak ocakta Cu ve potada Sn ilave edildi.
- Sıvı metale, ocaktan potaya alınırken aşı (SB 5) ilave edildi.
- Sıvı metal potadan kalıba dökülürken reaksiyon odasında bulunan tretman malzemesiyle (Lamet 5504 Nodulariser) tretman yapıldı.



Şekil 7. Kalıpta işlem tretman prosesiyle VGDD üretim şeması [29, 30].

Çizelge 1. Prototip VGDD raylı araç fren diskinin hedeflenen kimyasal kompozisyonu (%) [19, 31].

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	CE
3,1-4	1,7-3	0,1-0,6	<0,06	0,01-0,02	0,5-1	0,006-0,023	3,67-5,02

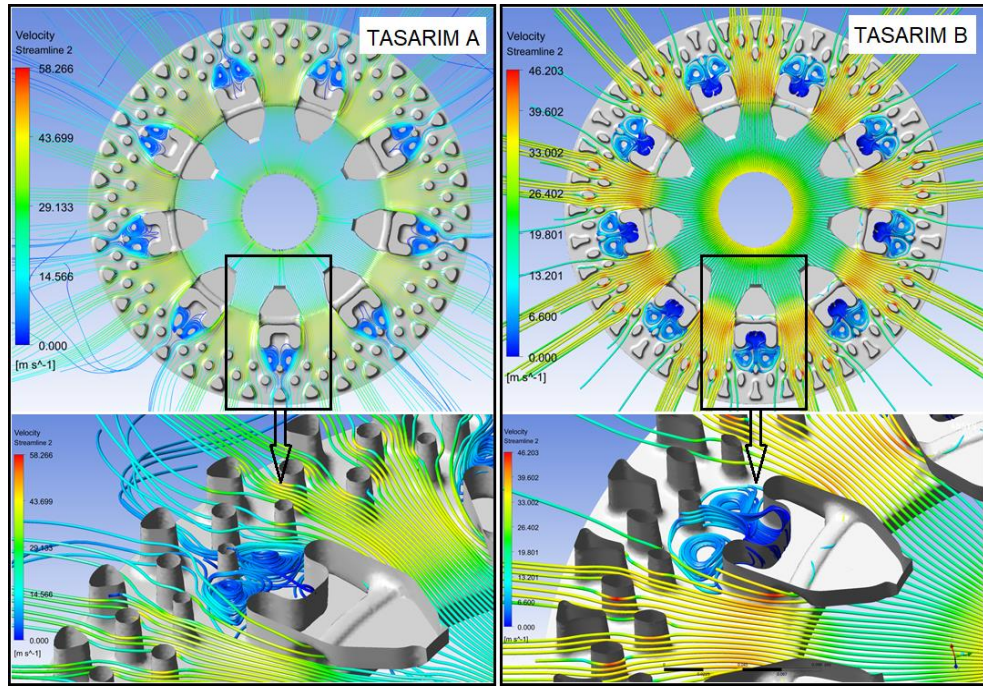
Çalışma kapsamında, her bir tretman malzemesi miktarından 3'er adet numune alınarak toplamda 9 adet VGDD raylı araç fren diskli dökülmüştür. Bu disklerin mikro yapı incelemesi ve çekme testi yapılmıştır. Bu incelemeler ve testlerden elde edilen veriler değerlendirilerek optimum tretman malzemesi miktarı belirlenmiştir. Burada, en yüksek çekme mukavemeti özelliğine sahip dökülmüş VGDD raylı araç fren diski hangi tretman malzemesi miktarıyla elde edilmişse o tretman malzemesi miktarı optimumdur. Hedeflenen bazı kriterler: Mikro yapı incelemeleri için perlit% oranı en az 90%; ferrit% oranı en fazla 10%; küresellik% değeri en fazla 20% olmalıdır. Çekme testleri için ise çekme mukavemeti değeri en az 450 MPa olmalıdır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Frenleme Simülasyonundan Elde Edilen Veriler

Acil durum frenlemesinde, prototip VGDD raylı araç fren diski sürtünme halkası yüzeyinde ulaşılan en yüksek sıcaklık seviyelerinin ve bu seviyelere ulaşma sürelerinin tasarım A ve tasarım B için eşdeğer olduğu tespit edilmiştir. Raylı araç fren diski sürtünme halkası yüzeyinde ulaşılan en yüksek sıcaklık seviyesi  $\sim 760 \text{ }^\circ\text{K} \sim 487 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık seviyesinde raylı araç fren diski malzemesinin iç yapısında faz dönüşümü meydana gelmediği düşünülmektedir. Frenlemenin sonunda, raylı araç fren diski hava kanatçıklarının simetri ekseninde ulaşılan sıcaklık seviyeleri ise tasarım A için  $\sim 390 \text{ }^\circ\text{K} \sim 117 \text{ }^\circ\text{C}$  ve tasarım B için  $\sim 415 \text{ }^\circ\text{K} \sim 142 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Raylı araç fren diski sürtünme halkası yüzeylerinde ulaşılan en yüksek sıcaklık seviyeleri eşdeğer olmasına rağmen hava kanatçıklarının simetri eksenlerinde ulaşılan sıcaklık seviyelerinde tasarım A'nın, tasarım B'ye göre  $\sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$  daha düşük olmasından dolayı tasarım A'nın havalandırma sistemi tasarımının sağladığı soğutma performansının tasarım B'den daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır [32].

Tasarım A ve tasarım B için, raylı araç fren diskiyle poyra arasındaki mekanik bağlantıyı sağlayan cıvata deliklerinin açılacağı bölgelerin hemen arkasındaki bölgede kalan hava kanallarında, hava akışının türbülans akım davranışı sergilediği gözlemlenmiştir [32]. Şekil 8'de, acil durum frenlemesi esnasında, tasarım A ve B'nin kullanıldığı VGDD raylı araç fren diski hava kanallarından geçen genel ve detay hava akışları görülmektedir.



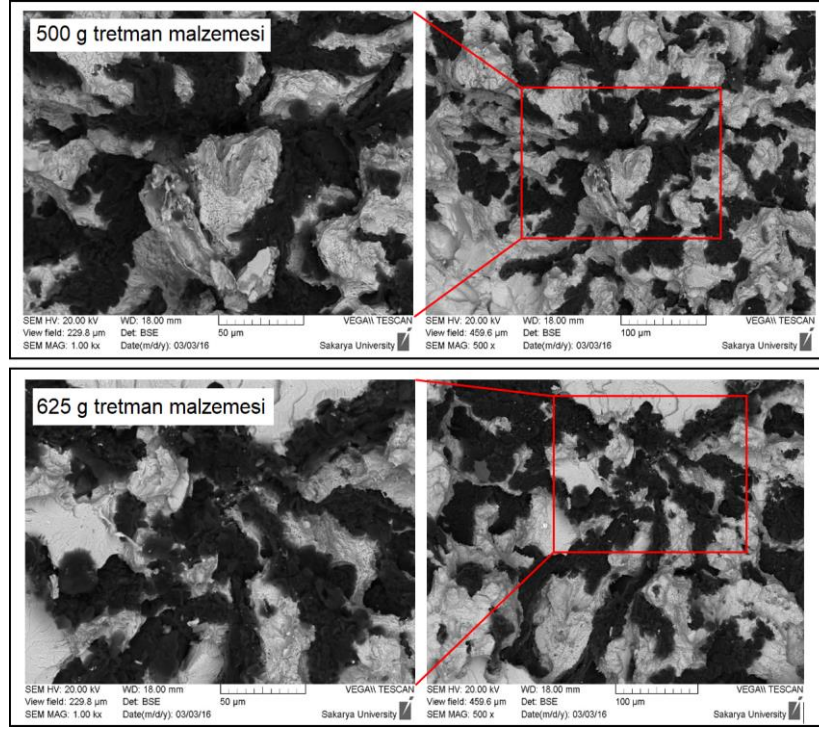
Şekil 8. Acil durum frenlemesi esnasında, tasarım A ve B'nin kullanıldığı VGDD raylı araç fren diski hava kanallarından geçen genel ve detay hava akışları [32].

Türbülansa giren hava akışının tasarım A'da hava kanallarının içinde hapsolmediği, ancak, tasarım B'de ise belirli bir miktar hapsediği görülmüştür. Tasarım B'de, hava kanallarındaki havanın raylı araç fren diskinin dışına doğru yeterli bir şekilde pompalanamaması, hava kanatçıklarının simetri eksenindeki sıcaklık seviyesinin tasarım A'ya göre daha yüksek olduğunun kanıtı olmaktadır [32].

### 3.2. Döküm Prosesinden Elde Edilen Veriler

Yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda 390 g tretman malzemesi kullanılarak dökülen VGDD raylı araç fren diklerinin perlit% oranı (89,1%), hedeflenen değerden (en az 90%) daha düşük gelmiştir. Bundan dolayı, bu tretman malzemesi miktarının optimum bir seviye olmadığı belirlenmiştir. 500 g ve 625 g tretman malzemesi miktarlarıyla dökülen VGDD raylı araç fren diskleri ise hedeflenen mikro yapı kriterlerini sağlamışlardır [32]. Şekil 9'da, bu disklerin taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope – SEM) kullanılarak elde edilen görüntüleri görülmektedir. Şekil 9'da görüldüğü üzere, mikro yapılarıdaki grafitlerin KGDD'deki gibi ayrı grafitler halinde değil; birbiriyle bağlantılı hücresel grafit yapısında, yani ötektik hücrelerle birleşmiş olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, yine bu mikro yapılarıdaki grafitlerin LGDD'deki gibi ince ve uçları keskin değil; daha kalın ve uçları yuvarlatılmış, yani yumru olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan dolayı, çalışma kapsamında üretilen prototip raylı araç fren disklerinin vermiküler grafit yapısına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 625 g tretman malzemesi miktarıyla dökülen numunelerin küresellik% değerlerinin 500 g'la dökülen numunelerden daha yüksek

olduğu tespit edilmiştir. Bu hususun, tretman malzemesi bir FeSiMg alaşımı olduğundan ve Mg elementinin de yapıdaki grafiti küreselleştirdiğinden dolayı daha yüksek değerde FeSiMg tretman malzemesiyle daha yüksek küresellik% değerlerine ulaşılabileceği savını destekler nitelikte olduğu düşünülmektedir [32].



Şekil 9. 500 g ve 625 g tretman malzemesi miktarlarıyla dökülen VGDD raylı araç fren disklerinin SEM görüntüleri [32].

500 g ve 625 g tretman malzemesi miktarlarıyla dökülen VGDD raylı araç fren disklerinin ortalama çekme mukavemeti değerleri, sırasıyla, 454,5 MPa ve 509,5 MPa'dır. Tretman malzemesi miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak çekme mukavemeti değerinin de bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Tretman malzemesinin kimyasal kompozisyonunda neredeyse 50%'ye yakın Si ve 1%'e yakın Al alaşım elementlerinin varlığı, sıvı metale daha fazla miktarda ilave edildikçe (500 g yerine 625 g) çekme mukavemetinde de arttırıcı yönde bir etki sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca, yine tretman malzemesinin kimyasal kompozisyonunda bulunan ~5% Mg alaşım elementinin varlığı yapıdaki grafiti yumrulaştırıcı etkisi olduğundan dolayı grafitlerin keskin uçlarının sebep olduğu çentik etkisini ortadan kaldırarak çekme mukavemeti değerini geliştirdiği düşünülmektedir [32].

#### 4. Sonuçlar

- Kalıpta işlem tretman tekniğiyle ISO 16112/JV/450 malzeme sınıfında prototip VGDD raylı araç fren diskleri başarıyla dökülmüştür.
- Tasarım A'nın raylı araç fren diskini soğutma etkinliğinin tasarım B'den 17,6% daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.



- Tretman malzemesi kullanım miktarı 500 g'den 625 g'ye arttırıldığında küresellik değerinde 148,3% ve ortalama çekme mukavemeti değerinde 10,7% artış meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Küresellik değeri arttıkça çekme mukavemeti değerinin de arttığı gözlemlenmiştir.
- 390 g tretman malzemesi kullanımında perlit miktarı hedeflenen değerden daha düşük elde edilmiştir. Bundan dolayı, VGDD'nin dökümünde bu miktar önerilmemiştir.
- VGDD raylı araç fren disklerinde etkin bir soğutma performansı ve daha iyi mekanik özelliklerin bir arada elde edilmesi istendiğinde, tasarım A ve 625 g tretman malzemesinin kullanılması önerilmiştir.

## Teşekkürler

Bu çalışma, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü tarafından Sanayi Tezleri (San-Tez) programı kapsamında desteklenen bir projenin muhtelif çıktılarına içermektedir. Çalışma kapsamında, döküm prosesleri EKV Fren ve Döküm Sanayi AŞ'de; test çalışmaları ise T.C. Sakarya Üniversitesi, Termal Sprey Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Adı geçen bu değerli kurumlara ve kuruluşla teşekkürü bir borç biliriz.

## Kaynaklar

- [1] Düzgün M., Yıldız Y., Soğutma Kanallı Fren Disklerinin Frenleme Kuvvetlerine ve Isı Değişimine Etkileri, V. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
- [2] Mackin T. J. Ve diğerleri, Thermal Cracking in Disc Brakes, Engineering Failure Analysis, 2002, 9(1), 63-76.
- [3] Goo B. C., Lim C. H., Thermal Fatigue Evaluation of Cast Iron Discs for Railway Vehicles, Procedia Engineering, 2010, 2(1), 679-685.
- [4] Samec B., Potrc I., Sraml M., Low Cycle Fatigue of Nodular Cast Iron Used for Railway Brake Disc, Engineering Failure Analysis, 2011, 18(6), 1424-1434.
- [5] Maluf O., Angeloni M., Milan M. T., Spinelli D., Bose Filho W. W., Development of Materials for Automotive Disc Brakes, Revista Minerva, 2007, 4(2), 149-158.
- [6] Panier S., Dufrenoy P., Weichert D., An Experimental Investigation of Hot Spots in Railway Disc Brakes, Wear, 2004, 256(7-8), 764-773.
- [7] Demir, A., Çavdar A., Kılıçaslan İ., Frenlemede Zayıflama Sınırının Tespiti ve İyileştirme Çalışmaları, 4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, Türkiye, 01-04 Haziran 2008.
- [8] Talati F., Jalalifar S., Investigation of Heat Transfer Phenomena in A Ventilated Disk Brake Rotor with Straight Radial Rounded Vanes, Journal of Applied Sciences, 2008, 8(20), 3583-3592.
- [9] Porkert J., Lotz W., Optimized Gray Cast Iron Plate Alloy for Utility Vehicle Brake Disks, 1999, US Patent No. 5894010 A, US Patent and Trademark Office.
- [10] Belhocine A., Bouchetara M., Thermal Behavior of Full and Ventilated Disc Brakes of Vehicles, Journal of Mechanical Science and Technology, 2012, 26(11), 3643-3652.

- [11]Belhocine A., Bouchetara M., Thermomechanical Behaviour of Dry Contacts in Disc Brake Rotor with A Grey Cast Iron Composition, Transactions of The Indian Institute of Metals, 2012, 65(3), 231-238.
- [12]Biondo S., Medici S., Ventilated Brake Disc, 2010, US Patent No. 20100084231 A1, US Patent and Trademark Office.
- [13]Chi Z., Naterer G., He Y., Effects of Brake Disc Geometrical Parameters and Configurations on Automotive Braking Thermal Performance, Transactions of The Canadian Society for Mechanical Engineering, 2008, 32(2), 313-324.
- [14]Wallis L., Leonardi E., Milton B., Joseph P., Air Flow and Heat Transfer in Ventilated Disc Brake Rotors with Diamond and Tear-Drop Pillars, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, 2010, 41(6-7), 643-655.
- [15]Cooper S., Iron Alloy Containing Molybdenum, 2006, US Patent No. 20060266447 A1, US Patent and Trademark Office.
- [16]Sakamoto H., Hirakawa K., Fracture Analysis and Material Improvement of Brake Discs, The Japan Society of Mechanical Engineers International Journal: Series A, 2005, 48(4), 458-464.
- [17]Knorr-Bremse, Brake Discs and Pads, Knorr-Bremse, [http://www.knorr-bremse.com/media/documents/railvehicles/product\\_broschures/brake\\_systems/Brake\\_Discs\\_Pads\\_P\\_1264\\_EN.pdf](http://www.knorr-bremse.com/media/documents/railvehicles/product_broschures/brake_systems/Brake_Discs_Pads_P_1264_EN.pdf), (Ziyaret tarihi: 23.03.2017).
- [18]Samec B., Oder G., Lerher T., Potrc I., Numerical Analysis of Railway Brake Disc, Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 2011, 16(2), 149-151.
- [19]Davis J. R., ASM Specialty Handbook Cast Irons, 1. Baskı, Amerikan Society for Metals International, Ohio, 1996.
- [20]Stefanescu D. M., Compacted Graphite Iron, Editors: ASM International Handbook Committee, ASM Handbook, Volume 01 - Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, 1. Baskı, Amerikan Society for Metals International, Ohio, 56-70, 1990.
- [21]Jonuleit M., Maschke W., Vermiküler Grafit Dökme Demir Üretimi (CGI), Türkdöküm, 2013, (26), 62-66.
- [22]Stefanescu D. M., Science and Engineering of Casting Solidification, 3. Baskı, Springer International Publishing, Cham, 2015.
- [23]Tironi G. M., Biondo S., Medici S., Donati M., Brake Disc Ventilated, 2014, US Patent No. 8733517 B2, US Patent and Trademark Office.
- [24]Tirovic M., Energy Thrift and Improved Performance Achieved Through Novel Railway Brake Discs, Applied Energy, 2009, 86(3), 317-324.
- [25]Biondi S., Donati M., Ventilated Brake Disc, 2010, US Patent No. 20100230221 A1, US Patent and Trademark Office.
- [26]Hulten J., Dagh I., Brake Disc for A Vehicle Disc Brake, 2006, US Patent No. 7097010 B1, US Patent and Trademark Office.
- [27]Kokott K., Nillert T., Internally Ventilated Brake Disc, 2011, US Patent No. 20110259684 A1, US Patent and Trademark Office.
- [28]Skaland T., Ductile Iron Production – A Comparison of Alternative Treatment Methods, 4. Asian Foundry Congress, Queensland, Avustralya, 27-31 Ekim 1996.

- [29]Sillen R., Persson P-E., Process Control Methods for Serial Production of CGI. Examples of Batch- and Inmold Treatment Methods”, World Conference on Compacted Graphite Iron, Ronneby, İsveç, 07-08 Haziran 2001.
- [30]Sillen R., Inmold Nodulization with Delayed Pouring in Vertically Parted Molds, American Foundry Society Transactions, 1979, 87, 191-194.
- [31]Guzik E., Kopycinski D., Kleingartner T., Sokolnicki M., The Structure and Mechanical Properties of Pearlitic-Ferritic Vermicular Cast Iron, Archives of Foundry Engineering, 2012, 12(1/2012), 33-36.
- [32]San-Tez Proje Teknik Sonuç Raporu, Raylı Araçlarda Kullanılan Fren Disklerinin Vermiküler Grafittli Dökme Demir Olarak Üretilmesi İle Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü, Proje Kodu: 0357.STZ.2013-2, Rapor Tarihi: 11.03.2016.

# YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU GEÇİŞ BÖLGELERİNDE ZEMİNE İLİŞKİN ÖNLEMLER

Zübeyde Öztürk<sup>1\*</sup> Onur Öztürk<sup>2\*</sup> Erkan Bozkurtoğlu<sup>3\*</sup>  
İTÜ İnşaat Fakültesi Ulaştırma, 34469, Ayazağa, İstanbul/ TÜRKİYE, ozturkzu@itu.du.tr  
İTÜ FBE, Jeoloji Mühendisliği, 34469, Ayazağa, İstanbul/ TÜRKİYE, [onur.ozturk@live.com](mailto:onur.ozturk@live.com)  
Jeoloji Mühendisliği, 34469, Ayazağa, İstanbul/ TÜRKİYE, [erkanbozkurtoglu@gmail.com](mailto:erkanbozkurtoglu@gmail.com)

## ÖZET

Balastlı üstyapının alternatifi olan rijit üstyapı, balast tabakası yerine daha az şekil değiştiren beton, betonarme ya da asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı bir demiryolu üstyapı türüdür. Bakım gerekliliği ve bakım maliyetinin balastlı üstyapıya göre oldukça düşük olması nedeniyle, giderek önem ve yaygınlık kazanmaktadır. Altyapıda zamanla oluşacak oturmalara karşı balastsız yolun adaptasyonunun oldukça az olması önemli bir dezavantajdır. Yüksek hızlı demiryolunda hız faktörü nedeniyle, altyapı kalitesi çok daha önemlidir. Balastlı hattan rijit hatta geçiş bölgeleri, demiryolu hattının düşey rijitliğinin birdenbire değişiklik gösterdiği bölgelerdir. Geçiş bölgeleri uygun düzenlenmezse, oldukça sık bakıma ihtiyaç duyulur. Yeterli bakım uygulanmadığı durumda da üstyapıda hasarlar ortaya çıkabilir. Balastsız demiryolu hatlarındaki altyapı rijitliğinin değişimi, düzgünce sertten yumuşağa doğru ya da yumuşaktan serte doğru farklı oturma davranışlarına ve rijitliklere uygun olarak değişmelidir. Rijitliği köprü gibi yüksek yapılar ile rijitliği düşük dolgu gibi yapılar arasındaki oturma farklılıkları özel geçiş alanları kullanılarak azaltılmalıdır. Bu nedenle köprü, viyadük, tünel gibi yapılar bir dolguda süreksizlik ortamı olarak tanımlanır. Hattaki rijit ve daha az rijit yapılar arasındaki taban zeminini iyileştirmek, düzgünleştirilmiş geçiş bölgesi için çok önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** Zemin Yapısı, Geçiş Bölgeleri, Zemin Düzenlemeleri.

## ABSTRACT

Rigid superstructure, which is an alternative to ballasted superstructure, is a type of railway superstructure used for transportation platforms made of concrete, reinforced concrete or asphalt instead of ballast layer. Maintenance necessity and maintenance costs are becoming increasingly important and prevalent due to their relatively low cost compared to ballasted superstructure. It is a significant disadvantage that adaptability of the non-ballasted way against the subsidence that will occur over time in the infrastructure is very low. Due to the speed factor in the high-speed railway, the quality of the infrastructure is much more important. The transition zones from ballasted line to rigid line are zones where vertical rigidity of the railway line suddenly changes. If the transition zones are not properly arranged, frequent maintenance is needed. Damage to the superstructure may also occur if adequate maintenance is not carried out. The variation of the rigidity of the infrastructures in railroad tracks without ballast should be changed according to the different subsidence behavior and rigidity changes from hard to soft or from soft to hard. The subsidence differences between high structures such as rigid bridges and structures such as rigidity and low fillings should be reduced using special transition areas. For this reason, structures such as bridges, viaducts and tunnels are defined as a medium of discontinuity in a fill. Improving the base ground between the rigid and less rigid structures is very important for the smooth transition zone. Special transitional arrangements are needed at every point where rigidity is discontinuous. Usually on high speed lines; it is necessary to arrange transition zones between soil structure-bridge, soil structure-tunnel or channel, soil structure-culvert. In order for the same subsidence behavior to take place in the bridge structure and in the construction of the ground works, both must have the same type of foundation. A measure should be developed that

reduces the rigidity difference between the lines found at the end of the concrete slab bottom surface and the foundation ground underneath the tunnels and ballast lines is built on the elastic layer. The study focuses on the different applications in the high-speed line infrastructure that can be done in the rigid structure/ground or ground/rigid structure transition areas for different types of grounds, and measures related to grounds that reduce the need for maintenance.

**Key words:** Ground Structure, Transition Zones, Ground Arrangements.

## 1. Giriş

Rijitliğin süreksizlik gösterdiği her noktada özel geçiş düzenlemelerine ihtiyaç vardır. Genellikle yüksek hızlı demiryoluna hizmet eden hatlarda; toprak yapısı-köprü, toprak yapısı-tünel ya da kanal, toprak yapısı-menfez arasında geçiş bölgeleri düzenlemek gerekir. Köprü yapısında ve toprak işleri yapısında aynı oturma davranışının gerçekleşmesi için, ikisinin de aynı tip temele sahip olması gerekir. Benzer şekilde tünel ile balastsız hattın altındaki temel tabanının elastik katman üzerine inşa edildiği ve beton plak alt yüzeyinin sonunda bulunan hatlar arasında rijitlik farkını azaltan bir önlem geliştirilmelidir.

Çalışmada, yüksek hızlı hat altyapısında değişik zemin türleri için rijit yapı/zemin ya da zemin/rijit yapı geçiş bölgelerinde zemin açısından yapılabilecek farklı uygulamalar ve bakım ihtiyacını azaltacak, zemine ilişkin önlemler üzerinde durulmaktadır [1-3].

Rijit üstyapı, balast tabakası yerine daha az şekil değiştiren beton, betonarme ya da asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı bir demiryolu üstyapı türüdür. Bakım gerekliliği ve bakım maliyetinin balastlı üstyapıya göre oldukça düşük olması nedeniyle giderek önem ve yaygınlık kazanmaktadır. Bu üstyapıda, ray ve travers arasında ve gerekirse travers altında elastik elemanlar ve ray-travers bağlantısı için elastik bağlantı elemanları kullanılarak yeterli elastiklik sağlanmaktadır. Beton veya betonarme üstyapı kullanımında derzsiz, yüzeysel derzli veya derzli gibi farklı taşıyıcı tabakalar oluşturulabilmektedir. Plak kalınlığı ve donatı tesbiti de uygulanan tabaka tipine göre değişmektedir. Betonarme tabaka, ısı yükleri ve büzülmelemlerden kaynaklanacak ilave gerilmelere dayanabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

## 2. Üstyapı Türünün Etkisi

Altyapıda zamanla oluşacak oturmalarla karşı balastsız yolun adaptasyonunun oldukça az olması önemli bir dezavantajdır. Bu yüzden geniş kapsamlı, zaman alıcı ve pahalı zemin iyileştirme çalışmaları gerekebilmektedir. Özellikle, yumuşak zemin üzerine ağır rijit üstyapıların inşa edilmesiyle birlikte yatak kapasitesinin iyileştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Klasik yaklaşımda, zayıf zeminin kumla değiştirilmesi söz konusudur. Ön yüklem yapılsa bile yapının ömrünün ilk kısımlarında büyük oturmalar meydana gelebilmektedir.

Geliştirilmiş polistren gibi ultra-hafif malzemelerin kullanılmasıyla "dengeli yapı" olarak adlandırılan yapıların elde edilmesi mümkün olmuştur. İnşa maliyetinin yüksek olması rijit üstyapının yaygın kullanımını engellemesine rağmen köprü, tünel gibi sanat yapılarında, kesitler küçüldüğü için ekonomik olmakta ve bazı önemli avantajlar sağlamaktadır. Betonarme üstyapıların, demiryolu türüne, uygulama yerine, ülke özelliklerine göre değişik döşeme şekilleri ve yapı tipleri bulunmaktadır. Sürekli, mesnetli, gömülü, döşeli, prefabrik, yerinde dökme beton, gibi uygulamalar traversli veya traverssiz olabilmektedir.

Demiryolunda altyapı kalitesi çok önemlidir. Altyapı zemini yetersiz ise, bunun üstüne daha iyi bir zemin tabakasının serilmesinde fayda vardır, bu tabakaya formasyon koruyucu tabaka denir, buna

yalnızca formasyon da denilmektedir. Yol eksenine dik yönde eğim verilmiş olan ve alt balast kotuna kadar gelen temel tabakasıdır. Altyapı ya da alt temel, eğim, hendek, şev ve beraberindeki yapılardan meydana gelir. Formasyon, yeterli dayanıklılık ve stabiliteye sahip olmalı, yağmur ve erimiş kara karşı iyi bir drenaj sağlamalıdır. Eğer mevcut zemin bunu sağlayamıyorsa, kazı yapılarak zemin iyileştirmesi yoluna gidilir. Bu tabaka taban zeminine göre daha fazla sıkışmış olmalıdır. Bu tabakanın yararlı olması için zeminin su içeriği az olmalıdır, aksi halde zemin formasyon tabakasının içine girer ve yanal eğim de bozulur.

Klasik demiryolu üstyapısı, balast yatağı içine hat çerçevesinin (ray, travers, bağlantı elemanından oluşan) yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Düşük inşa gideri, kısa yapım süresi, yapım hatalarını düzeltme imkanı, dever ve geometride değişiklik imkanları balastlı üstyapının çok önemli avantajlarıdır. Ancak balast yatağı demiryolu üstyapısının en zayıf elemanı durumundadır ve en yüksek bakım harcamalarını gerektirmektedir.

Yüksek hız demiryolu (YHD) hatlarında büyük hat kesimlerinin köprüler, viyadükler veya uzun tüneller içinde döşeniyor olması ve buralarda zaten uygun bir taşıyıcı kaplamanın bulunması, ayrıca daha küçük taşıyıcı sistem kesiti ve daha az tünel gabarisi gerektirmesi gibi nedenler de balast bakım maliyetine eklenince, yüksek hız hatlarının yapımı ve planlanmasında balast yatağı yerine beton tabaka veya plak gibi bir taşıyıcı konstrüksiyon kullanmayı teşvik etmiştir, [4 ,5].

Bakım işlerinin kentlerde mevcut trafikte yapılmasının, hem güç hem de çok masraflı olduğu, ayrıca trafiği aksattığı açıktır. Bundan dolayı genellikle hat bakım çalışmaları gece saatlerinde yapılmaktadır. Birçok demiryolu kurumunda gece bakım çalışma süresi 5 saat civarındadır. Bazı hatlarda gece de işletme seferleri yapıldığı için bakım süresi devamlı azalmaktadır. Yüksek hızlı hatlardaki deneyimler, balastlı hatların bakım ihtiyacının zaman ve maliyet açısından balastsız hatlara göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu nedenlerden, çok az bakım gerektiren balastsız hatlara talep giderek artmaktadır.

Mevcut demiryollarının çoğunda, balastlı üstyapı tipi vardır, ancak son zamanlarda balastsız üstyapı uygulamaları ağırlık kazanmaktadır. Balastsız hattın en önemli avantajı bakım ihtiyacının fazla olmaması ve bunun yanısıra üstyapı yüksekliği ile ağırlığının azalmasına bağlı olarak sağladığı kesit ve gabari azalmalarıdır. Daha küçük kesitli sanat yapıları ise, estetik görünüşün yanısıra inşa maliyetinde de önemli düşüş sağlamaktadır.

Ayrıca uygun balast malzemesinin bulunamaması, balast tozlarının çevreye yayılmasını önleme isteği, elektrikleirmede gabari açısından sağladığı avantaj, balast taneciklerinin araca ve üstyapıya çarparak zarar vermesi, balastta dever yüksekliğini muhafaza etmedeki sıkıntılar gibi nedenlerle de balastsız üstyapı tercih edilmektedir. Köprüler dahil toprak gövdede yeni yapılan ya da ıslah edilen hatlarda, tren hızları 200 km/saat ve üzerinde olan hatlarda veya trafiği çok yoğun hatlarda (80-100 tren/gün/yön) balastsız üstyapı uygulaması düşünülmelidir. Balastsız teknoloji, uzun vadede hat pozisyonunun değişmeyeceğini, yüksek hızlı trafikten kaynaklanacak büyük yükler altında dahi yüksek kalite, fonksiyonellik ve güvenlik düzeyini garanti eder. Balastsız hattın inşaatı esnasında (mm) mertebesinde titizlik gösterilmesi yüksek sürüş konfor düzeyinin ve daha az dinamik yük uygulanmasının temelini oluşturur.

Balastsız üstyapı uygulamasının servis ömrü balastlı hatta göre daha uzundur. Balastsız hat araçların 250 km/sa ve üzeri hızlarda emniyetle seyredebilmesine olanak verdiği gibi yüksek yanal direnç sağladığı için balastlı hatta göre daha büyük dever uygulama imkanı da sağlar. Alınan özel önlemlerle, trafik kaynaklı vibrasyon seviyesinin düşürülmesi ve bundan dolayı araca daha az kuvvetin etkimesi, daha az tekerlek yükü dalgalanmaları ise balastsız üstyapının diğer avantajlarındandır.

Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde avantajları nedeniyle balastsız hat benimsenmiştir. Balastsız hat özellikle tünellerde uygundur, çünkü tünellerdeki taban kaplamaları yeterli dayanıma sahip olduğundan, üstyapı taşıma tabakasının kalınlığı 15cm'ye kadar düşürülmektedir. Balastsız üstyapıda yapı yüksekliğinin az olması, tünel kesitini küçültür ve dolayısıyla yapım maliyetlerini azaltır. Daha alçak yapı yüksekliği nedeniyle de daha büyük bir açık hava profili elde edilir, yani özellikle iki tren karşılaştığında oluşan hava direnci büyük ölçüde azalabilir. Diğer avantajları balastlı hatlarda bakım sırasında tünel içinde oluşacak toz ve kirlenmeden kaçınılmış olması ve yüksek hızlı trenlerin altında oluşan girdap etkisiyle balast taşlarının yukarı savrulmasıyla taşıta çarpma tehlikesinin bulunmamasıdır.

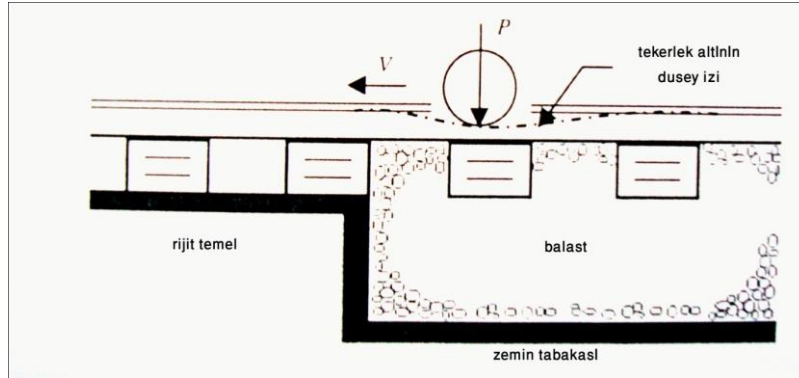
Aynı zamanda uzun tünellerin içinde, balastlı üstyapıda gerekli üstyapı bakım çalışmaları nedeniyle oluşan işletme engellemeleri ortadan kalmakta veya en alt seviyeye inmektedir.

Viyadük ve köprülerde, balasttan gelen yükün azalmasıyla daha ekonomik, daha ince, daha zarif bir görünüme sahip yapılar elde edilmektedir. Bu nedenlerle bu kesimlerde de balastsız üstyapı daha çok tercih edilmektedir.

Küçük yarıçap ve keskin eğimlerde balastsız hat teknolojisi, yüksek hızlı sistemler için güzergahın belirlenmesinde balastlı hatlara göre jeo-morfolojik açıdan daha fazla uyumluluk gösterir. Bu durum yapım maliyetinin düşmesinde oldukça etkilidir [6, 7].

### 3. Geçiş Bölgeleri Türleri Ve Y.H.D İçin Düzenlemeler

Geçiş bölgeleri demiryolu hattının düşey rijitliğinin birdenbire değişiklik gösterdiği bölgelerdir. Geçiş bölgelerinin sık bakıma ihtiyacı vardır. Eğer bu bakım uygulanmazsa, hasarlar ortaya çıkabilir. Bu olay balastın, traverslerin zarar görmesine, rayın kalıcı deformasyonuna, hat elemanlarının hasarlanmasına ve ekartmanın (hat genişliği) bozulmasına neden olabilir. Bu bozulmalar da derayman (raydan çıkma) için potansiyel risk yaratabilir, Şekil 1.



Şekil 1. Hat geçişinde köprü ayağı veya tünel sonu.

Balastsız demiryolu hatlarının altındaki altyapının rijitliğinin değişimi, düzgünce sertten yumuşağa doğru ya da yumuşaktan serte doğru olmalı, farklı oturma davranışlarına ve rijitliklere göre değişmelidir. Rijitliği köprü gibi yüksek yapılar ile rijitliği düşük dolgu gibi yapılar arasındaki oturma farklılıkları özel geçiş alanları kullanılarak azaltılmalıdır. Bu nedenle köprü gibi bir yapı bir dolguda süreksizlik olarak tanımlanır. Elastikiyet ve oturma devamsızlığın böyle noktalarında tamamen ayrılmaktadır. Bir köprünün oturması çoğu zaman kazık temelin rijitliğinden etkilenir, tahminen neredeyse sıfır ya da birkaç milimetredir (<2mm). Toprak işleri inşaatında ise bu değer 20 milimetreye kadar çıkar.

Hattaki rijit ve daha az rijit yapılar arasındaki taban zeminini iyileştirmek düzgünleştirilmiş geçiş alanı için çok önemlidir. Rijitliğin süreksizlik gösterdiği her noktada özel geçiş düzenlemelerine ihtiyaç vardır. Genellikle yüksek hızlı hatlardaki şu geçiş noktalarında:

-Toprak işleri inşaatı-köprü

- Toprak işleri inşaatı-tünel ya da kanal
- Toprak işleri inşaatı-menfez
- Farklı balatsız demiryolu hat kesimlerinde
- Balatsız hat–balastlı hatlarda

ya da bunların tersi sıralamalarda düzenlemeler ve iyileştirmeler gerekir.

Bu iyileştirmenin uzunluğu yapının, dolgunun ya da binanın yüksekliğinin (H) 4 katı olmalıdır, (4xH veya min 20m). Kırık düzlemlili düzenleme şekli taban zeminin özelliklerine göre değişir, (örneğin taban zeminin taşıma kapasitesine göre).

Geçiş alanları herbir çeşit yapı için farklı olarak dizayn edilir. Temel dizayn parametreleri kurumların düzenlemelerinde yazılmıştır, bununla birlikte oturma davranışları göz önüne alınarak boyutlar belirlenip, hesaplanır ve planlanır.

Başlıca geçiş bölgelerinin özellikleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır;

### **3.1 Toprak işleri –köprü geçişi**

Köprü yapısında ve toprak işleri yapısında aynı oturma davranışının gerçekleşmesi için ikisinin de aynı temele sahip olması gerekir. Mesnetin arkasındaki toprak kaması %3-5 oranında çimento karışımı içeriğinde düzenlenebilir. Dolgunun uzunluğu taban zeminine ve nasıl dizayn edildiğine göre değişir. Minimum uzunluk dolgu yüksekliğinin 4 katı ya da 20m den uzun olmalıdır.

### **3.2.Toprak işleri -tünel geçişi**

Burada farklı yapılar ile balastsız hattın altındaki temel tabanının elastik katman üzerine inşaa edildiği ve beton plaka alt yüzeyinin sonunda bulunan hatlar arasındaki rijitlik farkını azaltan bir önlem geliştirilebilir. Minimum uzunluk köpük plaka için 3.5 m olup, tünelin ya da kanalın direkt olarak plaka alt yüzeyine konumlandırılır. Taban zeminin durumu ve taşıma kapasitesinin değişimine göre topraktan ya da betondan bir yarma mantıklı olabilir. Eğer tünelin temeli ya da kanalın inşaatı çok rijit ise, kazık temelli betondan yapılmış bir geçiş alanı yararlıdır. Bütün boyutlar ölçüler mühendisler tarafından dizayn edilir, rijitliğin değiştiği her noktada oturmalar hesaplanır.

### **3.3. Diğer geçişler**

Birbirinden tamamen farklı hat yapıları arasındaki geçiş ‘balastlı hat ve balastsız hat’ hat sisteminin rijitliği ise çok düzgün olmalıdır. Geçiş alanı sönümlü oturma modeli kullanılarak dizayn edilmelidir. Geçiş alanları için fonksiyonel gereklilik şu önlemler ve elemanlar ile gerçekleşir: Balastlı hatlarda geçiş yüksek taşıma kapasiteli ve iyi oturma davranışı olan homojen taban zeminlerinde konumlandırılır. Farklı taşıma kapasiteli katmanlar arasındaki birleşim ankraj ve demir filizleri ile gerçekleştirilir.

Ray taşıma plaklı hattın (rijit hat) sonundaki hidrolik yapışık katmanın genişlemesi balastlı hat altındaki hat yapısını daha rijit hale getirmek için gereklidir. Balastın yapışması sağlanacaktır. Traversler



arasındaki maksimum uzaklık 60 cm olarak sınırlandırılmıştır. Balastlı hatlarda ray uzunluğuna ek ray (kontr ray) yapılması rijitliği artırır. Ayrıca diğer uygulamalar;

-Elastik özelliklerin eklenme noktalarına adapte edilmesi

-Rijit hatlarda eklenme noktalarında rijitliğin azalması

-Taban zeminindeki destek yapılarının adaptasyonu ve çimento ile iyileştirilmiş toprak kaması, %3-5 oranında çimento ile karıştırılmış tipik geri dolgu uygulaması,

-Dolgu menfezler.

Dolgu menfezlerin oturmada neredeyse hiçbir etkileri yoktur, (eğer bu beton yapılar rayın üstünün 3m altından daha fazla bir toprak dolguya konumlandırılmışlarsa). Toprak işleri inşaatında rijitliğin bozulmaması ve oturma rejimi için 2m.'den az köprü genişliği ve 2.30m fazla toprak kaplaması olan menfezler görev yapar. Dolgu ve boyuna gözlenebilir menfezler arasında önemli bir rijitlik farkı yoktur.

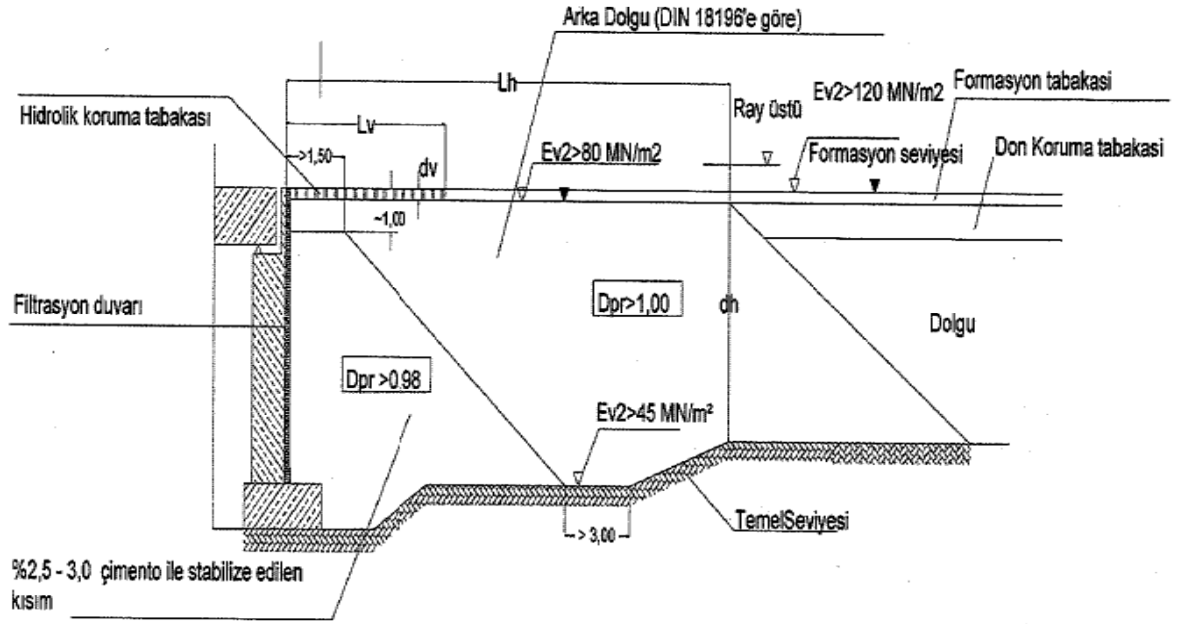
### 3.4. YHD da Balastlı Üstyapı-Balastsız Üstyapı Geçişleri

Balastsız üstyapının farklı altyapılar ve üstyapılar arasındaki geçiş bölgelerinde farklı elastik davranışlar ve çökmeler olmaktadır. Bundan dolayı geçiş bölgelerinde özel önlemler almak gerekir. Viyadük ile doğal zemin arasındaki geçiş bölgesinde uygulanması gereken kesitler farklı ülkeler için UIC 719 Standartında verilmiştir [8].

Alman Demiryollarına göre  $V > 160$  km/saat olan yeni hatlarda viyadük ile doğal zemin arasındaki geçiş bölgesinde alınması gereken önlemler Şekil 2'de ve bir yarmadaki viyadük geçiş bölgesi için gereken önlemler Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 2 ve 3'de gösterilen dolgu işleminin ölçüleri Çizelge 1'de farklı proje hızları için verilmiştir.

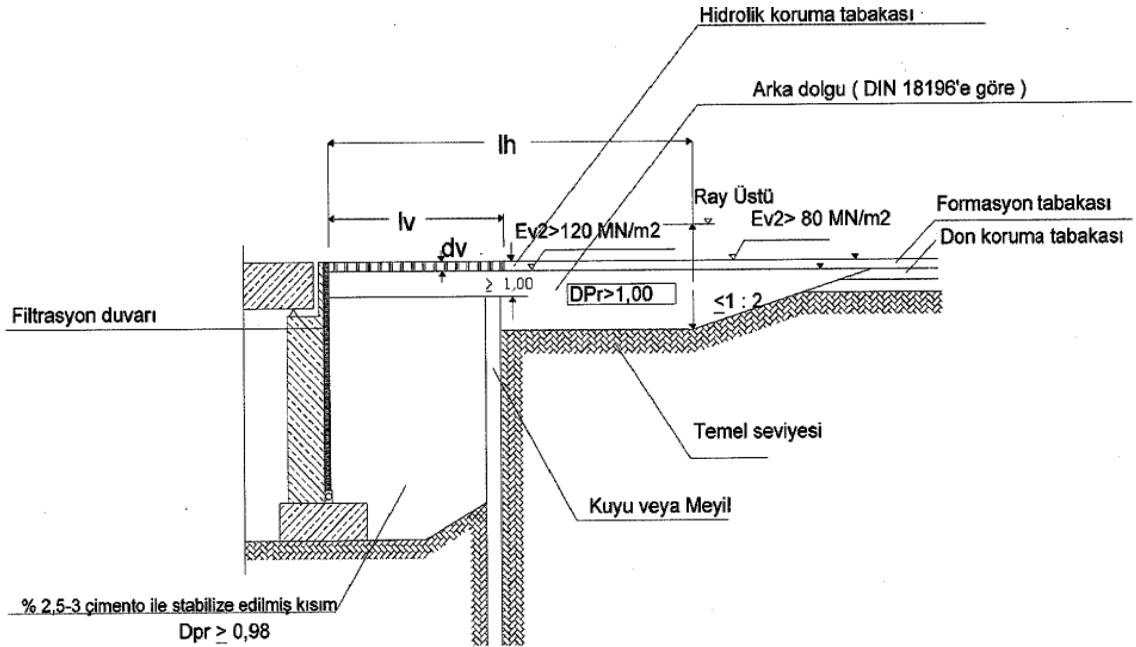
Çizelge 1. Viyadük geçiş bölgesi özellikleri

Proje hızı (km/saat)	Min. dh (m)	Min. Lh (m)	Min. Lv (m)	Min. dv (m)
$V \geq 250$	3	$\geq 20$	10	0.5
200-250	2.5	$\geq 15$	5	0.4
160-200	2.5	$\geq 20$	3	0.3
120-160	2.5	$\geq 10$	-	-
$\leq 120$	2	$\geq 5$	-	-



Şekil 2. Viyadük- doğal zemin (dolgu) geçiş bölgesi.

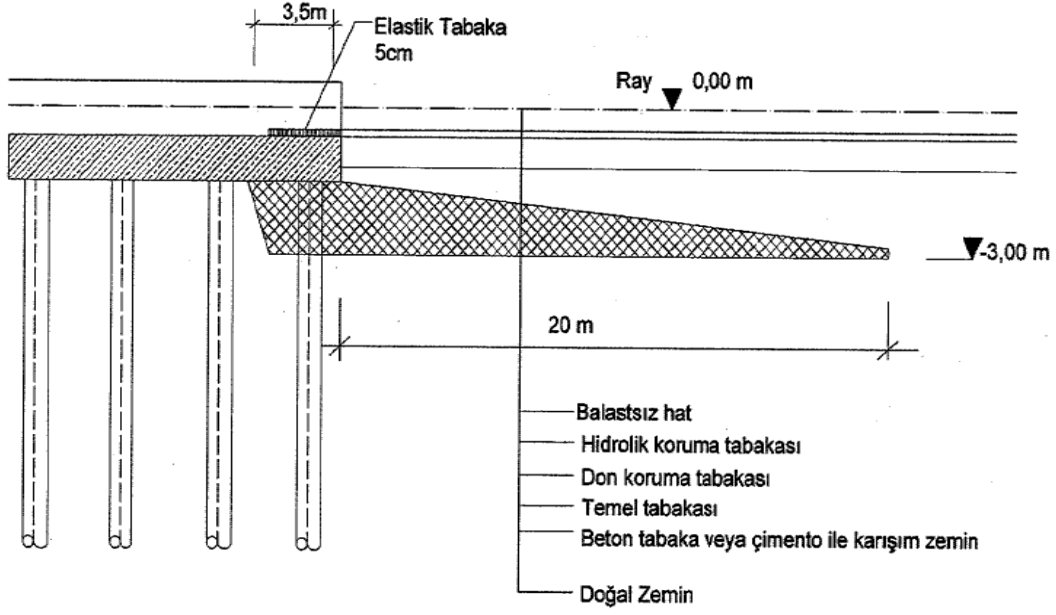
Viyadük girişlerindeki zemin %3-5 oranında çimento ile karıştırılmalıdır. İyileştirilen kısmın genişliği enaz 1.5m olmalı ve aşağıya doğru 1/1 eğimle devam etmelidir.



Şekil 3. Alman Demiryollarına göre yeni hatlarda viyadük- doğal zemin (yarma) geçiş bölgesi.

Alman Demiryollarına göre balastsız hatta doğal zemin ile tünel veya viyadük geçiş bölgesinde alınması gereken önlemler Şekil 4'de gösterilmiştir. Geçiş bölgesinde tünel beton tabakası altına 5cm

kalınlığında 3.5m boyunda poliüretan köpük plaka ilave edilir. Ayrıca tünel çıkışında 20m mesafe boyunca ray kotundan 3m altından başlayarak, kademeli olarak zemin çimento ile iyileştirilir.



Şekil 4. Balastlı hatlarda viyadük veya tünel girişinde geçiş bölgesi düzenlemesi.

Balastlı ve balastlı üstyapılarda köprü ve viyadükten toprak gövdeye geçişlerde arka dolgu sahasında zemin iyi sıkıştırılmadığından oturmalar fazla olur. Balastın 10-15mm kadar çökmesi nedeniyle bir kararsızlık oluşur ve bunun özellikle yüksek hızlı trenler geçtikten sonra sık sık tamirata gerekir. Buralarda elastiklik ve çökme için kademeli olarak geçiş bölgesi oluşturulur.

Dolguya geçiş varsa, çimento stabilizasyonu yapılabilir, ama yarmaya geçişte özel bir önleme gerek yoktur. Farklı üstyapılar arasındaki elastik davranış ve çökme değişimini kademeli olarak sağlamak için şu yöntemler uygulanabilir;

-Yaklaşık 20m uzunluk boyunca seyir raylarının iç yan taraflarına transverslere bağlanmış ek ray monte edilmesi,

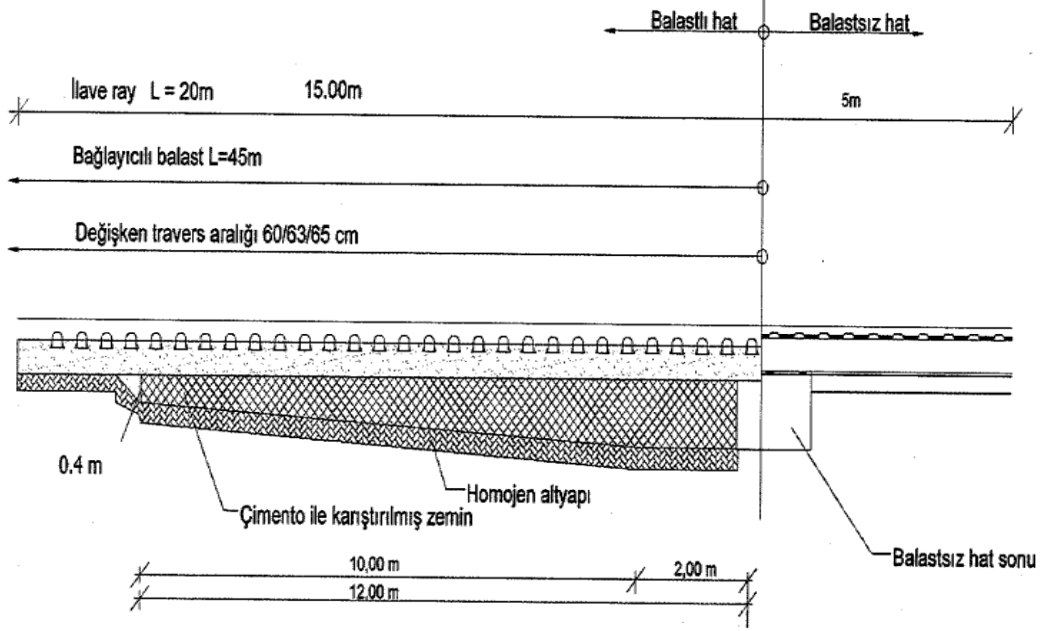
-Yaklaşık 45m uzunluk boyunca balastın elastiki bir bağlayıcı maddeyle tutturulması,

-Mesnetlerde elastiklikleri kademeli olarak değişen mesnet levhaların kullanılması, transvers aralığının kademeli olarak daraltılması,

-Balast tabakasının altına enaz 10m uzunluğunda eğimli olarak %3-5 oranında çimento ile bağlayıcı koruma tabakası yapılması,

-Tünel içine doğru yaklaşık 30m boyunca balastlı hattın uzatılması.

Şekil 5'de gösterilen bu yöntemlerle balastın oturmasıyla oluşan rampa eğimi küçültülmüş ve rampa boyu uzatılmış olur [5, 7] .



Şekil 5. Viyadük veya tünel girişinde balastlı ve balastsız hat geçiş bölgesi.

Bu önlemlerden gerçek duruma uygun olanı belirlenerek uygulanmalı ve ortaya çıkabilecek olumsuz durumlar baştan dikkate alınarak, uygun yapım tekniği kullanılmak suretiyle işletim aşamasında ortaya çıkacak ek bakım maliyetleri azaltılmalıdır. Ayrıca farklı oturmaların oluşturacağı konfor bozulmaları ve ilerlemesi durumunda meydana gelebilecek deraymanın da önüne geçilmiş olunacaktır.

### 3. Sonuçlar

Modern hatlarda rijit yol kısımları ile esnek yol kısımları arasındaki geçişin iyi düzenlenmesi ve kademeli rijitliğin oluşturulması çok önemlidir. Rijitlik farkı tünel, köprü, viyadük, menfez gibi mühendislik yapılarından toprak yol gövdesi üzerinde bulunan yol üstyapısına geçiş kısımlarında ya da tersi yol toprak gövdeli kısımdan rijit yapıların olduğu kısma geçişte meydana gelir. Ayrıca balastlı hattan balastsız hatta geçiş ya da balastsız hattan balastlıya geçiş bölgelerinde de rijitlik farkı oluşur. Bu tür geçiş bölgelerinde çok farklı önlemler almak mümkündür. Bu önlemlerden biri de zemin yapısını inceleyip, meydana gelebilecek oturmaları hesaplayıp, bunu önleyecek şekilde zeminde iyileştirme uygulamaktır. Çalışmada bunun uygulanması ile ilgili UICnin de önerilerine uyan detaylar verilmektedir.

### Kaynaklar

- [1] Briginshaw David, International Railway Journal (IRJ), Kasım, 2001,
- [2] VEIT W, Evaluation Model Optimises Track Renewal and Maintenance Strategies,

Railwaygazette, 155,648-650, 1999.

- [3] Eisenmann, J., Ballastless Track As An Alternative To Ballasted Track, Rail International, November, 19-27, 1995.
- [4] B. Berksoy, "Demiryollarında Balastsız Yollar", Yapı Merkezi, İstanbul, 1995,
- [5] C. Esveld, Modern Railway Track, Second Edition, Delft Univ. of Technology Netherlands, 2001,
- [6] B. Lichtberger, Track Compendium; Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics, Hamburg, Germany, ISBN 3-7771-0320-9, 2005.
- [7] Profillidis V. A. Railway Engineering, Ashgate Publishing Company, Brookfield, UK. 1995.
- [8] RTR Special, The German High Speed Rail System, March. 2008.

# THE FUTURE OF ACTIVE SUSPENSION APPLICATIONS FOR RAIL VEHICLES IN TURKEY

Yusuf Çatı<sup>1\*</sup>, Hakan Günel<sup>2</sup> and Mesut Düzgün<sup>3</sup>.

<sup>1\*</sup> Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi TCDD, Ankara, Turkey, yusufcati@outlook.com

<sup>1\*</sup> DB Engineering & Consulting GmbH, Berlin, Germany, ehgunel@hotmail.com

<sup>3</sup> Gazi University, Ankara, Turkey, mduzgun@gazi.edu.tr

## Abstract

In this study, regarding Turkey's objectives in railway area and national railway vehicle projects in the coming years, potential benefits of active suspension systems and necessary research topics to study are presented. Information on types of active suspension systems used in railway vehicles, their advantages against conventional suspension systems and their control mechanisms are given. In the current situation, there are different types of active suspension systems are being used in railway vehicles in the world. Information about in-operation railway vehicles, which uses active suspension systems, and their technologies are given. Additionally, studies aiming to improve the existing active suspension systems has been referred. Brief information about Turkey's current situation in railway track and national railway vehicle development projects as well as future plans are given.

**Keywords:** active suspension, rail vehicles, railway objectives

## 1. Introduction

As a type of transportation, railways have many advantages over other types of transportation systems. According to the UIC (International Railway Association), railways have the highest passenger carrying capacity per unit energy, and the accident rate is much lower than other modes of transport. In addition, the high speed train is the ideal mode of transport at distances of 400 to 800 km [1]. The concept of active suspension has begun to be investigated for railway vehicles since 70s [2]. At present, tilting train technology application of this concept is used by many railway operators in the world. These technologies have benefits such as shortening travel time, providing comfort at high speeds and reducing infrastructure costs. Regarding active suspensions, there are applications and academic studies in certain areas in Turkey, and Turkey has future railway infrastructure and railway vehicle targets. In view of these goals, it is obvious that the concept of active suspension can bring considerable benefits in terms of safety, comfort and life cycle cost. Basically, the dynamic behavior of a railway vehicle depends on the characteristics of the mass, spring and damper elements that form the suspension system and their geometric arrangement. When transducers, electronic controllers and actuators are added to the dynamic system, then the suspension system becomes active suspension. Thus, the behavior of the railway vehicle against track irregularity and other irregularities (curve, wind, etc.) can be compensated by the control law applied to the system [3]. In the active suspension system, the signals detected by the sensors are transmitted to the control unit then according to the applied control strategy, the controller processes these signals to enable the actuators to generate the required forces, Fig. Active suspensions are divided into two categories: full active and semi-active according to the type of control actuator. In the full active suspension, the required forces are applied independently of the movement of the damper element. In semi-active suspensions there is a damping system whose characteristic is controlled. The required forces are dependent on the speed of this damper and the performance of the semi-active suspension is limited because the system cannot apply external force [4]. However, it has simpler applicability than the active suspension and the operating cost is lower because it does not require additional energy source.

## 2. Definitions of Active Primary, Secondary and Tilting Technology System and Control Strategies

### 2.1 Active Primary Suspension

In active primary suspension or active steering system, the main purpose is to control the wheel set kinematics with the aid of vertical and horizontal components. Passive primary suspension increases wheel/rail wear and lateral forces by making it difficult for the wheels to roll around the vertical axes on the rails in the curved track when it is highly stiff. This leads to shortening of the maintenance intervals and a

significant increase in noise. On the other hand, when the primary suspension is soft, lateral oscillation occurs at high speeds due to the geometry of the wheel set and rail profile.

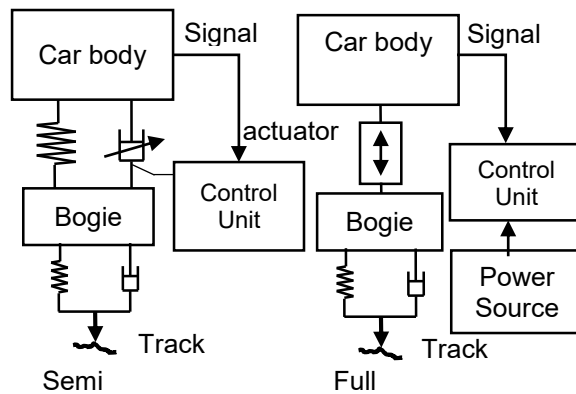


Figure 1. Full active and semi-active suspension systems [5]

This lateral oscillation is also referred to as kinematic oscillation, resulting in high lateral discomfort and serious risk of derailment. The active primary suspension provides solutions to these problems. The disadvantage is that the system is that it has more complicated design and the high energy demand [6]. The different active primary suspension configurations are given in Figure 2. The design shown in Figure 2.a) is intended to stabilize the system using a yaw actuator. In addition, this system also allows for a more comfortable curving. When using lateral actuators as in Figure 2. b), the aim is to keep the system stable, but the disadvantage of this design is that: Lateral actuator forces cause the discomfort at the same time [7]. In the independent rotating wheel set design shown in Figure 2.c), stable ride on straight track and easy curving ensured without the need for actuators by controlled differential torque of the motors embedded in the wheels on the same axle [8]. Figure 2. d) shows the direct steering wheel set. In this design there is no axle, instead the wheels are tied to the wheel and active control is achieved by applying lateral forces to the wheels via the traction rod [9]. All of these designs can work in conjunction with the passive system.

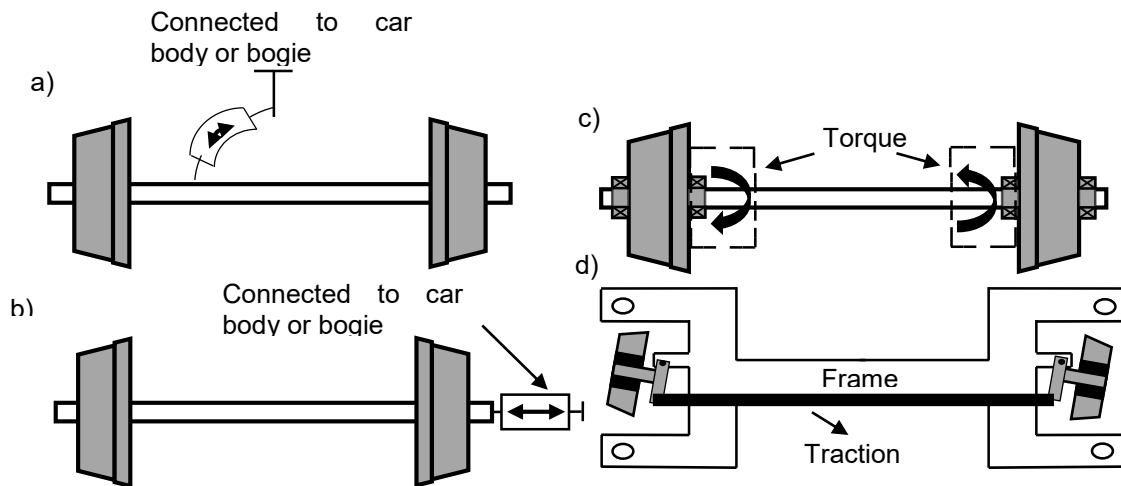


Figure 2. Various active primary suspension configurations [6]

## 2.2 Active Secondary Suspension

The active secondary suspension ensures that the vehicle body is well insulated against track irregularities by applying control to the secondary suspension. The active secondary suspensions provide an adaptive structure by overcoming the inherent design conflict between soft and stiff suspension of the passive secondary suspension. Depending on the different frequency ranges from the track irregularities, active control is applied to the secondary suspensions so that ride comfort can be kept at reasonable level at high speeds or high ride comfort level in bad quality track. Active secondary suspensions can completely replace the passive system as shown in Figure 3. a) It can work in parallel in conjunction with passive suspensions as in figure Figure 3. b). When the passive system is used in parallel with the active system, the

responsibility for supporting the mass of the vehicle and the horizontal forces in the curve is largely on passive component. When the active system is parallel to the spring as in Figure 3. c), it provides better control at high frequencies [5].

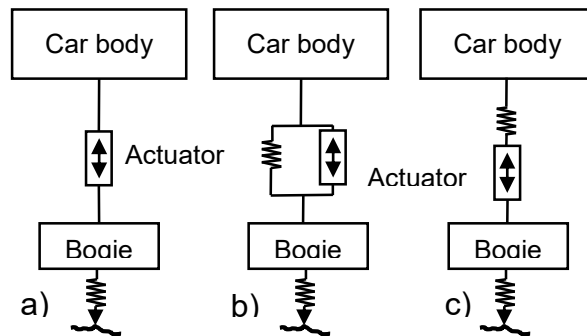


Figure 3. Active secondary suspension configurations [3]

Another active secondary suspension application is the hold-off (centering actuator) device. In existing system lateral displacement of the vehicle body increases with respect to the bogie during curving of at high speeds, and as a result, the contact of the body with the bumpstop occurs. That causes the loss of comfort. To prevent this situation, an active stopping buffer with varying position has been developed [10].

### 2.3 Tilting Body Technology

Tilting body technology is essentially a secondary suspension since that the control is concerned with the roll mode of vehicle; nonetheless, it is so extensive that it has its own title. Tilting body technology reduces lateral acceleration in the body by allowing the vehicle to incline on the inside of the curve during the curve passage. A disadvantage of this system is that when the lateral accelerations are completely compensated on curve then passengers feel motion sickness. There are some ongoing studies regarding this issue [11]. There are 3 different mechanical configurations in the application. These are through the secondary suspension, above the secondary suspension, and under the secondary suspension, see Figure 4. In the configuration along the secondary suspension, the active control for roll mode is applied to the existing secondary suspension to allow the vehicle body to incline inside of the curve. Above the secondary suspension system, secondary lateral suspension is used against lateral accelerations in the curve. Below the secondary sub-suspension system, the secondary slope under the tilting bolster is assembled with inclined swing links and cylinder elements to make the required inclination motion of the body [10].

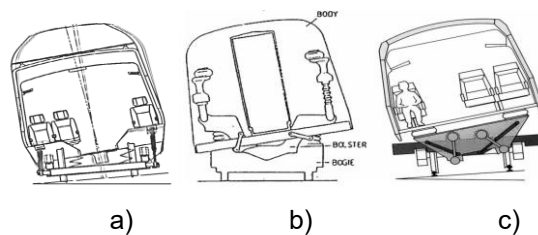


Figure 4. Tilting body configurations; through secondary suspension a), above b) and below c) [12]

### 3. CONTROL STRATEGIES FOR ACTIVE SUSPENSIONS

There are many studies in the literature that use many different methods for different species. Among the control strategies implemented in active primary suspensions followings are the mostly used: A simple feedback control system [7], which improves lateral stability and does not interfere with the quality of the curving. Modal control approach can be applied separately to the lateral and yawing modes of bogie using standard frequency domain techniques [13]. There are studies in which LQ / LQC optimum controllers are applied and the results are positive [14]. This strategy is also used in the secondary suspension. The primary and secondary suspensions are based on the robust  $H_\infty$  strategy. Sky-hook and low frequency band applications have resulted in successful results in secondary full-active and semi-active suspension [5].

### 4. APPLICATIONS IN THE WORLD

Some of the vehicles with active systems in the world have only one type of active system and some have multiple active systems. In this section, firstly samples with one type will be given and then samples with multiple types will be given. In the last part, studies that are carried out in different fields and existing



systems in Turkey will be given. Siemens Vectron locomotives can be shown as an example of a vehicle that has active primary suspension and used by railway operators, (Figure 5). The high-speed locomotive has an active yaw damper system. This system has reduced the wear between the rail and the wheel, thus increasing the wheel's life and curving performance of the vehicle. In straight lines, system acts as a passive damping system [14].

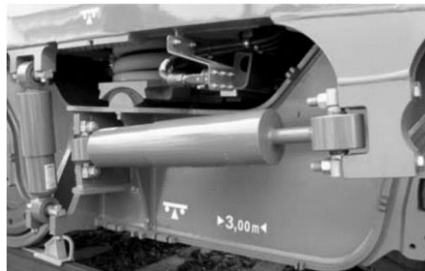


Figure 5. Active yaw damper in Siemens Vectron Locomotive [14] .

The steering system developed for the rear wheelset of the 1000 series subway vehicles that are used in subway lines in Japan. The system has been tested on commercial lines [15]. This system uses a traction rod like component that is placed between the axle box on the rear wheelset and the bogie frame (Figure 6 left). Tests showed that the amount of wear is reduced by half in the trailing wheels. Also decrease of lateral vibrations in the rails caused a lower radial force.

Active secondary lateral suspensions has shown 40-50% reduction in vibration levels in experimental rides in 70s in the UK [2]. With the sky-hook control strategy, Siemens has improved the ride quality by 15% using a semi-active system [16]. Spanish and British Pendolino trains use synchronized body centring body device and tilting body systems [17]. The use of full active secondary lateral suspension in the world for the first time started with the Japanese Shinkansen E2 and E3 trains. The system has the  $H_{\infty}$  control strategy and pneumatic actuators and has provided significant improvements in roll and yaw modes [18]. There are also active lateral suspension studies in Japan that do not require external power [19].

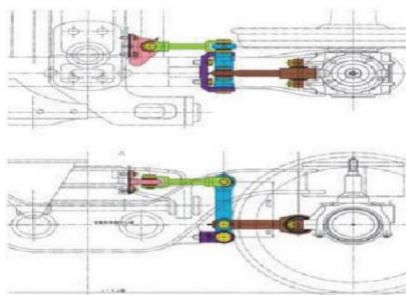


Figure 6. Left: steering system developed for subway vehicle [15], right: curving of Alstom Pendolino train set [25]

Air suspensions can be seen as a type of semi active secondary suspension with vertically self-leveling capability, and are recognized and practiced all over the world [17]. In the studies on reducing the imbalance of the wheel load, which is the disadvantage of the mechanical air suspension, advanced level control technology has been a significantly effective solution to this problem [20]. As stated above, research and experimental applications on tilting bodied trains began in the 70's [21]. However, the real milestone is the 90's with the procurement of tilting bodied trains for commercial operation. Sweden, Italy, Spain, Germany, Japan and later by Swiss railway operators started to utilize this technology. Operators use it as an accepted standard practice in the world. Nowadays more than 5,000 tilting trains are in operation. The compatibility rate of the tilting trains is high for the existing lines. These trains can be taken into operation without significant changes to the lines and can increase the current operating speed [22]. The most preferred system for tilting technology in recent times is the below secondary suspension configuration. Examples are X2000 (Bombardier) trains with servo-hydraulic actuators., Alstom Pendolino trains use above secondary suspension configuration with electromechanical actuators [23], (Figure 6 right). The tilting train configuration applied through the secondary suspension has not found much application area since that it needs too much air consumption from the compressor. However, an application in Japan solved this problem by using a hydraulically actuated pneumatic cylinder [24].

In addition, Alstom uses the coordinates of the train to send a warning signal to the tilting body control system before entering the curve, thereby increasing the performance of the tilting body system. Improvements have been made to this system in Japan [12]. In Japan, a control mechanism applied to the

primary suspension and air suspension of train which has travel speed of 300 km / h. It is observed that the system increased the comfort level significantly in the vertical and in the lateral directions [26]. N700 train series uses the semi-active lateral suspension system operated by Japanese Railways. In addition, by using existing air suspension, it is achieved that the vehicle body is tilted toward the center of the curve when curving. With the N700 series, the operating speed of 250 km/h has been increased to 270 km / h and at the same time the comfort level has been increased and the noise levels have been reduced [27]. In 2013, after implementation of the lateral electromechanical actuators that is developed for the Shinkansen E5 and E6, train series have reached the operating speed of 320 km/h. Tilting body technology is also used in the series [28]. The electromechanical actuator (EMA) used in the trains is shown in Figure 8.

A train with the vertical and lateral active suspension system that is developed by Sweden's KTH University and Bombardier has been tested and the test made in 2013 provided a 44% increase in ride comfort at 200 km/h [29]. After the mechatronic bogie development project initiated by Bombardier in 2001, the company started to produce the high-speed bogie Flexxtronic with Active Radial Steering System. Double-Deck trains with this bogie are used by the Swiss Railway Operator and by the Swedish Railway Operator [30]. The bogie has the wheel set with the electro-hydraulic actuator as the primary suspension and the tilting body system integrated with the active lateral secondary suspension. By using the active systems mentioned above, rolling surface fatigue cracks and rail-wheel wears are reduced, and noise generated in the curve passages is almost eliminated.

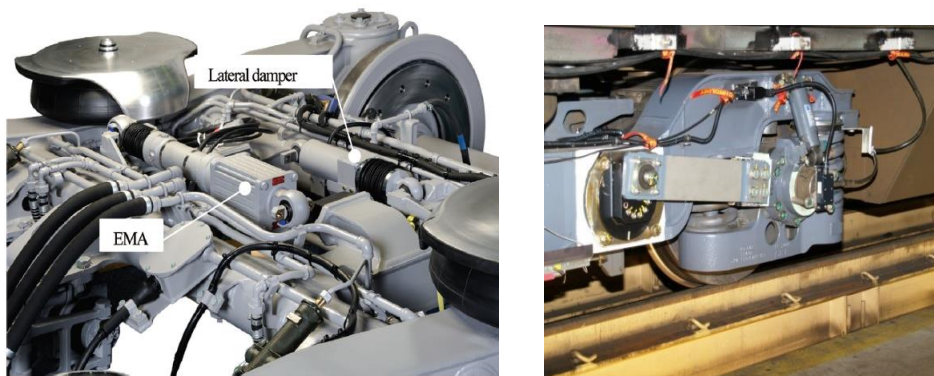


Figure 8. Left: Bogie of E5 series with electromechanical actuator [31], right: Bombardier's bogie with active steering system [30]

The active secondary suspensions mentioned in the previous paragraph are mountable to the Flexxtronic bogie. The train has good comfort values at high speeds with these suspension systems. Figure 9 shows the electromechanical actuator in the horizontal position, which applies the necessary forces between the axle box and the bogie frame of the Flexxtronic bogie through springs.

## 5. STATUS OF THE RAILWAYS IN TURKEY AND FUTURE PLANS

Table 1 shows the number of railway vehicles and types of vehicles in different categories that the Turkish State Railways currently owns. The type and length of the existing railway lines belonging to the Turkish State Railways, under construction and planned lines until the year 2023 are shown in Table 2 in accordance with Transportation Planning Strategy of Transport, Maritime and Communication Ministry. 34.2% of the conventional lines have curves that has less than 2000 m radius. According to the International Railway Association (UIC), in which Turkish State Railways is a member, the very high-speed train line is suitable for speeds of up to 250 km / h and higher. The high-speed train line is suitable for speeds up to 200 km / h and conventional line is suitable for speeds up to 160 km/h.

Again, in accordance with the Transportation Plan Strategy 2023 targets, it is planned to purchase train sets and locomotives of different types. Work on the provision of 20 sets of 106 high-speed train purchase for this purpose is ongoing. Tender work is continuing to supply 80 of these sets with 53% domestic participation rate and learning based technology transfer. And 16 of high-speed train sets are planned to be manufactured within the scope of the national high-speed train project. In addition, 213 locomotives will be procured from TÜLOMSAŞ (TCDD's Affiliate Company) in 2015.

Table 1. Number of vehicles of the TCDD

Type	Number
Diesel Main Line Locomotive	433
Electrical Main Line Locomotive	80
Shunting diesel Locomotive	106
HST Set	13
DMU Set	80
EMU Set	117
Passenger Car	916
Freight Car	18.881

Table 2. Lengths (km) of existing and future railway lines

Lines Line type	Existing		Total
	Existing	Under construction and planned	
Very high speed rail line	1213	3078	4291
High speed line	1019	12234	13253
Conventional line	11272	792	866

Work is continuing on the design and production of the 444 National EMU (Electric Multiple Unit) vehicles, which will be able to reach the speed up to 160 km/h by 2023. According to the Turkish Statistics Institute data, the share of railway in the current situation for passenger transport is 1.1% and for freight transport is 4.6%. The TCDD 2023 targets are to reach 15% for passenger transport and 20% for freight transport on-the-go carriage rates. Figure 10 shows the number of passengers carried in the past and for 2023 target. In accordance with these targets TCDD is planning to invest USD 55.3 billion in total until 2023. In the world, according to UIC data, an investment of 1 trillion US dollars is planned until 2023.

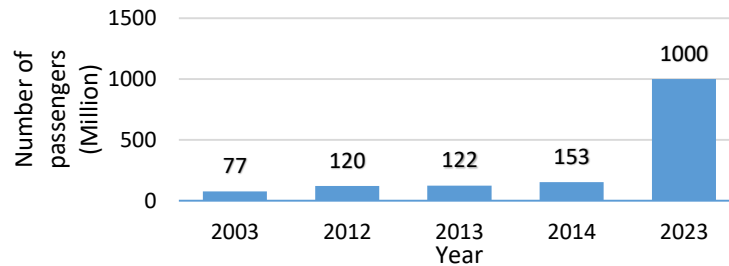


Figure 10. Changes in passenger transport rates by years

The transportation ratios of the two high-speed railway lines operating in Turkey are given in Table 3. When the high-speed train operation was started, the share of railway transportation on the existing railway line increased significantly.

Table 3. Railway transport shares before and after HST operation

Railway Lines	Share of Railway Before HST	Share of Railway After HST
Ankara-Eskişehir	8	72
Ankara-Konya	0	66

## 5.1 Active Suspension Applications and Studies in Turkey

In Turkey there are companies producing air suspension. Siemens and CAF sets also have air suspension with high-speed trains used in railway operation. In addition, EMU trains on some conventional lines and subway vehicles use air suspension. In a simulation study, PID and FLC control algorithms were applied to the secondary suspension of the half-rail vehicle model. At the speed of 140 km / h, in the case of using the actual line irregularities, they have succeeded to increase the vertical comfort level with respect to the vehicle with passive secondary suspension by significantly reducing vertical vibrations in the vehicle body [32]. In another simulation study, a model with 54 degrees of freedom rail was used. FLC and STFLC control algorithms were applied to the lateral and vertical actuators. The results were obtained in time and frequency domains. This study demonstrates that the STFLC control algorithm effectively improves vehicle comfort and safety [33]. In a simulation study using sliding modal control strategy, actuators were used in the secondary suspension on the rear and front of the vehicle. Study shows that the effect of vehicle body flexibility on ride comfort has been improved by reducing the vertical and angular vibrations [34]. Another study where adaptive PID and conventional PID control strategies are applied to the quarter-rail vehicle model in vertical direction. In this model the peak points in the frequency domain are significantly reduced

when compared to the uncontrolled system. Adaptive PID control has also provided superior vibration control in the time domain [35]. Delayed resonator which is a rather different method is used to eliminate vibrations in the vehicle's body. Firstly, the peak point in the frequency domain of the rail vehicle is detected and then the delayed resonator is provided to absorb this frequency. Moreover, the new method developed in the study has enabled the resonators to be more effective by targeting different frequencies. The root mean square of the vibrations were reduced by 24.21% with the conventional method and by 35.16% with the developed method [36].

## 6. Results

In Turkey, as the speed of railway operation increases, the share of railway transportation is also increasing. There are plans to increase the share of railway transport to 15% according to 2023 targets. In order to reach these targets, Turkey is planning large amounts of investments in the railway sector. Within these plans, the construction of new lines, design and manufacturing of national high-speed train, Electric Multiple Unit, diesel / electric locomotives and metro vehicles. In addition, TCDD has the goal of learning-based technology transfer in the process of procurement of new high-speed trains.

Active primary suspension system of which advantages are given in this study is being used in locomotives with heavy axle load, high speed trains (operated in lines that have curve sections) and underground vehicles. Additionally, the researches on the subject are still going on. The tilting body system is a mature technology and is used by many railway transport operators and work on motion sickness is ongoing. Active secondary suspension system which has high speed and ride comfort advantages is used in some high speed trains and locomotives in the world. Investigations are underway to reduce energy consumption. In Turkey there is no active primary suspension and tilting train system application. For the active secondary suspension type, only air suspension is used in operation.

In the light of these information and because of the present study, followings are the research needs;

- Research on the application of active primary and secondary lateral-vertical suspension in high-speed trains,
- Research on active primary suspension technology in urban and subway trains which is operated on tight curve lines and next-generation locomotives,
- Investigations on Electric Multiple Unit (EMU), horizontal trunk and active centering technology to be used in conventional lines with curves in a significant part of TCDD.

Railway Research and Technology Center (DATEM) the R & D unit of the TCDD is suggested to work on these needs mentioned above for LCC, ride stability and ride comfort issues.

## REFERENCES

- [1] J. Smith, "High-speed rail: Why, When and How the Signals Line up," *PWC Gridlines*, pp. 2–11, 2011.
- [2] R. M. GOODALL, R. A. WILLIAMS, A. LAWTON, and P. R. HARBOROUGH, "Railway Vehicle Active Suspensions in Theory and Practice," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 10, no. 2–3, pp. 210–215, Sep. 1981.
- [3] R. Goodall, "Active Railway Suspensions: Implementation Status and Technological Trends," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 28, no. 2–3, pp. 87–117, 1997.
- [4] H. R. O'Neill and G. D. Wale, "Semi-active suspension improves rail vehicle ride," *Comput. Control Eng. J.*, vol. 5, no. 4, pp. 183–188, Aug. 1994.
- [5] S. Iwnicki and T. Dahlberg, *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*. Boca Raton, 2006.
- [6] T. X. Mei, "Recent development in active steering of railway vehicles," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 39, no. 6, pp. 415–436, 2003.
- [7] R. M. Goodall and H. Li, "Solid Axle and Independently-Rotating Railway Wheelsets – A Control Engineering Assessment," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 33, pp. 57–67, 2000.
- [8] M. Gretzschel and L. Bose, "A Mechatronic Approach for Active Influence on Railway Vehicle Running Behaviour," in *16th IAVSD Symposium Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*, 1999.
- [9] A. . Wickens, "Dynamic Stability of Articulated and Steered Railway Vehicles Guided by Lateral Displacement Feedback," in *13th IAVSD Symposium*, 1993.
- [10] R. Zhou, A. Zolotas, and R. Goodall, "Integrated tilt with active lateral secondary suspension control for high speed railway vehicles," *Mechatronics*, vol. 21, no. 6, pp. 1108–1122, 2011.
- [11] B. Cohen, M. Dai, D. Ogorodnikov, J. Laurens, T. Raphan, P. Müller, A. Athanasios, J. Edmaier, T. Grossenbacher, K. Stadtmüller, U. Brugger, G. Hauser, and D. Straumann, "Motion sickness on tilting trains.," *FASEB J.*, vol. 25, no. 11, pp. 3765–74, Nov. 2011.

- [12] R. Persson, R. M. Goodall, and K. Sasaki, "Carbody tilting – technologies and benefits," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 47, no. 8, pp. 949–981, Aug. 2009.
- [13] T. X. Mei and R. Goodall, "Modal Control for Active Steering of Railway Vehicles With Solid Axle Wheelsets," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 34, no. 1, pp. 25–41, 2000.
- [14] T. Michálek and J. Zelenka, "Reduction of lateral forces between the railway vehicle and the track in small-radius curves by means of active elements," *Appl. Comput. Mech.*, vol. 5, no. 2, pp. 187–196, Dec. 2011.
- [15] Y. Shimokawa and M. Mizuno, "Development of the New Concept Steering Bogie," 2013.
- [16] A. STRIBERSKY, A. KIENBERGER, G. WAGNER, and H. MÜLLER, "Design and Evaluation of a Semi-Active Damping System for Rail Vehicles," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 29, no. sup1, pp. 669–681, Jan. 1998.
- [17] S. Bruni, R. Goodall, T. X. Mei, and H. Tsunashima, "Control and monitoring for railway vehicle dynamics," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 45, no. 7–8, pp. 743–779, 2007.
- [18] M. Tahara, K. Watanebe, T. Endo, O. Goto, S. Negoro, and S. Koizumi, "Practical use of an active suspension system for railway vehicles," in *International Symposium on Speed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems*, 2003, pp. 225–228.
- [19] P. Wang, T. Mei, J. Zhang, and H. Li, "Self-powered Active Lateral Secondary Suspension for Railway Vehicles," *Veh. Technol. IEEE Trans.*, vol. PP, no. 99, p. 1, 2015.
- [20] Y. Suda, W. Wang, H. Komine, Y. Sato, T. Nakai, and ShimokawaY, "Study on control of air suspension for rail vehicle to prevent wheel load reduction at low-speed transition curve negotiation," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 44 (Suppl), pp. 814–822, 2006.
- [21] D. Boocock and B. L. King, "The Development of the Prototype Advanced Passenger Train," *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 196, no. 1, pp. 35–46, Jun. 1982.
- [22] R. Persson, "Tilting trains – Description and analysis of the present situation. A literature study," 2007.
- [23] G. Hauser, "Alstom's Tiltronix anticipative tilt control," *Le Rail*, p. no:129, 2006.
- [24] H. Higaki, S. Fujimori, Y. Horike, T. Yasui, S. Koyanagi, I. Okamoto, and K. Terada, "an Active Pneumatic Tilting System for Railway Cars," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 20, no. sup1, pp. 254–268, 1992.
- [25] "Virgin Awarded West Coast Main Line Franchise Extension to the End of 2012," *Rail News*, 2011. [Online]. Available: <http://www.rail.co.uk/rail-news/2011/virgin-awarded-extension-to-end-of-2012/>.
- [26] Y. Sugahara, A. Kazato, R. Koganei, M. Sampei, and S. Nakaura, "Suppression of vertical bending and rigid-body-mode vibration in railway vehicle car body by primary and secondary suspension control: results of simulations and running tests using Shinkansen vehicle," in *Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2009, vol. 223, no. 6, pp. 2–8.
- [27] M. Ueno, S. Usui, H. Tanaka, and A. Watanebe, "Technological overview of the next generation Shinkansen high-speed train Series N700," in *World Congress on Rail Research*, 2008.
- [28] S. Koizumi, "Advance in Railway Vehicle Technology and Future Prospects Mainly in Relation to Bogie," 2013.
- [29] A. Qazizadeh, R. Persson, and S. Stichel, "Preparation and Execution of On-track Tests with Active Vertical Secondary Suspension," *Int. J. Railw. Technol.*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [30] R. Schneider, "Combining capacity with track-friendly technology: FLEXX Tronic WAKO and ARS from Bombardier," *European Railway Review*, 2010.
- [31] O. Goto, "Development of Active Suspension System with Electromechanical Actuators for Railway Vehicles," 2013.
- [32] M. Metin and R. Guclu, "Active vibration control with comparative algorithms of half rail vehicle model under various track irregularities," *J. Vib. Control*, vol. 17, no. 10, pp. 1525–1539, 2011.
- [33] S. Sezer, S. Cetin, and A. E. Atalay, "Application of Self Tuning Fuzzy Logic Control to Full Railway Vehicle Model," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 6, pp. 487–492, 2011.
- [34] N. Yagiz and A. Gursel, "Active suspension control of a railway vehicle with a flexible body," *Int. J. Veh. Auton. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 80–95, 2005.
- [35] M. Metin and R. Guclu, "Rail Vehicle Vibrations Control Using Parameters Adaptive PID Controller," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2014, 2014.
- [36] O. Eris and A. F. Ergenc, "A Modified Delayed Resonator for Active Suspension Systems of Railway Vehicles," *Proc. IFAC TDS 2015*, vol. 1, no. 2, pp. 281–285, 2015.

# INNOVATIVE ROLLING STOCK SYSTEMS

Omur AKBAYIR<sup>1\*</sup>, Mine SERTSOZ<sup>1</sup>, Zafer Huseyin ERGAN<sup>1</sup> and Mehmet Mete OZTURK<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Vocational School of Transportation, Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey

\*omurakbayir@anadolu.edu.tr

## Abstract

Rolling stocks should meet the requirements of today's transportation needs since it changes so fast as regard to the developing technology and increasing demand for the mobility. The developments in railway system technology is presented in this study to provide some information about the recent ones such as fuel cell powered railway vehicle, maglev, double deck high speed train and projected ones such as Hyperloop that could be used in the future. The ultimate purpose of the communication is to bring the innovative railway technology either recent ones or projected ones as a whole to provide a better perspective to reader.

**Keywords:** Hyperloop, maglev, fuel cell, lightweight, double deck

## 1. Introduction

The railway transportation grows rapidly in last decades as in the other transportation modes. The development mostly relies on today's transportation needs such as quicker, safer and more passenger transportation simultaneously. These are the unavoidable consequences of this era since more people are mobile and traveling around the world either for touristic or business purposes. The manufacturers and researchers are trying to achieve this endless demand by releasing new models. Even though the emerging railway vehicles are barely meeting today's requirements, the new and higher demands are on the way and waiting to be resolved.

In this particular communication, the new technologies and systems, which are in use in the railway transportation, are tried to be summarized and some projected ones are introduced in order to provide useful information for the ones who aren't aware of them and who are newly interested in this transportation mode.

## 2. Future Innovative Rolling Stock Systems

Following rolling stock systems is under development and will be operated widely in the future.

### 2.1. Hyperloop

Hyperloop is one of the innovative systems in railroad industry that is proposed by the researchers first in 2012. The creator of the concept is known as ELON MUSK who is also the founder of SpaceX (in business with the space travel and colonization in space) and cofounder of Tesla (one of the best-known electric car company around the world).

The hyperloop concept is based on the travel of the encapsulated vehicles along the reduced pressure tubes by air compressors as in pneumatic tube systems used at the hospitals. The basic idea of the system is to overcome friction losses, which arises due to the road, and air resistance during the travel of the vehicle. In order to achieve this, the proposed concept incorporates a capsule and a steel tube where a partial vacuum ambient is obtained [1].

Table 1. The comparison of the travel speeds of the transportation modes [2]

Transportation mode	Max. speed (km/h)
Hyperloop	1220
Airplane	800
Train	320
Car	80

In addition, with regard to the preliminary results obtained from the tests, the comparison of the travel speeds of the recent technologies in conventional transportation modes and hyperloop is given in Table1, as it could be seen; the speedy one is latest mode, which is proposed recently. As a cautionary note it could be better to underline that, the given speed is not tested so far, it is just predicted bases on the data logged during the tests for the present models (prototype) [2].

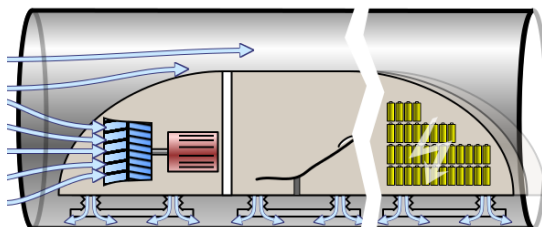


Figure 1. The schematic of the initial design of the hyperloop [1]

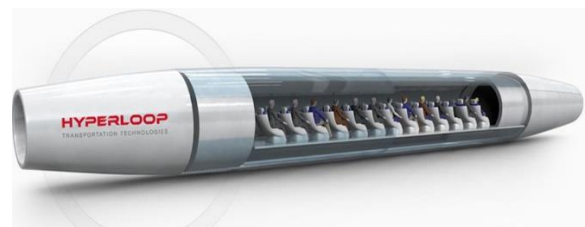


Figure 2. A demonstration of the hyperloop vehicle planned to be used in the passenger transportation [2]

Even though the concept is initially proposed by SpaceX, there are other intuitions who are aware of the importance of this new mode and focused their attention on the development of this new method. Korean Rail Road Research Institute (KRRRI) is one of those, they have launched their own hyperloop project and preliminary outcomes has started to be seen. Even though a 1/52 scale model is under investigation they could achieve to reach to 700 km / h speed in a 0.2 atm tube. As regard to their schedule a real scale model will be tested on its loop in 2022 [3].

## 2.2. Maglev (High Speed Magnetic Levitation)

Energy efficient transportation is very important issue. Maglev transportation systems are designed to according to this issue. High-speed maglev systems are more energy efficient and environmentally

friendly than air traffic. Certainly, transport will consume energy resources, but some maglev systems are better than the other transportation systems. In addition, maglev trains do not create direct pollution emissions and are always quieter in comparison to traditional systems when operating at the same speeds. At the same operating speeds maglev trains do not create pollution in comparison to traditional systems.

For high-speed intercity transport, maglev trains can be preferred purpose of good cost-benefit ratio as regards land purchase, construction, environmental benefits, operation and maintenance. With developing future technological, it can be expected to improve even more.

In different area for example in noise emissions, maglev trains are superior in every way to wheel/rail systems, not to refer airplanes. Because magnetic forces have less noise rather than physical contact to keep the vehicle upright. In special, the noise from pantograph of trains replaced in maglev by a process of induction and the required energy is transferred without physical contact.

At speeds under 200 km/h, maglev systems can hardly be heard, especially in an urban environment. It is an important advantage for settled areas. The Japanese Linimo in Nagoya, Chinese Transrapid in Shanghai, the Ecobee Rotem in South Korea, all of them prefer city transport maglev trains, offer impressive proof of this.

In some maglev systems, the drive mechanism is in the guideway, so it doesn't have to be carried in the vehicle, so no need to carry additional load. This is a big apart from traditional transport systems. Besides, with maglev trains, propulsion power only needs for short stretches when the vehicle passes through an active propulsion section.

Maglev is a safe transportation system for the livings. Animals can cross under elevated maglev guideways and farmers can use their land, as shown by observation and experience at the test facilities in Germany's Emsland town of Lathen and Japan's Yamanshi Prefecture. Besides, Maglev routes do not separate the landscape as waterways, highways and train tracks generally do.

Maglev system is a reformist transport system. At the same time, technology can be developed for maglev system. Superconductors, new materials can be given for example. Economic contribution is important benefit. Travel time reduction and energy efficiency is also benefit of Maglev. The city of Shanghai, China, where Maglev has been in use since 2003 uses these advantages.

Maglev can be used in local urban commuter systems, high-speed passenger and freight transport.

The German Transrapid and the Japanese Superconducting Maglev are two of the significant maglev systems in high-speed transport. The Transrapid in Shanghai has been in successful commercial use since 2003 and the Chinese Dolphin, based on the Transrapid system, likewise targets the high-speed segment.



The Korean Rotem Maglev (Ecobee) and Japanese Linimo and are both used for rapid but lower-speed urban transportation [4].



Figure 3. Maglev in Shanghai [4]

### 3. Conventional Innovative Rolling Stock Systems

Following rolling stock systems are currently in use and they are still being improved on existing conventional systems.

#### 3.1. Fuel Cell Powered Railway Vehicle

Renewable energy hydrogen is a promising electric power source for future trains. Railway vehicle powered by fuel cells recently under development. Fuel cells generate electrical energy by consuming hydrogen as shown figure 4. The fuel cells are environment friendly because they emit only water. A fuel cell powered railway vehicle equipped with followings [5] [6]:

- fuel cells
- hydrogen storage cylinders
- inverter and traction motors

Development of fuel cell powered vehicle was initiated in 2001 by Japan Railway Technical Research Institute (RTRI). RTRI performed a full scale running test in 2006. It was first full-scale test in the world. RTRI's full-scale prototype vehicle had a proton exchange membrane type fuel cell and a carbon fiber reinforced plastic composite hydrogen storage cylinder (Figure 5 and 6). Prototype train with a fuel cell and lithium ion battery hybrid system has run for 10 years. Test results were reported at WCRR 2016 in May 2016 [5] [6] [7] [8].

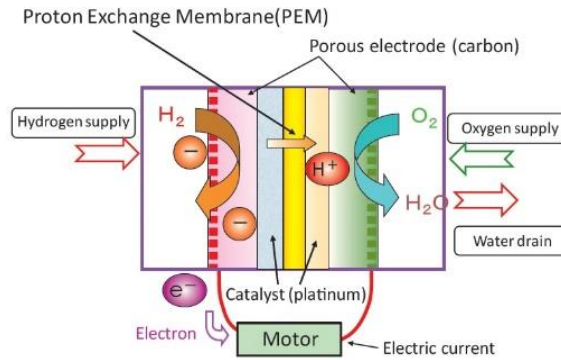


Figure 4. Working principle of a Fuel Cell [5]

Alstom presented its fuel cell powered train InnoTrans 2016. First train service will start in 2018. It will be effective in service in Germany. It is the first low floor passenger train worldwide. Its maximum speed is 140 km/h, seat capacity is 150 passengers and one full tank of hydrogen can travel up to 800 km [9] [10].



Figure 5. View of the test vehicle [5]



Figure 6. Filling up the hydrogen storage tank with hydrogen [5].

### 3.2. Light Weight Train

Weight savings result in lower energy consumption in all transportation vehicles. Mass distribution of a train [11] [12]:

- 21-23 % Car body shell,
- 21-22 % Running gear,
- 13-17 % Interior (panels, lighting, doors, etc.),
- 45-38 % Others (traction motors, converters, windows, seats, water, toilet, coupling, HVAC, batteries)

Some measures reduce the train mass by up to 40%. In recent years, studies of lightweight train designs have focused on followings [11] [12] [13]:

- Aluminum / composite / carbon fibre materials (figure 7),
- Sandwich/foam/porous structure (figure 7),
- Finite element analysis/modelling,
- Optimization regarding shape/structure,
- Articulated trains (Jacob-type bogies),
- Single axle bogie,
- Double-decked stock
- Wide body stock
- IGBT replacing the GTO,
- Medium frequency transformer, HTSC transformer,

Above measures provide very low weight per seat and reduction of energy consumption per seat-km.

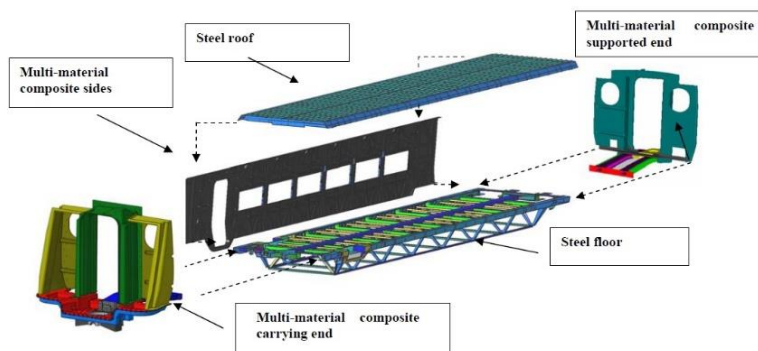


Figure 7. Coach with its central and end parts being made of composite materials



Figure 8. High speed train cab assembled from aluminium foam

### 3.3. Double deck high speed train

Double decker trains are the ones which has two floors for passenger accommodation instead of one floor that arises due to the increasing demand for higher capacity [14]. In last decades the need for better, bigger and faster transportation, by all means, gets higher as regard to the increment of the publics mobility. As for the better vehicles, the manufacturers develop the quality and comfort of the vehicles by using the recent technology. As for the faster transportation, the high speed trains are in use for almost 40 years and the science and engineers pushing the limits of it with the technology they have, the maximum tested speed which could be achieved is 600 km/h for the rail road vehicles. As for the bigger ones, the double deck or bi-level cars have been manufactured and in use by the companies for several years in order to establish the bigger passenger transport by the railway vehicles. A typical double deck train could be seen in Figure 9.

The advantages of the double deckers could be summarized as in the following [14],

- Feasible
- Allow to avoid longer trains
- Lessen the train number per hour
- Energy efficient

As a result of the combined need for the faster and bigger capacity, the double deck high speed trains emerged and become very popular in last years as well. The leading railway company for this new train model is East Japan railway Company. The trainset is the new series of the Shinkansen built in Japan as bi-level. It usually operates between Tohoku and Shinkansen. Even though the original train sets are composed of 8 cars, for extra capacity train set can be coupled and reaches to 16 car in a set in total which can carry 1634 passengers at a time. Maximum speed of this enormous trainset can reach up to 240 km/h. [15]. As it could be seen the two main target of transportation could be hit by one vehicle, by reaching up to around 1600 passenger and by riding around 250 km/h speed. The companies could much easier achieve the listed advantages by such systems. The image of the double deck high speed train could be seen in Figure 10.



Figure 9. A double deck train (Dutch NS VIRM ) [14]



Figure 10. A pair of E4 series sets led by set P6 [15]

### 3.4. Wireless Tram (with batteries)

Wireless Trams are energy efficient and environment friendly transportation systems. Specifications of the wireless tram could be summarized as in the following:

- Low floor tram & Embedded rail track
- Catenary Free System
- Charging battery during operation with catenary (Hybrid system)

It has following advantages:

- Enhanced City View (due to the elimination of catenary and corresponding wiring)
- Rapid construction
- No Substations

- Reduced construction costs
- High voltage electric lines

As an example, specifications of wireless test tram in Korea [16]:

- 5 modules, standard gauge (1,435 mm)
- Max. speed: 70km/h,
- Acceleration: 3.5km/h/s,
- Deceleration: 3.7 km/h/s,
- Slope: 6 %
- Power supply: Li-Polymer battery & Pantograph
- 100% low floor (350mm distance from rail to floor)
- Minimum radius of curvature: 25m
- Power: 750V DC
- Traction motor: 360 kW

Operating conditions range of wireless test tram [16]:

- Empty, 45 ton, HVAC OFF 44km~54km
- Full, 60 ton, HVAC OFF 35km
- Full, 60 ton, HVAC ON 20km



Figure 11. Wireless Tram in Korea [16]



Figure 12. Li-Polymer battery in the Tram [16]

### 3.5. Tilting Train

A tilting train is a specialized kind of a train, which is equipped with a special mechanism that allows the train to tilt especially at curves. If a train enters a curve with a high speed, one can easily observe the effects of inertia both on passengers and on packages. The standing passengers may lose their balance. Besides the seated passengers may feel as being pushed towards the car body. In addition, the packages may slide and even tend to fall sometimes. All of these effects can reduce the ride comfort. The tilting trains are designed to overcome such discomforts. If the curve is to the right, then the train will be tilted to the right in order to compensate the pushing force towards left. Of course vice versa is also valid. Two example of tilting trains can be seen in Figure 17 and 18 [17].



Figure 13. KiHa 283 series tilting DMU (Japan) [17]



Figure 14. SBB RABDe 500 (Switzerland) [17]

Tilting trains can be classified in two groups:

- Passive tilting trains
- Active tilting trains

In passive tilting trains, inertial forces are used to tilt the trains. Therefore, we can say that these trains have no mechanisms for tilting and by this way, tilting of these trains depends on completely physical laws. These trains have a low center of gravity and tilt center is placed quite above the center of gravity of the car body. When the train enters a curve, then the lower part of the car body moves outwards. We can say that the centrifugal forces on the car body performs tilting. Passive tilting trains have some safety issues because of the lateral shifting of the center of gravity of the car body. On the other hand, active tilting requires a completely active control mechanism, which is usually controlled by computer and includes many sensors and auxiliary electronics. In addition, a hydraulic or an electrical actuator actuates this system. Nowadays, the active tilting system is the most widely used tilting mechanism throughout the world. The first tilting train in regular public service was the 381 series EMU train operated by Japanese National Railways (JNR). Passive body tilting system was used in 381 series EMU train. Active tilting system is successfully implemented on the British Advanced Passenger Train for the first time in 1984 [17] [18] [19].

The advantages of tilting trains can be given as follows:

- The ride comfort will be increased
- Train can reach to higher speeds at curves, which will also shorten the travel time

- Because of the decreased deceleration frequency, energy consumption can be decreased [17] [19] [20].

A demonstration of tilting principle is given in Figure 15.

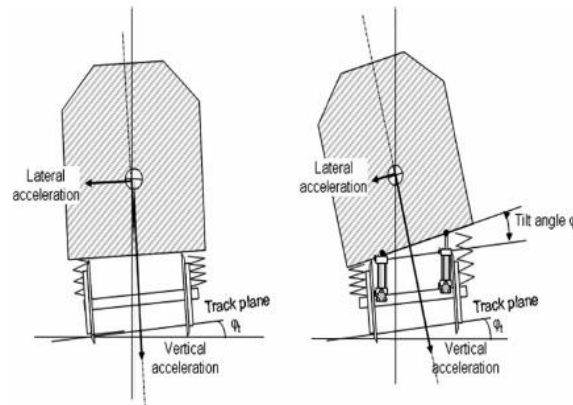


Figure 15. The basic principle of tilting trains (the left one corresponds to a non-tilting train and the right one corresponds to a tilting train) [18]

### 3.6. Unattended/Automated Metro Systems

Nowadays there exists an increasing trend for railway automation. In this context, there exist some systems, which work together, to maintain the automation of railway systems:

**Automatic Train Control (ATC) System:** It refers to a system in which machines and electronic devices are used to achieve train control. Generally it does not need to be a fully automated system. This system includes three subsystems which performs protection, assistance for driving and supervision:

- **Automatic Train Protection (ATP) System:** This system achieves some critical functions which protect passengers and on board equipment during railway operation. Some of these functions are related with collisions, excessive speed, derailment, etc.
- **Automatic Train Operation (ATO) System:** This system is used for automating the operations of trains. This automation can be applied fully or partially. ATO performs programmed stops in stations, door closure and following dwell time schedule.
- **Automatic Train Supervision (ATS) System:** This system is used to regulate and control the operations of all trains in a railway network. In this system each train's position can be monitored on special panels at every instant [21] [22]

Metro systems are associated with different levels of automation within a range from basic ATP systems to driverless trains which are given as fully automated systems. There exist five grades of train automation (GoA) According to the International Association of Public Transport (UITP). These are given as GoA0, GoA1, GoA2, GoA3 and GoA4. The basic principles of these GoAs are given as follows:

- GoA0: It is called as On-Sight Train Operation. Full manual driving is valid in this grade. The train operation control system is not supervisory for the operation of train driver. By this way, it is given as very similar to a tram, which is running in street traffic.
- GoA1: It is defined as manual train operation. In this grade train driver controls all the following functions: Setting train in motion (starting train), stopping train, operation of doors (door opening and closure) and operation in emergencies or handling sudden traffic diversions. London underground Victoria line is as an example for GoA1.
- GoA2: It is called as Semi-Automatic Train Operation (STO). In this grade, the train is automatically driven between the stations. In other words, starting train and stopping train are automated. But in this system there exist also train driver who operates the doors, drives the train if there is a need and handles emergencies. Nowadays many existing ATO systems belong to GoA2. Paris Métro line 3, Munich U-Bahn, Vienna U-Bahn, Budapest (line 3) and İstanbul metro line M2 Yenikapı-Hacıosman stand as examples for GoA2.
- GoA3: It is called as Driverless Train Operation (DTO). In this grade, starting train and stopping train are automated. Also there exists no train driver. However, a train attendant controls the operation of doors and drives the train in case of different emergencies. Beijing subway airport express, Barcelona metro (line 11), Sofia metro (line 3) and London Docklands Light Railway are an examples for GoA3.
- GoA4: It is called as Unattended Train Operation (UTO). In this grade, there exists no staff on train. By this way, all operations on train are fully automated. Dubai metro, Copenhagen metro (line 1 and line 2), Barcelona metro (line 9 and line 10), SkyTrain in Vancouver (world's longest driverless network), and Port Island Line in Kobe (world's first built GoA4 line) stand as examples for GoA4 [22] [23] [24] [25].

Advantages of UTO (GoA4) system can be given as follows:

- Optimization of train running times
- Increase in system's average speed
- Shortening of headways
- Reduction of dwell times in stations
- Increase in network capacity
- Reduction in human-risk factor, which yields a safer and more reliable system
- Automatic acceleration and deceleration systems increase energy efficiency and induces a more environmentally friendly system [24].

Some examples related to currently used unattended metro subway systems can be seen in 16, 18 and 18.





Figure 16. Figure 1. An automated metro system without train driver (Barcelona Metro line 9) [23]



Figure 17. An example of GoA4 driverless metro train (Copenhagen Metro)

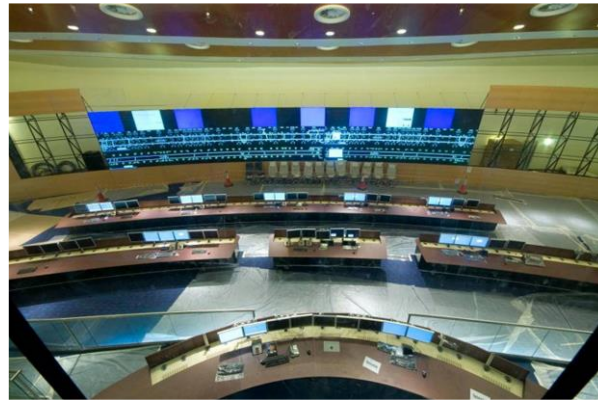


Figure 18. An example of the control room for an unattended metro system (Dubai Metro, The Operations Control Center)

### 3.7. Bimodal Tram

The bimodal tram can be given as a new and innovative type of public transportation system. In public transportation, the bimodal tram can be placed between bus and light rail transit system. By this way, the bimodal tram combines the route flexibility of the bus with the absolute punctuality (on time service) of a light rail system. It is given as a rubber tired tram, which appears as 2-car sets. The main features of bimodal tram system can be given as follows:

- It is powered by an hybrid power system, which combines a CNG engine and high capacity lithium battery
- Light weight car body with composite materials
- Passenger capacity by means of persons/direction/hour is 2500-5000
- Automated and semi-automated driving mode can be implemented by means of magnetic guidance system
- Low-floor vehicles, which serve easy access for the old and also handicapped people

- Guidance control as virtual rail (based on magnetic-markers reference sensing)
- Precision docking system at platforms
- Modular stations, which are designed for increased passenger safety [26] [27] [28] [29].

Figure 1 gives the representation of bimodal tram vehicle.



Figure 19. Figure 1. The bimodal tram vehicle [26].

### 3.8. Multisystem Electric Railway Vehicle

Multisystem electric railway vehicle (multi-system locomotive, dual voltage locomotive, multi-system multiple unit, multi system train) can operate in networks with different electrification systems. Every country has not same voltage electrification system as shown in Figure 20. A single voltage conventional electric railway train cannot operate another country that has different voltage network. Multisystem electric railway vehicle provide transportation without interrupted between countries. Multisystem electric railway vehicle can change of different supply voltages to allow flexibility in operation [30] [31].

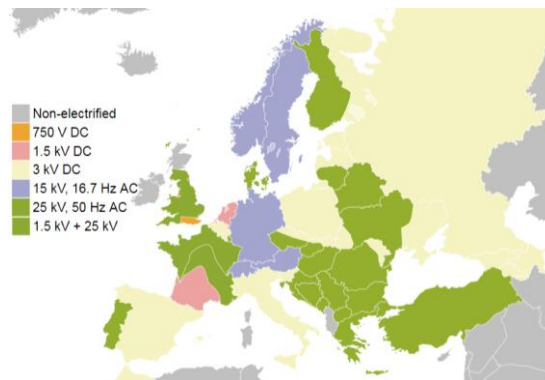


Figure 20. Europe rail electrification [30]

TRAXX locomotive built by Bombardier Transportation is an example for multisystem electric locomotive. TRAXX F140 MS AC/DC version could operate under AC 15 kV/25 kV – DC 1.5 kV/3.0 kV electrified catenaries. It is equipped with electrical systems for 15kV AC, 25kV AC, 1,5kV DC, 3kV DC electrification systems. The version can be operated on most European network [32].



Figure 21. The first Traxx MS3 multi-system locomotive locomotive

### 3.9. Electro diesel locomotive

An electro diesel locomotive (dual mode or bi mode locomotive/multiple unit/train) can operate like an electric locomotive or a diesel electric locomotive. It is powered from two separate plants: diesel electric and all-electric. It has diesel plant and electric transformer in the same carbody. Low percentage of railway network in the world is equipped with electrification system. An electro diesel locomotive can operate on track with an overhead catenary and operate on track with no electric catenary. It provides uninterrupted transportation along under wires and under diesel power. It obviates locomotive changing at the border of electrified and non-electrified network [33]. Main disadvantage of the electro diesel locomotives are heavier, but weight is an advantage in freight transportation. ALP-45DP locomotive built by Bombardier Transportation is an example for electro diesel locomotive [34].



Figure 22. Bombardier ALP-45DP at the Innotrans convention in Berlin

### 3.10. Last Mile Locomotive

Locomotive with last mile feature has a small diesel electric engine accompanied by a battery. It enables electric locomotive to operate non-electrified sections of track and to cross non-electrified track section. It provides uninterrupted service into terminals, stations, sidings, ports, depots, workshops and factories. It eliminates shunting locomotive requirement in the mentioned places [35].

#### 4. Conclusions

Researchers have developed new rolling stock systems in order to decrease energy consumption of railway vehicle and travel time and increase passenger comfort and protect environment. These systems and their basic features are summarized and introduced in this communication.

Some of the systems are completely different from conventional railway vehicle while some of them have been developed on existing conventional systems. Hyperloop and maglev are different from existing conventional railway systems. Both of them could reach high speeds as they are compared to the conventional trains. It is obvious that, researchers will continue to conduct more tests and to work on hyperloop and maglev trains in the forthcoming years. Fuel cells are regarded as environmental friendly technology of the future for transportation. It will not be true if hydrogen is obtained directly from fossil fuels. Multisystem electric railway vehicle, electro diesel locomotive and last mile locomotive have promising traction systems for interoperability and uninterrupted operation on existing railway systems. There are many solutions to reduce the weight of railway vehicle. Railway vehicles have been produced with aluminum material recently. Modelling of the railway vehicle's underframe is done by finite element analysis and optimization thanks to high performance computing. Light weight measures should not increase manufacturing and maintenance costs of railway vehicle. Tilting trains have been operated to increase speed on conventional lines for a long time. Operation of tilting train on existing line is cost effective compared to new high-speed train line construction. Bimodal tram has advantages of both bus and light rail transit system in urban transportation. The use of batteries in railway vehicles is increasing in parallel with the development of battery technology. Batteries are mainly used for wireless trams, hybrid railway vehicles, last mile locomotives and regenerative brake systems in some railway vehicles. Passenger capacity of a line could be increased thank to double deck high speed train instead of adding extra tracks besides the existing line, more trains per hour which the signalling or safety requirements may not allow, or longer trains which require longer station platforms. Driverless/Unattended/Automated vehicles will increase in the future not just in the railway, but also in all transport modes.

Following rolling stock systems are not in use in Turkey: hyperloop train, maglev train, fuel cell powered railway vehicle, double deck train, tilting train, multisystem electric railway vehicle, electro diesel locomotive, and last mile locomotive. We believe that integrating such systems with the existing railway systems in Turkey will increase the usage rate of railway for both freight and passenger transport.

#### References

- [1] Wikipedia, "Hyperloop." [Online]. Available: <https://en.0wikipedia.org/wiki/Hyperloop>. [Accessed: 14-Jul-2017].
- [2] HyperloopTT, "Press - Hyperloop Transportation Technologies." [Online]. Available: <http://hyperloop.global/press/>. [Accessed: 14-Jul-2017].

- [3] K. S. Lee, "Development of HyperTube in Korea," in *Global Smart Rail Conference (GSRC) 2017*, 2017.
- [4] "The International Maglevboard." [Online]. Available: <http://www.maglevboard.net/en/pics>. [Accessed: 14-Jul-2017].
- [5] H. Hasegawa, "Aiming at Non-Fossil-Fuel Railways: Development of Fuel Cell-Powered Trains," *Ascent, Japan Railway Technical Research Institute*, pp. 20–21, 2016.
- [6] T. Yoneyama, T. Yamamoto, K. Kondo, T. Furuya, and K. Ogawa, "Fuel cell powered railway vehicle and experimental test results," in *2007 European Conference on Power Electronics and Applications*, 2007, pp. 1–10.
- [7] T. Furuya, K. Kondo, and T. Yamamoto, "A Feasibility Design and Evaluation of Fuel Cell Powered Train," in *7th World Congress on Railway Research (WCRR)*, 2006.
- [8] T. Yoneyama, K. Ogawa, T. Furuya, K. Kondo, and T. Yamamoto, "Specifications and schedule of a fuel cell test railway vehicle," in *7th World Congress on Railway Research (WCRR)*, 2006.
- [9] Alstom, "Alstom's hydrogen train Coradia iLint first successful run at 80 km/h." [Online]. Available: <http://www.alstom.com/press-centre/2017/03/alstoms-hydrogen-train-coradia-ilint-first-successful-run-at-80-kmh/>. [Accessed: 04-Jul-2017].
- [10] "Alstom unveils its zero-emission train Coradia iLint at InnoTrans." [Online]. Available: <http://www.alstom.com/press-centre/2016/9/alstom-unveils-its-zero-emission-train-coradia-ilint-at-innotrans/>. [Accessed: 04-Jul-2017].
- [11] The International Union of Railways (UIC), "Energy efficiency strategies for rolling stock and train operation."
- [12] J. Winter, "Light Weight Vehicles to Apply Composite Materials," in *Global Smart Rail Conference (GSRC) 2017*, 2017.
- [13] D. Wennberg, "A Light Weight Car Body for High-Speed Trains Literature study," 2009.
- [14] Wikipedia, "Bilevel rail car." [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Bilevel\\_rail\\_car](https://en.0wikipedia.org/wiki/Bilevel_rail_car). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [15] Wikipedia, "E4 Series Shinkansen." [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/E4\\_Series\\_Shinkansen](https://en.0wikipedia.org/wiki/E4_Series_Shinkansen). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [16] KRRI, "Korea Railroad Research Institute." [Online]. Available: <http://www.krri.re.kr/html/en/>. [Accessed: 14-Jul-2017].
- [17] Wikipedia, "Tilting train." [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Tilting\\_train](https://en.0wikipedia.org/wiki/Tilting_train). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [18] R. Persson, R. M. Goodall, and K. Sasaki, "Carbody tilting – technologies and benefits," *Veh. Syst. Dyn.*, vol. 47, no. 8, pp. 949–981, Aug. 2009.
- [19] S. Shashikant Chopade and P. Kumar Sharma, "High Speed Trains," *Int. J. Mod. Eng. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 1161–1166, 2013.
- [20] Su-Gil Lee, Young-Jae Han, Seong-Ho Han, and Young-Soo Song, "The study of tilting system control of Korea tilting train," in *2008 International Conference on Control, Automation and Systems*, 2008, pp. 1447–1450.
- [21] F. Belmonte, K. Berkani, J. L. Boulanger, and W. Schön, "Safety Enhancement of Railway Traffic by Modern Supervision Systems," in *7th World Congress on Railway Research (WCRR), Canada*, 2006.
- [22] Wikipedia, "Automatic train operation." [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Automatic\\_train\\_operation](https://en.0wikipedia.org/wiki/Automatic_train_operation). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [23] Wikipedia, "Automatic train operation." [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_automated\\_urban\\_metro\\_subway\\_systems](https://en.0wikipedia.org/wiki/List_of_automated_urban_metro_subway_systems). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [24] A. Fraszczyk, P. Brown, and S. Duan, "Public Perception of Driverless Trains," *Urban Rail Transit*, vol. 1, no. 2, pp. 78–86, 2015.
- [25] D. Zhang and D. Qian, "Study on leader-follower control in the metro unattended train operation," in *2016*

*International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, 2016, pp. 179–183.

- [26] S. Chang, “The Bimodal Tram with Automated Guidance System,” in *The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drivers, Daejeon, Korea*, 2011.
- [27] J. K. Mok, S. Chang, K.-H. Moon, J.-Y. Lee, and D. H. Koo, “Development of Fuel Cell Rubber Tired Tram (FRT),” in *7th World Congress on Railway Research (WCRR), Canada*, 2006.
- [28] W. Jang *et al.*, “Development of a Prototype Web GIS-Based Disaster Management System for Safe Operation of the Next Generation Bimodal Tram, South Korea—Focused Flooding and Snowfall,” *Sustainability*, vol. 6, no. 4, pp. 1776–1795, Apr. 2014.
- [29] Chang Han Bae, Seky Chang, Jai Kyun Mock, Kang Won Lee, and Seok Youl Hwang, “Simulation study of a series hybrid propulsion system for a bimodal tram,” in *2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008*, pp. 1399–1403.
- [30] Wikipedia, “Railway electrification system.” [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Railway\\_electrification\\_system](https://en.0wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_system). [Accessed: 11-Jul-2017].
- [31] Wikipedia, “Multi-system (rail).” [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Multi-system\\_\(rail\)](https://en.0wikipedia.org/wiki/Multi-system_(rail)). [Accessed: 12-Jul-2017].
- [32] Bombardier Transportation, “TRAXX F140 MS - METRANS, Czechia - Czech Republic - Bombardier.” [Online]. Available: <http://www.bombardier.com/en/transportation/projects/project.TRAXX-F140-MS-METRANS-Czechia.html?f-region=americas>. [Accessed: 11-Jul-2017].
- [33] Wikipedia, “Electro-diesel locomotive.” [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Electro-diesel\\_locomotive](https://en.0wikipedia.org/wiki/Electro-diesel_locomotive). [Accessed: 12-Jul-2017].
- [34] Wikipedia, “ALP-45DP.” [Online]. Available: <https://en.0wikipedia.org/wiki/ALP-45DP>. [Accessed: 13-Jul-2017].
- [35] Bombardier Transportation, “Improving Efficiency with the TRAXX Last Mile Locomotive - Bombardier.” [Online]. Available: [http://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.bt\\_20170428\\_improving-efficiency-with-the-traxx-last-mile-locomo.bombardiercom.html](http://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.bt_20170428_improving-efficiency-with-the-traxx-last-mile-locomo.bombardiercom.html). [Accessed: 13-Jul-2017].
- [36] H. Yaghoubi, N. Barazi, and M. Reza, “Maglev,” in *Infrastructure Design, Signalling and Security in Railway*, InTech, 2012.
- [37] Wikipedia, “Shanghai Maglev Train.” [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Shanghai\\_Maglev\\_Train](https://en.0wikipedia.org/wiki/Shanghai_Maglev_Train). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [38] Wikipedia, “E6 Series Shinkansen.” [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/E6\\_Series\\_Shinkansen](https://en.0wikipedia.org/wiki/E6_Series_Shinkansen). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [39] Wikipedia, “Alstom Metropolis C751A.” [Online]. Available: [https://en.0wikipedia.org/wiki/Alstom\\_Metropolis\\_C751A](https://en.0wikipedia.org/wiki/Alstom_Metropolis_C751A). [Accessed: 14-Jul-2017].
- [40] Alstom, “Coradia iLint regional train.” [Online]. Available: <http://www.alstom.com/products-services/product-catalogue/rail-systems/trains/products/coradia-ilint-regional-train/>. [Accessed: 14-Jul-2017].

# MOBİL DEMİRYOLU ARAÇLARI: ÖRNEK KAZA İNCELEMESİ

Ömür AKBAYIR

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, e-mail: omurakbayir@anadolu.edu.tr

## Özet

Demiryolu inşasında mobil demiryolu araçları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar genelde demiryolu hattı üzerinde kullanılmak için dönüştürülmüş konvansiyonel karayolu araçlarıdır. Ancak bu dönüştürme işlemi gerçek aracın emniyetinden ve performansından taviz vermekle sonuçlanmaktadır. Türkiye’de son yıllarda hızlı tren, metro, tramvay hattı inşası pazarının büyümesine paralel olarak, mobil demiryolu araçlarına olan ihtiyaç artmıştır. Türkiye’deki mobil demiryolu aracı sayısının artmasıyla meydana gelen kaza ve olay sayısı da son yıllarda artmıştır. Bu çalışmada 2017 yılında Adana’da 3 kişinin ölümüyle sonuçlanan mobil demiryolu kazası incelenmiştir. Kazanın nedenleri ve mobil demiryolu araçlarına ilişkin uluslararası gereklilikler ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, kaza, mobil demiryolu aracı, demiryolu kazası

## Abstract

Road-rail vehicles are widely used in the construction of the railway line. These vehicles are conventional road vehicles that have been transformed for use on railway lines. However, this conversion results in compromising the safety and performance of the actual vehicle. The need for road-rail vehicles has recently increased in Turkey in parallel with the growth of the high-speed train, metro, tramway line construction market. The number of accidents and incidents has also increased in recent years with an increasing number of road-rail vehicle in Turkey. In this study, a road-rail accident, which resulted in three deaths in Adana in 2017, was investigated. The reasons for the accident and the international requirements for road-rail vehicles were presented.

**Keywords:** Railway, accident, road-rail vehicle, railway accident

## 1. Giriş

14.03.2017’de Adana’da 3 kişinin ölümüyle ve 18.11.2015’de Mersin’de 1 kişinin ölümüyle ve 4 kişinin yaralanmasıyla sonuçlanan mobil demiryolu aracı kazaları, mobil demiryolu araçları üzerine bir araştırma yapma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Türkiye’de 200 ün üzerinde mobil demiryolu aracı kullanılmakta olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmada mobil demiryolu araçları genel olarak

tanıtılmış, mobil demiryolu araçlarının üretimine ve belgelendirmesine ilişkin şartlar özetlenmiş ve mobil demiryolu araçlarına ilişkin Türkiye'deki mevcut durum sunulmuştur.

Mobil demiryolu aracı; hem karayolunda hem de demiryolunda gidebilen kendinden tahrikli makinaya denir. Genel olarak demiryolu altyapı, üstyapı, elektrifikasyon, sinyalizasyon vb bakım ve inşasında kullanılmaktadır. Aşağıdaki amaçların bir veya birkaçı için kullanılan özel tasarlanmış araçlardır:

- Kazı,
- Buraj, balast eleme, balast regülesi ve balast sıkıştırılması,
- Yol yenileme,
- Ray taşıma,
- Vinçle kaldırma,
- Katener yenileme/bakımı,
- Altyapı bileşenlerinin bakımı,
- Altyapı bileşenlerinin muayenesi ve ölçülmesi,
- Tünel muayenesi/havalandırması,
- Manevra,
- Acil durum ve kurtarma hizmetleri, vd.

Şekil 1'de çeşitli mobil demiryolu aracı resimleri görülmektedir. Bu araçlar; çalışma modu, kendi kendini götürme modu, vagon çekme modu gibi farklı modlarda kullanılmaktadır.

Mobil demiryolu araçları için aşağıdaki İngilizce terimler kullanılmaktadır:

- EN 15746'de Road-rail machines (Karayolu-Demiryolu Makinası)
- TSI'larda OTM (On track machines)
- RRV (road/rail vehicle),
- Hi-rail (from highway and rail),
- High-rail,
- HiRail,
- Hy-rail





Çok amaçlı acil durum mobil demiryolu aracı



Nakliye mobil demiryolu aracı



Damperli mobil demiryolu aracı



2800 tona kadar manevra mobil demiryolu aracı



Elektrifikasyon/sinyalizasyon işlerinde kullanılan mobil demiryolu aracı



Uzaktan kumandalı mobil demiryolu aracı



Bakım mobil demiryolu aracı



Çalışma platformlu mobil demiryolu aracı



Deray kaldırma ve acil müdahale mobil demiryolu aracı



Treylerli ekskavatör mobil demiryolu aracı



Çöp temizleme mobil demiryolu aracı

Vinç/Ekskavatör mobil demiryolu aracı

Şekil 1. Çeşitli amaçlar için kullanılan mobil demiryolu araçları

Türkiye’de bu araç için aşağıdaki isimler kullanılmakta olup, bu çalışmada “mobil demiryolu aracı” terimi kullanılacaktır:

- Yol/hat bakım aracı/makinası,
- Yol/hat aracı/makinası,
- Bakım aracı/makinası,
- Unimog,
- Turkar,
- Mobil araç/makine,
- Mobil yol/hat aracı/makinası,
- Mobil bakım aracı/makinası,
- Mobil yol/hat bakım aracı/makinası,
- Demiryolu hat bakım onarım aracı, vd.

İngiltere Kaza Araştırma İnceleme Kurulu (RAIB) tarafından 2009 yılında hazırlanan raporda mobil demiryolu kazalarının ana sebepleri aşağıda sıralanmıştır [1]:

- Kazaların büyük oranı yola çıkarma / yoldan indirme sürecinde yapılan hatalardan dolayı gerçekleşmektedir. Makinistin/sürücünün/operatörün bu süreci doğru yapması önem arz etmektedir.
- Kazaların diğer kısmı mobil demiryolu aracının frenlenmesinde gerçekleşmektedir. Hattın eğiminin fazla olması bazı kazalardaki faktörlerdir.
- Makinistin/sürücünün/operatörün yetersiz eğitime sahip olması

İncelenen kazanın ana sebebi mobil demiryolu aracının frenlemesidir.

## 2. Mobil Demiryolu Araçları İle İlgili EN standartları

Avrupa Birliği (AB) Standartları (EN), Avrupa Standardizasyon kuruluşları tarafından hazırlanan standartlardır. EN 15476 mobil demiryolu araçları ile ilgili gereksinimleri içeren Avrupa Birliği standardıdır. EN 15746 “Demiryolu uygulamaları - Yol – Karayolu-demiryolu makinaları ve ilgili donanımları” standardı aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- Bölüm 1: Seyir ve çalışma için teknik özellikler
- Bölüm 2: Genel emniyet kuralları

“EN 15746-1 + A1 Demiryolu uygulamaları - Yol - Karayolu ve demiryolu makinaları ve ilgili donanımları - Bölüm 1: Seyir ve çalışma için teknik özellikler (Railway applications - Track - Road-rail machines and associated equipment - Part 1: Technical requirements for running and working)” standarttı, 08.03.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından 05.05.2015’de tercüme edilerek TS EN 15746-1+A1 olarak adlandırılmıştır. Bu standart, kendinden tahrikli karayolu demiryolu makinaları (hem demiryolu hem de karayolunda işletilebilen makinalar) ve ilgili donanımının imalatçının veya yetkilendirdiği temsilcisi tarafından verilen teknik özelliklere uygun olarak yapıldığında işletmeye alınması, işletilmesi ve bakımı sırasında ortaya çıkabilecek, özel demiryolu tehlikelerini azaltmak için makinaların teknik kurallarını kapsar [2].

TS EN 15746-2 + A1 Demiryolu uygulamaları - Yol - Karayolu ve demiryolu makinaları ve

ilgili donanımları - Bölüm 2: Genel emniyet kuralları (Railway applications - Track - Road-rail machines and associated equipment - Part 2: General safety requirements) standarttı, 08.03.2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından 30.03.2016’da tercüme edilerek TS EN 15746-2+A1 olarak adlandırılmıştır. Bu standart, EN 15746-1:2010 Standardı madde 3.5 ve madde 3.6’da tanımlanan karayolu-demiryolu makinalarının demiryolu üzerinde kullanımlarına yönelik uyarlamadan kaynaklanan önemli tehlikeleri, tehlikeli durumları ve olayları kapsar. Bu standart makinanın ayarlanması, programlanması, işlemler arası değişiklik yapma, işletme, temizleme, arıza bulma, bakım ve işletmeden çıkarma dâhil olmak üzere kullanımı, seyri, montajı ve kurulumu, işletmeye alınması, demiryolu üzerinde ve dışında seyahati sırasında yaygın olarak görülen tehlikeleri ele almaktadır [3].

### 3. Mobil Demiryolu Araçlarının Sınıflandırılması

TS EN 15746-1'e göre 4 kategoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar:

Kategori 8 : Bir trene bağlanarak taşınabilir.

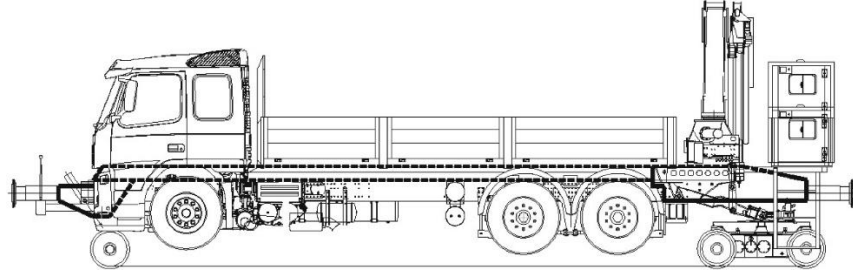
Kategori 9A : Frenleme ve cer doğrudan demiryolu tekerlekleri üzerindedir. Yük tümüyle demiryolu tekerlekleri üzerindedir. Bir trene bağlanarak taşınamaz.

Kategori 9B : Karayolu tekerleklerinden demiryolu tekerleklerine frenleme ve cer dolaylı olarak iletilir. Yük tümüyle demiryolu tekerlekleri üzerindedir. Bir trene bağlanarak taşınamaz.

Kategori 9C : Frenleme ve cer karayolu tekerlekleri üzerindedir. Yük karayolu ve demiryolu tekerlekleri arasında paylaştırılmıştır. Bir trene bağlanarak taşınamaz.

#### 3.1. Kategori 8 Mobil Demiryolu Aracına Örnek

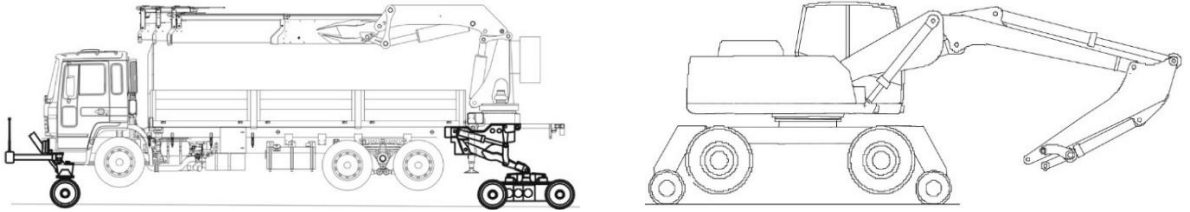
Bir trene bağlanarak bir yerden bir yere götürülebilir. Şekil 2'de bir örnek verilmiştir.



Şekil 2. Kategori 8 mobil demiryolu aracına örnek

#### 3.2. Kategori 9A Mobil Demiryolu Aracına Örnek

Yük tamamen demiryolu tekerleklerine biner. Frenleme ve aracın hareketi direk demiryolu tekerlekleri ile yapılır. Şekil 3 ve 4'de örnekler verilmiştir.



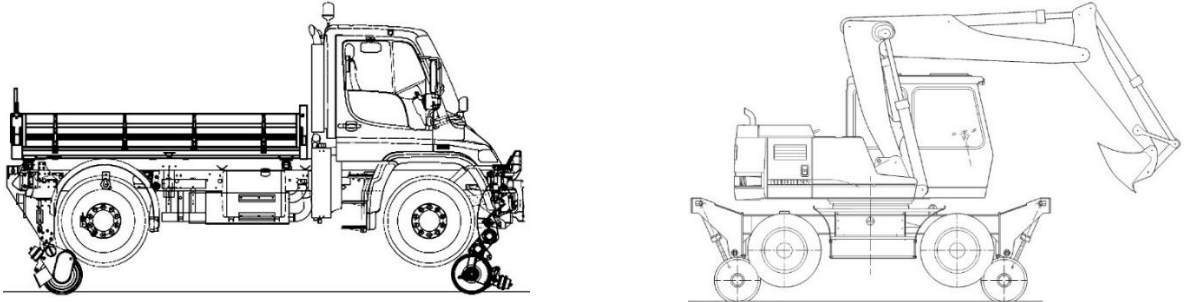
Şekil 3. Kategori 9A mobil demiryolu aracına örnekler



Şekil 4. Kategori 9A mobil demiryolu aracına örnek (Demiryolu tekerlekleri tahriklidir)

### 3.3. Kategori 9B Mobil Demiryolu Aracına Örnek

Yük tamamen demiryolu tekerleklerine biner. Frenleme ve aracın hareketi dolaylı olarak demiryolu tekerlekleri ile yapılır. Şekil 5 ve 6'da örnekler verilmiştir.



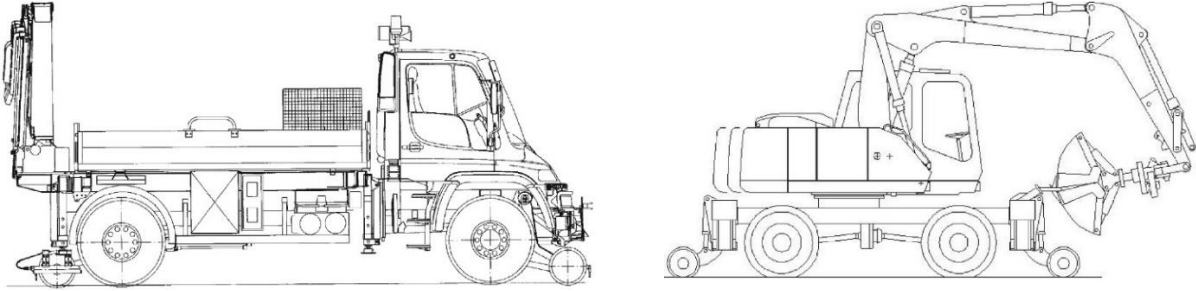
Şekil 5. Kategori 9B mobil demiryolu aracına örnekler



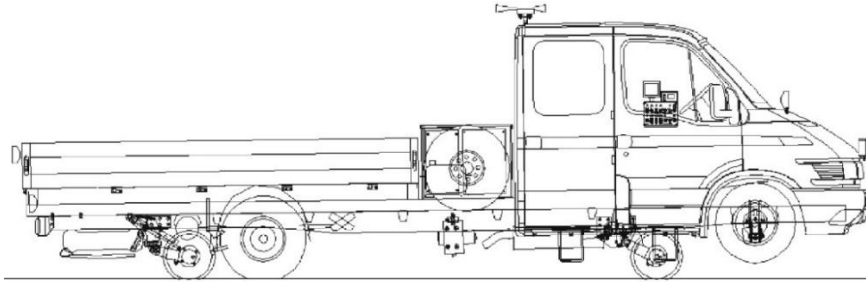
Şekil 6. Kategori 9B mobil demiryolu aracına örnekler (Frenleme ve tahrik/çer lastik tekerleklerle yapılmaktadır)

### 3.4. Kategori 9C Mobil Demiryolu Aracına Örnek

Yük hem karayolu tekerine hem de demiryolu tekerleklerine biner. Frenleme ve aracın hareketi karayolu tekerlekleri ile yapılır. Şekil 7 ve 8'de örnekler verilmiştir.



Şekil 7. Kategori 9C mobil demiryolu aracına örnekler



Şekil 8. Kategori 9C mobil demiryolu aracına örnek

#### 4. Mobil Demiryolu Araçları İçin Yetkilendirilmiş Kuruluşun Onayı ve Üreticinin Beyanı

EN 15746-1 madde 1.1 göre;

- Mobil demiryolu aracı EN 15746-1'de belirtilen gereksinimlere göre yetkilendirilmiş kuruluş tarafından onaylanmalıdır.
- Mobil demiryolu aracı EN 15746-2'de belirtilen gereksinimlere uygunluğu üretici tarafından beyan edilmelidir.

EN 15746-1 madde 8'e göre yetkilendirilmiş kuruluş demiryolu altyapı işletmecisi (Türkiye'de TCDD) tarafından atanmış olmalıdır. Yetkilendirilmiş kuruluş mobil demiryolu aracının EN 15746-1 madde 5, 6 ve 7'deki gereksinimlere uygunluğunu doğrular. Yetkilendirilmiş kuruluş değerlendirmeyi EN 15746-1 Tablo C1'deki uygunluk kontrol listesine göre yapar. EN 15746-1 Tablo C1 ilk üretilen makinanın tip testi için ve sonradan üretilen mobil demiryolu araçlarının tip uygunluk testi için doldurulur. Yetkilendirilmiş kuruluş tarafından EN 15746-1 Ek D'deki tip onay sertifikası düzenlenir. Ait oldukları kategoriye için şartları karşılayan mobil demiryolu araçları, sadece bu kategori için onay alır.

Türkiye'de TCDD tarafından hiçbir kuruluş yetkilendirilmiş kuruluş olarak atanmamış veya belirlenmemiştir. Türkiye'deki mobil demiryolu araçlarının TCDD tarafından atanmış/belirlenen kurum/kuruluşça değerlendirmeye tabi tutulmadan ulusal demiryolu ağına çıkarıldığı anlaşılmaktadır.

#### 5. Mobil Demiryolu Aracı İle Yük Vagonlarına Manevra Yapılması veya Yük Vagonlarının Çekilmesi

EN 15746-1 madde 4.1.1 (Tablo 1) göre; Kategori 9A, 9B ve 9C ye giren mobil demiryolu araçları yetkilendirilmiş kuruluş tarafından onaylanmış ise, demiryolu vagonlarını çekmesine/manevra yapmasına izin verilir.

Çekebileceği/manevra yapabileceği vagon sayısı ve ağırlığı EN 15746-2 madde 8.2.13'e göre kullanım el kitabında yazmalıdır. Çekebileceği/manevra yapabileceği vagon sayısı ve ağırlığı; mobil demiryolu aracı üzerinde bulunan hava beslemeli sürekli servis frenin kapasite ile ilişkilidir. Kullanım el kitabında; farklı eğim ve hız sınırlamalarına yönelik emniyetli frenli ve frensiz çekilen yükler için koşulları gösterecek şekilde bilgi bulunmalıdır. Bu ilgi "Makinanın Teknik Kabiliyeti" başlığı altında verilmelidir. Söz konusu bilgi; pratik olması açısından eğim, hız ve müsaade edilen frensiz çekilen yükü gösteren bir çizelge olarak sunulur.

## 6. EN 15746-1'e göre Mobil Demiryolu Araçları İçin Gereklilikler

Mobil demiryolu araçlarının kategorisine göre, bu kategoriye karşılık gelen şartlar EN 15746-1 Ek B'de belirtilmiştir. EK B'de aracın kategorisine göre;

- Gabari,
- Yol engellerinin açıklığı için kurallar,
- Seyir emniyeti donanımı,
- Seyir emniyeti ve raydan çıkmanın önlenmesi,
- Kararlılık ve devrilmeyi önleme,
- Makina şasesi ve yapısı,
- Makinalar arası koşum takımları,
- Seyir tertibatı,
- Demiryolu tekerlek süspansiyonu,
- Frenleme,
- Sürüş ve çalışma kabinleri ve yerleri,
- Kumandalar,
- Makinanın görünebilirliği ve işitilebilirliği,
- Çalışma yapılanmasında bitişik hatlarda trafik personeli için uyarı sistemleri,
- Elektrikli donanım ve topraklama bağlantısı,
- Elektromanyetik uyumluluk,
- Kategori 8 makinalar ile yol donanımının çalışması,
- Güç kaynağı,
- Arıza giderme koşulları,
- Yola giriş ve çıkış,

- Kurma ve kaldırma,
- Yükseltilebilen seygar iş platformu (YSİP) ve YSİP'ler gibi,
- Kullanılan ekskavatörler/yükleyiciler,
- Genel ve demiryoluna özel ek parçalar,
- Egzoz,
- Makinaların işaretlenmesi ve numaralandırılması,

ilişkin şartlar sıralanmıştır. Yukarıdaki şartlardan sadece frenleme ile ilgili başlık aşağıdaki başlıkta detaylı olarak yapılmıştır.

## 7. Mobil Demiryolu Araçlarında Hava Beslemeli Sürekli Servis Freni İçin Şartlar

Mobil demiryolu aracı karayolu modundayken karayolu araçlarının fren gerekliliklerine sahip olmalıdır. Demiryolu için hava beslemeli sürekli servis freni aşağıdaki şartlara sahip olmalıdır:

EN 15746-2 madde 5.24.5'e göre üretici kullanım el kitabında çekilebilecek vagon sayısı ve ağırlığı belirtilmelidir.

Fren sistemini güvenilir bir şekilde çalıştırmak için yeterli hava kapasitesi olmalıdır. Sürekli servis freninin, konvansiyonel demiryolu taşıtlarına uygun bir kesintisiz hava freni olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Mobil demiryolu aracındaki hava beslemeli sürekli servis freni EN 15746-1 madde 5.12.2'de belirtilen donanım ve şartlara sahip olmalıdır. Mobil demiryolu aracı üzerindeki kompresörün kapasitesi ve hava deposu toplam 12 dingile sahip vagonların frenini 4 dakikadan az sürede çözebilecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Kompresörün hava üretim kapasitesi Çizelge 1'de verildiği gibi çekilen dingillerin sayısı ile uyumlu olmalıdır. Verilen bu değerler asgari değerler olarak dikkate alınmalıdır.

Çizelge 1. Tren fren donanımı için asgari değerler				
	12 dingil	24 dingil	40 dingil	52 dingil
7,2 bar (Litre/dakika)	200	300	540	540
Hava deposu (Litre)	80	170	240	360
Depo basıncı (bar)	8	8	8	10
Ana hava hortumu çapı (")	3/4	3/4	3/4	1

Tren fren sisteminin temel donanımı aşağıda verilen bileşenlerden oluşmalıdır:

- Çizelge 1'de verilen kesintisiz tren hava frenlerinin uygun olan hava kompresörü,
- Çizelge 1'de verilen gerekli depo basıncına uygun kompresör için basınç regülatörü,
- Kompresör ve depolama tankı arasında kompresöre akışı engelleyen geri dönüşsüz vana, alternatif olarak geri dönüşsüz vanaya bütünleşik olan basınç regülatörü,



- Depo basıncına uygun emniyet vanası, alternatif olarak emniyet vanasına bütünleşik olan basınç regülâtörü,
- Çizelge 1'de verilen toplam kapasitesi ile EN 286-3 veya EN 286-4'e uygun hava tankı,
- Elle kumanda edilen yoğuşmalı tahliye vanası veya tek hazneli hava kurutucusu,
- Yoğuşma tahliyeli hava filtresi,
- Hava tankına doğru akışını engelleyen basınç düşürme vanası ve hava tankı arasında geri dönüşsüz vana,
- Depo basıncını 5 bar'lık fren hattı basıncına düşürmek için basınç düşürme vanası,
- 80 mm çaplı veya "sınıf 1 " kalitede dijital ekranlı ana fren hattı basıncı ve ana depo basıncı için basınç göstergeleri,
- Doğrudan ve tamamen ana hava hattını boşaltan ve aynı zamanda makina üzerinde de etki eden imdat fren vanası,
- EN 14601'e uygun fren hortumları,
- EN 14601 uygun belirlenmiş ana hat çapının basıncını düşürmek için kapatma vanası,
- EN 14601 uygun fren bağlantı başlığı,
- Bağlantısı çözülmüş bağlantı başlıklarını tutmak için fren bağlantı tutucusu.

Genellikle, dikişsiz çelik borular hava hatlarında kullanılmalıdır. Hortum bağlantıları sadece elastik bir elemanın kaçınılmaz olduğu yerlerde kullanılmalıdır.

Makina üzerindeki fren hortum bağlantıları ve desteklerinin boyutları EN 14601'de tanımlandığı gibidir.

Tren fren sisteminin ana hava hattı makinanın baş kısımlarına yerleştirilenler haricinde hiçbir kapatma vanası sahip olmamalıdır. Kapatma vanaları ana hava hattın tam akışına izin vermeli, hortumlar için kendinden boşaltma sistemine ve kilitli devre sonlarına sahip olmalıdır.

Uygun yerlerdeki etiketler tüm frenleme donanımını tanımlamalıdır.

Hava tankları, tank etiketleri kolaylıkla okunaklı olacak şekilde makinalara monte edilmelidir. Tank etiketlerinin üzeri boyanmamalıdır.

Havalı fren sistemi için frenleri çalıştırmak amacıyla bir sürücü fren kumandası ve sürücü ve yardımcısının erişebildiği ve bir acil durum kumandası olmak üzere iki kumanda bulunmalıdır.

Ana hava hattının (¾") doğrudan ve tam tahliyesi için gerekli acil durum fren hava hattı, yapısal nedenlerden dolayı acil durum fren kumandasına kadar getirilemiyorsa, acil durum fren vanası, selenoid vanası vasıtasıyla çalıştırılmalıdır.

## 8. EN 15746-2'ye göre Mobil Demiryolu Araçları İçin Gereklilikler

Mobil demiryolu aracına EN 15746-2 madde 7'ye göre emniyet tedbirlerine uygunluğun doğrulanması yapılır. Doğruluma; EN 15746-2 çizelge B1'deki uygunluk kontrol listesine göre yapılır. Ayrıca EN 15746-2 madde 8'e göre mobil demiryolu aracı için bir kullanım el kitabı hazırlanır, araç üzerine yazı ve işaretlemeler yapılır. Kullanım el kitabında EN 15746-2 madde 8.2.13'e göre; eğitim, hız ve müsaade edilen frensiz çekilen yükü gösteren bir çizelgenin bulunması önem arz etmektedir.

## 9. Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliğinde Mobil Demiryolu Araçlarının Yeri

Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği madde 5 (2)'ye göre; TSI teknik şartlarına uygunluk belgesi bulunmayan demiryolu yol bakım, onarım ve ölçüm makinalarının UIC ve EN standartlara uygun olduğunun belgelendirilmesi halinde tescil işlemleri yapılır. Söz konusu maddeden DDGM tarafından mobil demiryolu araçları için TSI şartlarının aranmadığı anlaşılmaktadır.

## 10. TSI'larda Mobil Demiryolu Araçlarının Yeri

TSI'larda OTM (On track machines) terimi kullanılmaktadır. TSI LOC&PAS madde 2.2.2.(D)'de OTM; "demiryolu inşası ve bakımı için özel olarak tasarlanmış araçtır" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım; mobil demiryolu araçlarını ve demiryolu inşası ve bakımında kullanılan diğer araçları kapsamaktadır. Mobil demiryolu aracı üreticilerinin siteleri incelendiğinde TSI'ya uygun araç üretmedikleri görülmüştür. Diğer taraftan TSI'ya uygun OTM kapsamına giren demiryolu inşası ve bakımında kullanılan araçlar üretildiği görülmüştür. Buna örnek olarak Şekil 9'daki araç verilebilir. Şekil 9'da Plasser&Theurer şirketince üretilmiş balast temizliğinde kullanılan OTM



Şekil 9. Plasser&Theurer şirketince üretilmiş balast temizliğinde kullanılan OTM

TSI LOC&PAS madde 2.3.1.(D)'ye göre; mobil demiryolu araçları TSI kapsamına girmez.

TSI LOC&PAS madde 2.3.1.(D)'ye göre;

Mobil demiryolu altyapı inşa ve bakım ekipmanları sadece aşağıdaki durumlarda TSI kapsamındadır:

1. Kendi demiryolu tekerlekleri üzerinde çalıştıklarında, ve
2. Trafik yönetimi için hat bazlı tren algılama sistemi tarafından tespit edilmeleri amaçlandıklarında ve buna göre tasarlandıklarında ve,
3. OTMler (Kendinden tahrikli hareket ettiğinde, vagon çektiğinde veya bir trene verilerek götürüldüklerinde).

Farklı tekerlek setine sahip araçlar için, lastikli tekerler (1. durum) üzerinde nakliye durumunda TSI kapsamına girmez.

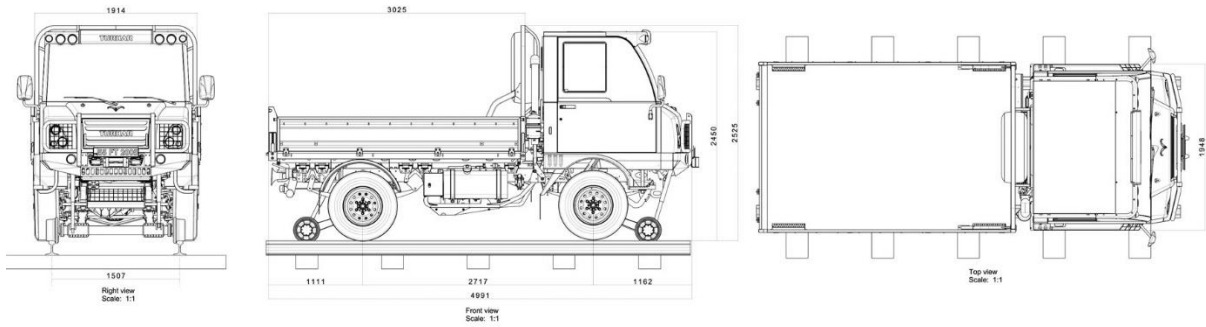
Kapalı hatta kullanıldıklarında; trafik yönetimi için hat bazlı tren algılama sistemine (2. durum) ihtiyaç olmayacağından TSI kapsamına girmez [4].

EN 15746 kapsamındaki karayolu-demiryolu makinaları (road-rail machines) TSI'larda OTM olarak kabul edilmektedir. EN 15746 kapsamındaki kategori 8 ve 9 karayolu demiryolu makinaları, sadece trafik yönetimi için hat bazlı tren algılama sistemine uygun tasarlandıklarında TSI kapsamına girer [4].

Kısaca, hem karayolunda hem de demiryolunda gidebilen mobil demiryolu araçları yukarıdaki paragraftaki istisna dışında TSI'ların kapsamına girmez.

## 11. Kaza Yapan Mobil Demiryolu Aracının Özellikleri

Şekil 10'da görülen mobil demiryolu aracı; dönüştürülmüş bir karayolu aracıdır. Normal lastik tekerleklere sahip olup, demiryolu üzerinde gidebilmesi için ilave demiryolu tekerine sahiptir. Demiryolu üzerinde lastik tekerleklerden aldığı güçle hareket eder. Demiryolu tekerlekleri aracın raydan çıkmasını engeller ve demiryolu tekerleği tahriksizdir. Gerekliğinde demiryolu tekerlekleri indirilebilir veya kaldırılabilir.



Şekil 10. Kaza yapan mobil demiryolu aracı

Şekil 10'da görülen mobil demiryolu aracında yük karayolu ve demiryolunda paylaşıldığı için EN 15746'ya göre kategori 9C ye girmektedir.

Kazaya yapan mobil demiryolu aracı için herhangi bir yetkilendirilmiş kuruluş tarafından EN 15746-1'e göre düzenlenmiş tip onay sertifikası ve EN 15746-1 Tablo C1'deki uygunluk kontrol listesi

bulunmamaktadır. Ancak söz konusu mobil demiryolu aracının karayolu aracı olarak AT Uygunluk Beyannamesi ve Araç Tip Onay Belgesi bulunmaktadır.

EN 15746-2 madde 5.24.5'e göre üretici kullanım el kitabında çekilebilecek vagon sayısı ve ağırlığı belirtilmelidir. Söz konusu mobil demiryolu aracının araç bilgilendirme kılavuzu bakıldığında böyle bir bilgi bulunmamaktadır.

Söz konusu mobil demiryolu aracının hava beslemeli sürekli servis frenini gösteren fotoğraflar Şekil 11'de görülmektedir. Yapılan şifai görüşmelerde; hava freninin motordan beslemeli olduğu, hava tankı kapasitesinin 140lt olduğu, hava tankının 7,2 atm ile sınırlandırıldığı ve bu değere yaklaşık 7 dk'da ulaşıldığı öğrenilmiştir. Mobil demiryolu aracının web sitesinde hava deposu kapasitesi 100 litre, kompresör kapasitesi 400litre/dakika (6 bar) olarak belirtilmiştir.



Hava tankı



Basınç regülatörü



Ana fren hattı basıncı ve ana depo basıncı için basınç göstergeleri



Ana hava /kondivit hattını boşaltan fren vanası

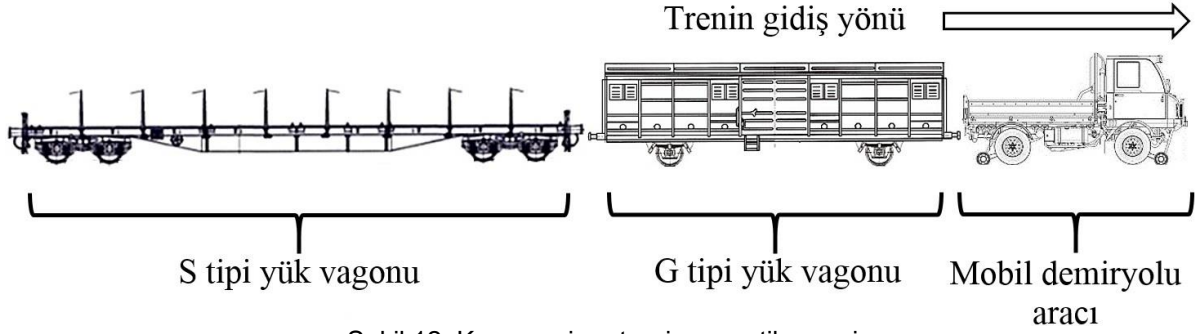
Şekil 11. Kaza yapan mobil demiryolu aracının hava beslemeli sürekli servis frenini komponentleri

## 12. Kaza Yapan Trenin Fren Hesapları

Kaza yapan trenin fren hesapları aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

### 12.1. Trenin Kompozisyonu, Hesaplarda Kullanılan Değerler ve Kabuller

Kaza geçiren trenin şematik resmi Şekil 12'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi mobil demiryolu aracı; G tipi ve S tipi yük vagonlarını çekmektedir. Trenin gidiş yönüne göre S tipi yük vagonu trenin sonundadır.



Şekil 12. Kaza geçiren trenin şematik resmi

Kaza geçiren trenin video görüntülerinden bir resim Şekil 13'de görülmektedir. Resimde mobil araç ve arkasındaki G tipi vagon arasındaki fren hortumu/kondivit hattı bağlıdır. Ancak akerman musluklarının açık mı kapalı mı olduğu görülmemektedir.



Şekil 13. Kaza geçiren trende mobil demiryolu aracı ve G tipi vagon arasındaki bağlantı

Kaza geçiren trenin video görüntülerinden bir resim Şekil 14'de görülmektedir. Resimde G tipi vagon ve arkasındaki S tipi vagon arasındaki fren hortumu/kondivit hattı bağlı değildir. Her iki vagonun hava hortumu yerlerine asılı durumdadır. Buradan trenin sonundaki S tipi vagonun frensiz olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 14. Kaza geçiren trende G tipi vagon ve S tipi vagon arasındaki bağlantı

Fren hesapları aşağıdaki değerler dikkate alınarak yapılmıştır:

- G tipi vagonun darası : 15 ton
- G tipi vagonun fren ağırlığı (boş) : 14 ton
- S tipi vagonun darası : 23 ton
- Mobil demiryolu aracı darası : 2,5 ton
- S tipi vagonun tamponlarla vagon boyu : 19640 mm
- G tipi vagonun tamponlarla vagon boyu : 14020 mm
- Tren ‰ 23 (binde 23) rampada fren yapmıştır.

Fren hesaplarında aşağıdaki kabuller/varsayımlar yapılmıştır:

- Mobil demiryolu aracı ve G tipi vagon arasındaki fren hortumlarının bağlantısı yapılmıştır ve akerman muslukları açıktır.
- G tipi vagonun dolu/boş kolu boş konumundadır.
- S tipi yük vagonu frensizdir.
- Mobil demiryolu aracının fren ağırlığı 0 ton dur.
- G tipi vagonda 5 ton yük bulunmaktadır.
- S tipi vagonda 5 ton yük bulunmaktadır.
- Mobil demiryolu aracının uzunluğu 4991 mm. dir.
- Mobil demiryolu aracı çeki parçasının uzunluğu 1 m.dir.

## 12.2. Trenin Frenleme Oranının/Yüzdesinin Hesaplanması:

Frenleme oranı (fren yüzdesi veya fren emsali) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\Phi = \frac{P_s}{G} \cdot 100 \quad (1)$$

$\Phi$  = Frenleme oranı (fren yüzdesi veya fren emsali)

$P_s$  = Sabo baskı kuvveti (Fren ağırlığı) (ton)

$G$  = Araç ağırlığı (ton)

$P_s = 14$  ton

$G = 15 + 23 + 2,5 + 5 + 5 = 50,5$  ton

$\Phi = ?$

$$\Phi = \frac{14}{50,5} \cdot 100$$

$\Phi = 27,7$

Kaza yapan trenin frenleme oranı (fren yüzdesi) % 27,7 bulunmuştur.

### 12.3. Trenin Fren İvmesinin Hesaplanması

Trenin fren ivmesi aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$a_f = \frac{\Phi + 7}{151} \quad (2)$$

$a_f$  = Fren ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

$\Phi$  = Frenleme oranı (fren yüzdesi veya fren emsali)

$\Phi = 27,7$

$a_f = ?$  m/s<sup>2</sup>

$$a_f = \frac{27,7 + 7}{151}$$

$a_f = 0,23$  m/s<sup>2</sup>

Kaza yapan trenin fren ivmesi 0,23 m/s<sup>2</sup> bulunmuştur.

### 12.4. Trenin Hemzemin Geçitten Geçiş Hızının Hesaplanması:

$$V = \frac{X}{t} \quad (3)$$

V = Hız (km/saat)

X = Mesafe (km)

t = Süre (saat)

Video görüntülerinde aşağıdaki değerler bulunmuştur:

X = 19640mm + 14020mm + 4991mm + 1000mm = 39651mm

t = 16:42:52-16:43:06=14 saniye

V = ? km/saat

$$V = \frac{39651/1000000}{14/3600}$$

V = 10,2 km/saat

Kaza yapan trenin hemzemin geçitten geçiş hızı 10,2 km/saat bulunmuştur.

### 12.5. Trenin Duruş Mesafesinin Hesaplanması:

$$S_{fr} = \frac{1,1 \cdot V^2}{26 \cdot \left( a_f - \frac{i}{100} \right)} \quad (4)$$

$S_{fr}$  = Duruş mesafesi (katedilen yol, fren yolu) (metre)

V = Hız (km/saat)

$a_f$  = Fren ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

i = Rampanın 1000m deki yükselme değeri

V = 10,2 km/saat

$a_f = 0,23 \text{ m/s}^2$   
 $i = 23$   
 $S_{fr} = ? \text{ m}$

$$S_{fr} = \frac{1,1 \cdot 10,2^2}{26 \cdot \left(0,23 - \frac{23}{100}\right)}$$

$$S_{fr} = \frac{1,1 \cdot V^2}{26 \cdot (0,23 - 0,23)}$$

$$S_{fr} = \frac{1,1 \cdot V^2}{26 \cdot (0)}$$

$S_{fr} = \infty$

Tren  $0,23 \text{ m/s}^2$  olan fren ivmesi değeri ile ‰ 23 (binde 23) rampada duramaz.

### 13. Kaza Yapan Trenin Fren Hesaplarının Sonucu

Yukarıdaki başlıklardaki kabuller ve hesaplamalardan söz konusu trenin ‰ 23 (binde 23) rampada duramayacağı belirlenmiştir.

### 14. Sonuç

- Türkiye’de kullanılan mevcut mobil demiryolu araçlarının DDGM’deki NVR sistemine kayıtlarının yakın zamanda tamamlanacağı bilinmektedir. Böylece mevcut mobil demiryolu araçları için bir ECM atanacak ve bakım dosyasına sahip olacaklardır.
- NVR kaydı sırasında araca bakımdan sorumlu birim atanmaktadır. Bakımdan sorumlu kuruluşun 94-30/1.2012 numaralı OTIF ECM Düzenlemesi ve 445/2011/EU AB ECM Düzenlemesine göre sertifikalı olması ve söz konusu düzenlemelerdeki gerekleri yerine getirmesi gerekmektedir.
- Mevcut demiryolu araçlarının NVR’ye kaydı sırasında aracın kullanım el kitabının EN 15746’göre istenmesi DDGM’ye tavsiye edilmektedir. Kullanım el kitabında aracın çekebileceği/manevra yapabileceği vagon sayısı ve ağırlığının belirtilip belirtilmediği mutlaka kontrol edilmelidir.
- Üretilen mobil demiryolu araçları; EN 15746-1’de belirtilen gereksinimlere göre yetkilendirilmiş kuruluş tarafından onaylanmalıdır.
- Üretilen mobil demiryolu araçları; EN 15746-2’de belirtilen gereksinimlere uygunluğu üretici tarafından beyan edilmelidir.



- Mobil demiryolu aracına EN 15746-2 madde 7'ye göre emniyet tedbirlerine uygunluğun doğrulanması yapılmalıdır.
- EN 15746-1 madde 8'e göre yetkilendirilmiş kuruluş demiryolu altyapı işletmecisi (Türkiye'de TCDD) tarafından atanmış olmalıdır. Türkiye'de TCDD tarafından hiçbir kuruluş yetkilendirilmiş kuruluş olarak atanmamış veya belirlenmemiştir. DDGM tarafından yakın zamanda bu sorunun çözüleceği bilinmektedir.
- Mobil demiryolu aracı ile yük vagonlarına manevra yapılması veya yük vagonlarının çekilmesi yetkilendirilmiş kuruluş tarafından onaylanmış ise mümkündür.
- EN 15746-2 madde 5.24.5 ve 15746-2 madde 8.2.13'e göre; kullanım el kitabında çekebileceği/manevra yapabileceği vagon sayısı ve ağırlığı belirtilmelidir.
- Fren sistemini güvenilir bir şekilde çalıştırmak için yeterli hava kapasitesi olmalıdır. Sürekli servis freninin, konvansiyonel demiryolu taşıtlarına uygun bir kesintisiz hava freni olacak şekilde tasarlanmalıdır. Mobil demiryolu aracındaki hava beslemeli sürekli servis freni EN 15746-1 madde 5.12.2'de belirtilen donanıma ve şartlara sahip olmalıdır.
- TSI'lar incelendiğinde birkaç istisna hariç mobil demiryolu araçlarını kapsamadığı görülmüştür. Bu nedenle de DDGM tarafından mobil demiryolu araçları için TSI şartı aranmamaktadır. Mobil demiryolu araçları için EN 15746 şartı aranmalı ve DDGM'nin ilgili düzenlemelerine açıkça yazılmalıdır.

## Kaynaklar

- [1] Rail Accident Investigation Branch (RAIB) UK, "Investigation into runaways of road-rail vehicles and their trailers on Network Rail," 2009.
- [2] *EN 15746-1 + A1 Demiryolu uygulamaları - Yol - Karayolu ve demiryolu makinaları ve ilgili donanımları - Bölüm 1: Seyir ve çalışma için teknik özellikler.* .
- [3] *TS EN 15746-2 + A1 Demiryolu uygulamaları - Yol - Karayolu ve demiryolu makinaları ve ilgili donanımları - Bölüm 2: Genel emniyet kuralları.* .
- [4] European Railway Agency, *Guide for the application of TSI LOC&PAS.* 2015, p. 6.

# TÜRKİYE DEMİRYOLU SEKTÖRÜNDE SERBESTLEŞMEDEKİ MEVCUT DURUM

Ömür AKBAYIR<sup>1\*</sup>, Mehmet Mete ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, e-mail: omurakbayir@anadolu.edu.tr

<sup>2</sup> Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, e-mail: mmozturk@anadolu.edu.tr

## Özet

1950'li yıllardan 1990'lı yıllara kadar çoğu ülkede olduğu gibi Türkiye'de de demiryolu ile yük ve yolcu taşımacılığı oranı azalmıştır. Demiryolu taşımacılığı oranındaki düşüşün ana nedeninin demiryolu sektörünün devlet tekelinde olması ve bu nedenle rekabetin olmaması olduğu düşünülmüştür. Demiryolu taşımacılık oranının artırılması için çoğu ülkede olduğu gibi Türkiye'de demiryolu sektörünün yeniden yapılanma ve serbestleşme süreci başlatılmıştır. Bu çalışmada Türkiye demiryolu sektöründeki serbestleşme sürecinin mevcut durumu incelenmiştir. Serbestleşme kapsamında yürürlüğe giren düzenlemeler özetlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, serbestleşme, yeniden yapılanma, mevzuat

## Abstract

Railway freight and passenger transport rate has decreased in Turkey from the 1950s to the 1990s as in most countries. The main reason for the decreasing in the railway transport ratio is thought to be that the railway sector is monopolized by the state and that there is no competition for this reason. The railway sector restructuring and the liberalization process was initiated in Turkey as in most countries in order to increase the rate of railway transport. In this study, the current state of the liberalization process in Turkey railway sector investigated. Regulations entered into force within the scope of liberalization are summarized.

**Keywords:** Railway, liberalization, restructuring, regulations

## 1. Giriş

Demiryolları çoğu ülkede 1990'lı yıllara kadar devlet tekelindeydi. Altyapı ve işletmenin birbirinden ayrılmasını temel alan düzenlemeler Avrupa Birliğinde 1990'lı yılların başlarında yürürlüğe girmeye başladı. Serbestleşme ve yeniden yapılanmadaki amaç demiryolu tren işletmecileri ve demiryolu altyapı işletmecilerinin mali olarak devletten bağımsız, diğer ulaştırma modları ve kendi arasında rekabet edebilir olmasını sağlamaktır.

Türkiye'de serbestleşme ve yeniden yapılanmaya yönelik 1950'lerden sonra birçok çalışma yaptırılmış, 1990'lı yıllarla birlikte yoğunlaşmıştır. TCDD tarafından danışmanlık hizmeti alınmak sureti ile 1995 yılında Amerikan menşeli Booze Allen ve Hamilton Ltd. Şirketine hazırlatılan raporda TCDD mali yapısının 4 ana iş birimi üzerinde birbirinden bağımsız olarak yapılanması önerilmiştir. 2003 yılında İngiliz menşeli HalcrowGroup Limited & Carl Bro Firmasınca, Booz-Allen & Hamilton Firması'nın çalışmaları sonradan yürürlüğe giren AB müktesebatına uyum açısından değerlendirilmiş ve bir eylem planı hazırlanmıştır. 2006 yılında Almanların koordinatörlüğünde gerçekleştirilen eşleştirme projesi ile ilk etapta hukuki altyapının hazırlanması amaçlanmıştır. İkinci etapta EUROMED liderliğindeki konsorsiyum tarafından 2007 yılında TCDD'nin yeni organizasyonu raporlanmıştır. 2005'de Kanadalı Canac firmasına hazırlatılan raporda ise; iş birimi, yük, yolcu, bakım ve altyapı şeklinde organizasyona gidilmesi tavsiye edilmiştir. 2010 yılında Güney Afrika firması olan R&H Railway Consultants Firmasına

“TCDD’nin Bakım Programlarının Gözden Geçirilmesi” çalışması yaptırılmıştır. Söz konusu raporlar incelendiğinde ortak noktası serbestleşme ve ticaretin önündeki engellerin kaldırılmasıdır [1]. Türkiye demiryolu sektöründe serbestleşme süreci hukuki olarak 1 Kasım 2011 tarihinde başlamış halen devam etmektedir.

2011 Kasım - 2018 Temmuz tarihleri arasında yürürlüğe giren hukuksal düzenlemelerin amaçları ve sektörün yeni yapısı özetlenmiştir. Bu çalışma ile sektörün yeniden yapılanması, yürürlüğe giren yeni düzenlemeler, yeni aktörler, roller, zorunluklar, yetkilendirmeler, belgelendirmeler, kurum/kuruluşlar hakkında demiryolu sektöründe çalışanların bilgilendirmesi amaçlanmıştır.

## **2. Serbestleşme Sürecinin Başlaması**

### **2.1. 655 Sayılı KHK**

1 Kasım 2011 tarihli 655 Sayılı “Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname” Madde 8 - (1) ile Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü’nün görevleri belirlenmiştir [2]. 655 KHK ile; emniyet makamı, lisans makamı, rekabeti düzenleme makamı ve kamu hizmeti yükümlülüğü sözleşmelerinin yöneticisi olarak Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü kurulmuştur.

Ulaştırma modlarında meydana gelen ciddi kazalarla ilgili tek elden inceleme yapmak, kaza ve olayları raporlamak ve gerektiğinde emniyete yönelik tavsiyelerde bulunmak amacıyla söz konusu Kanun Hükmünde Kararname ile sürekli mahiyette, Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulunun (KAİK) oluşturulması hükme bağlanmıştır [2].

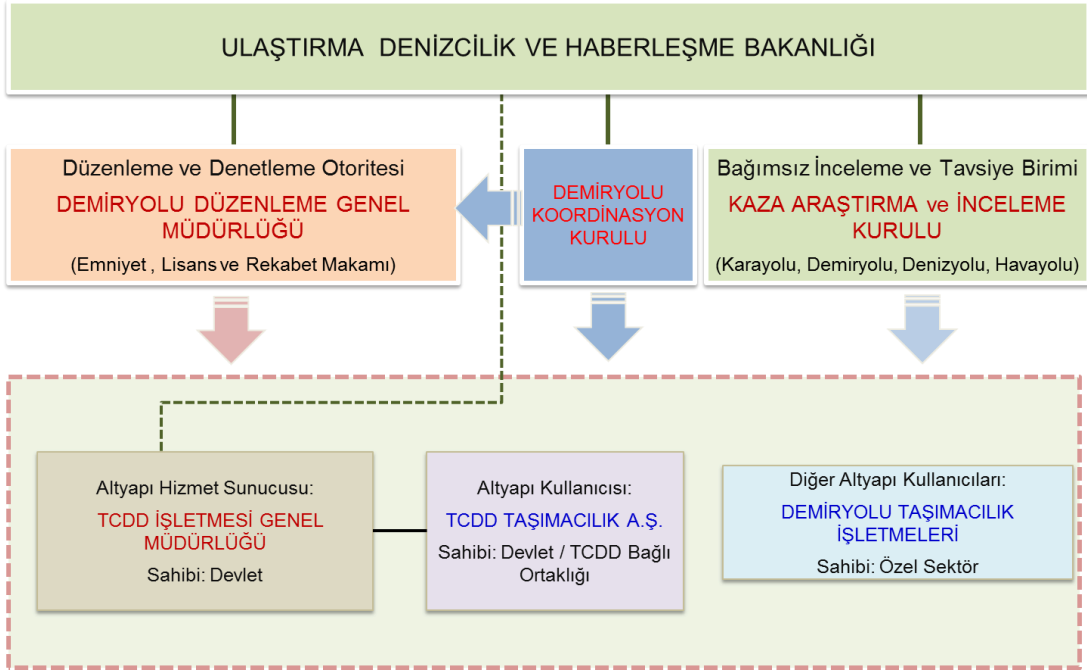
Ayrıca sözü Kanun Hükmünde Kararname ile; karayolu, demiryolu, denizyolu, içsuyolu ve havayoluyla yapılacak tehlikeli mal taşımacılığı faaliyetlerinin ve kombine taşımacılık faaliyetlerinin düzenlenmesi için “Tehlikeli Mal ve Kombine Taşımacılık Düzenleme Genel Müdürlüğü” kurulmuştur.

### **2.2. 6461 Sayılı Kanun**

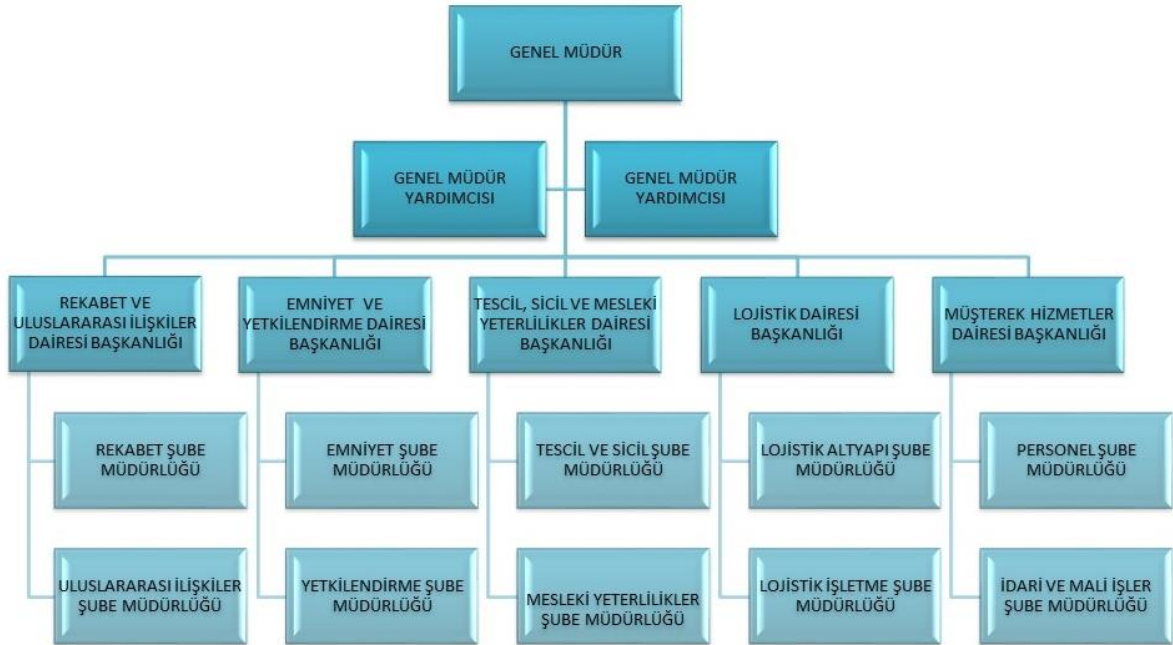
1 Mayıs 2013 tarihinde yürürlüğe giren 6461 sayılı “Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi Hakkındaki Kanun” ile TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü ikiye ayrılmıştır [3]. Söz konusu kanun ile demiryolu altyapı işletmecisi olarak TCDD’nin yeniden yapılandırılması, yük ve yolcu taşımacılığı yapmak amacıyla TCDD’nin bağlı ortaklığı olarak “TCDD Taşımacılık A.Ş.” nin kurulması süreci başlamıştır. 14 Haziran 2016 tarihinde tescili gerçekleştirilerek faaliyetlerine başlayan TCDD Taşımacılık AŞ, 28 Aralık 2016’ da TCDD Genel Müdürlüğü ile personel ve araç devir işlemleriyle taşınmaz tahsisleri konusunda bir protokol imzalamıştır. 1 Ocak 2017 tarihi itibarıyla TCDD’den muhasebe ve kaynakların ayrışması tamamlanarak TCDD Taşımacılık AŞ kurulmuş ve fiilen demiryolu taşımacılığının serbestleşme ve rekabete açılma süreci başlamıştır [4]. TCDD Taşımacılık A.Ş. kaydı, Türkiye Ticaret Sicili Gazetesinde 17.06.2016’da yayınlanmıştır [5].

## **3. Yeniden Yapılanma Sonrası Organizasyon Şemaları**

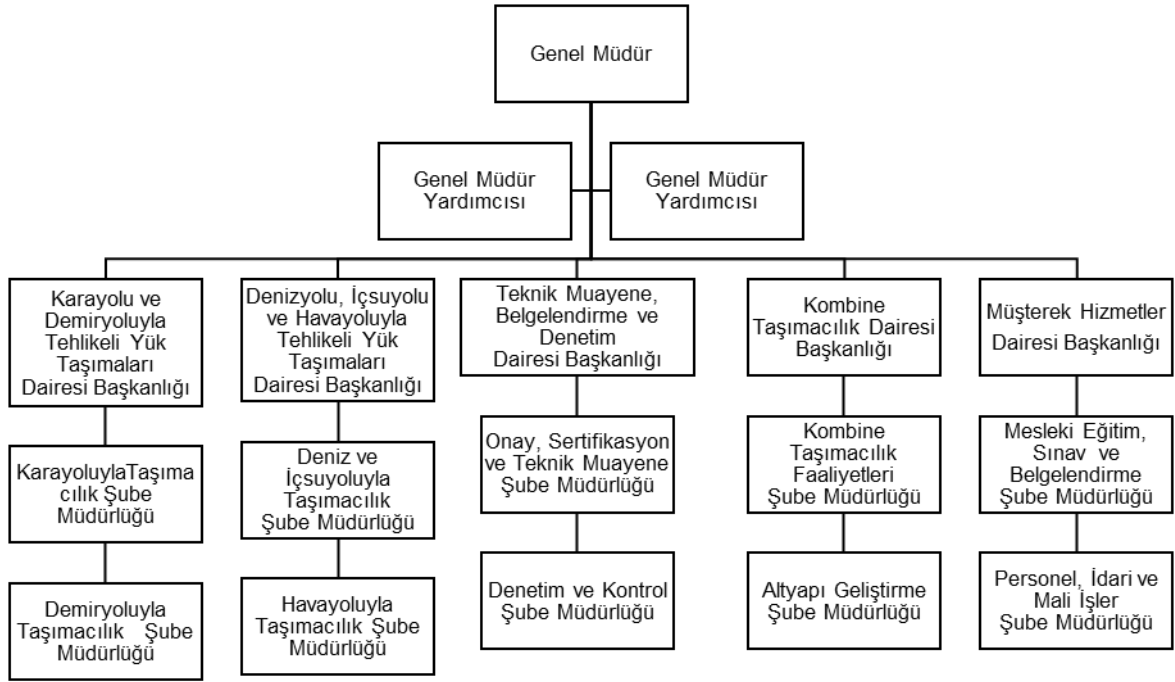
655 sayılı KHK ve 6461 sayılı kanun sonrası Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı altında demiryolu sektörü organizasyonu Şekil 1-5’deki hale gelmiştir [6].



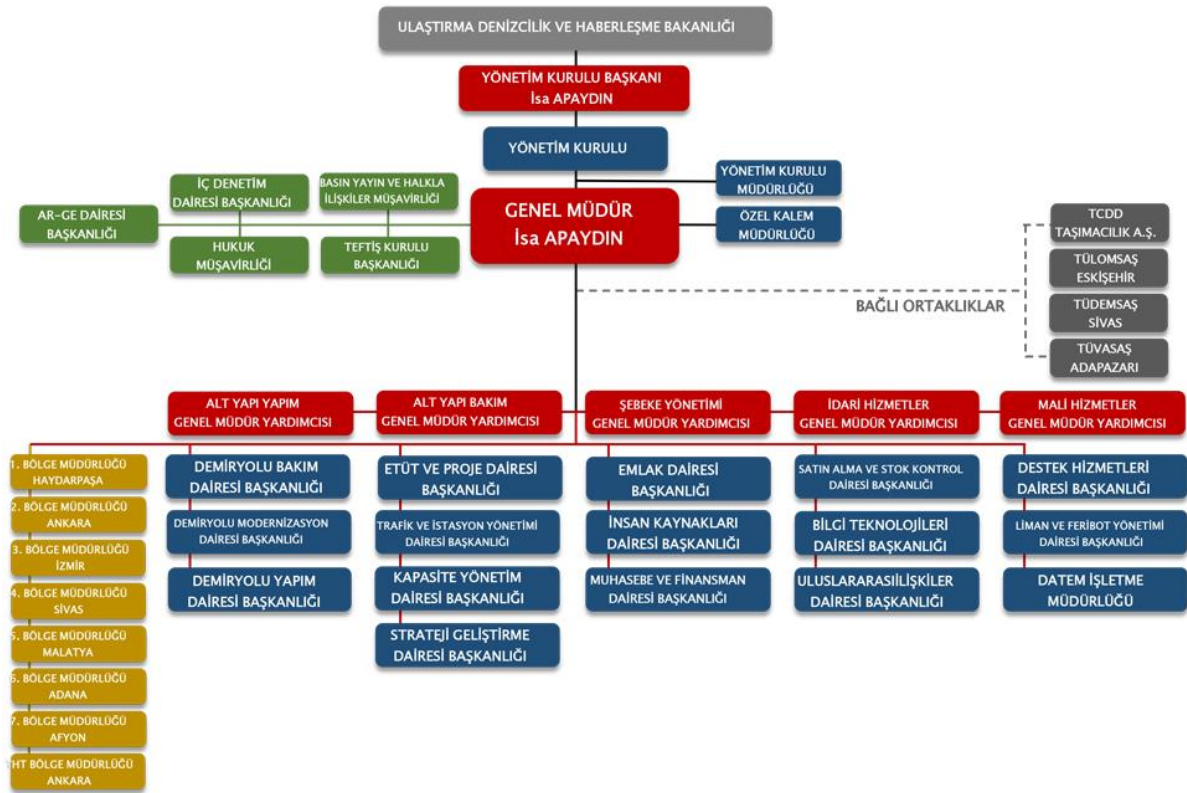
Şekil 1. 655 sayılı KHK ve 6461 sayılı kanun sonrası sektörün yeni yapısı [6]



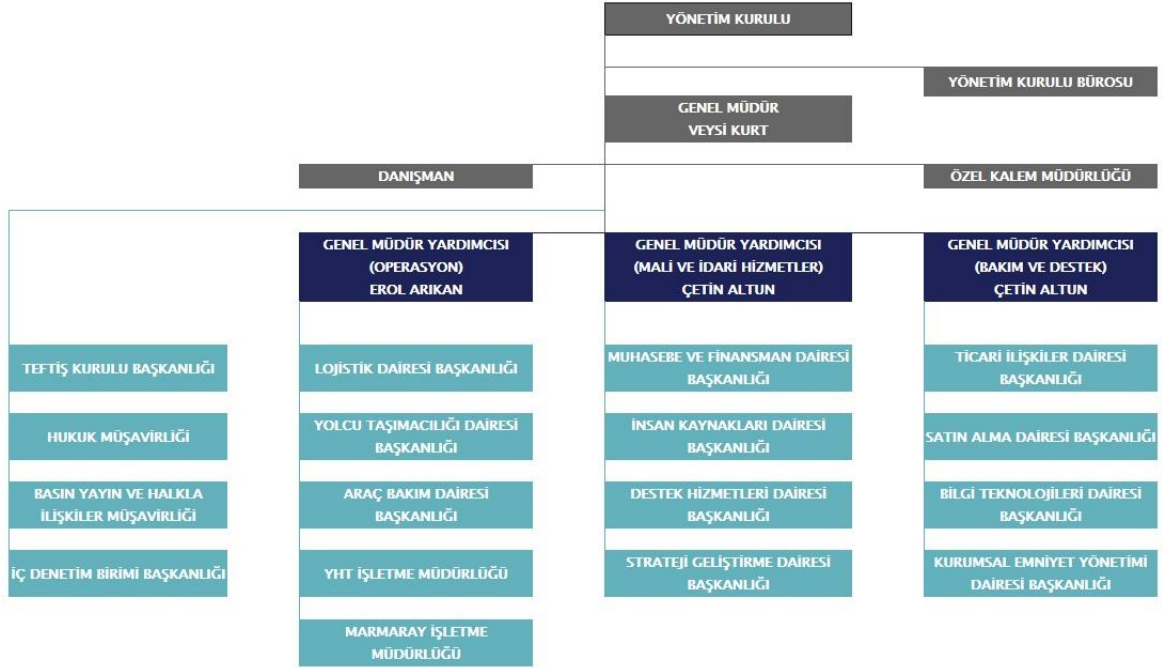
Şekil 2. 2018 Temmuz tarihli Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü (DDGM) organizasyon şeması [7]



Şekil 3. 2018 Temmuz tarihli Tehlikeli Mal ve Kombine Taşımacılık Düzenleme Genel Müdürlüğü organizasyon şeması [8]



Şekil 4. 2018 Temmuz tarihli TCDD organizasyon şeması [9]



Şekil 5. 2018 Temmuz tarihli TCDD Taşımacılık A.Ş. organizasyon şeması [4]

TCDD Taşımacılık AŞ; yük ve yolcu tren işletmecisi olarak çalışmakta ve araç bakım hizmetlerini gerçekleştirmektedir. Üç ana iş birimine dayalı olarak yapılan TCDD Taşımacılık AŞ'nin organizasyon şeması Şekil 5'de görülmektedir.

## 4. İkincil Mevzuatlar

### 4.1. Demiryolu İşletmeciliği Yetkilendirme Yönetmeliği

19 Ağustos 2016 tarihinde yürürlüğe giren "Demiryolu İşletmeciliği Yetkilendirme Yönetmeliği"nin amacı; ulusal demiryolu altyapı ağı üzerinde yapılan her türlü demiryolu taşımacılık faaliyetlerinde düzenin sağlanması; demiryolu taşımacılığı alanında faaliyette bulunanların hizmet esasları, mali yeterlik, mesleki yeterlik ve mesleki saygınlık şartlarının belirlenmesi, bu faaliyetlerde bulunanların; hakları, yetkileri, yükümlülükleri ve sorumluluklarının tespit edilmesi; yetkilendirilmesi ve denetlenmesi ile ilgili usul ve esasları düzenlemektir [10]. Söz konusu yönetmelikte Yetki Belgesi almak için sağlanması gereken kriterler belirlenmiş olup, Yetki Belgesi alan firmalar Çizelge 1'de görülmektedir [11].

Çizelge 1. 2018 Temmuz tarihinde Yetki Belgesine sahip firmalar

Yetki Belgesi	Başvuru	Ön inceleme	Verilen Belge
Demiryolu Yolcu Tren İşletmecisi (DB1)	3	0	3 (TCDD A.Ş., İZBAN, Kayseri Ulaşım)
Demiryolu Yük Tren İşletmecisi (DB2)	3	0	3 (TCDD A.Ş., KÖRFEZ, OMSAN)
Organizatör (DD)	68	1	67
Acente (DE2)	1	0	1

### 4.2. Demiryolu Emniyet Yönetmeliği

19 Kasım 2015 tarihinde yürürlüğe giren "Demiryolu Emniyet Yönetmeliği" nin amacı; demiryolu üzerindeki emniyetin yönetimi, düzenlenmesi ve denetlenmesi konularında ortak ilkelerin tanımlanması,

demiryolu altyapı işletmecilerine, demiryolu tren işletmecilerine ve şehir içi raylı toplu taşıma işletmecilerine emniyet belgelerinin verilmesi ve Türkiye sınırları içindeki demiryolu taşımacılığında emniyetin geliştirilmesi, iyileştirilmesi, izlenebilmesi ve denetlenebilmesinin sağlanması ve sorumlulukların belirlenmesidir [12]. Yetki Belgesi alan firmalar Çizelge 2’de görülmektedir. TCDD Genel Müdürlüğü 28.12.2017 tarihinde, Kayseri Ulaşım A.Ş. 24.01.2018 tarihinde Emniyet Sertifikası başvurusunda bulunmuştur [11].

Çizelge 2. 2018 Temmuz tarihinde Emniyet Belgesine sahip firmalar

Emniyet Belgesi	Başvuru	Ön İnceleme	Verilen Belge
Emniyet Sertifikası	5	2 (İZBAN, Kayseri Ulaşım)	3 (KÖRFEZ, OMSAN, TCDD AŞ)
Emniyet Yetkilendirmesi	1	0	1 (TCDD)

### 4.3. Tren Makinist Yönetmeliği

31 Aralık 2016 tarihinde yürürlüğe giren “Tren Makinist Yönetmeliği”; tren makinistlerinin görevlerini emniyetli bir şekilde yapabilmesi için asgari mesleki yeterlilikleri, sağlık şartları, çalışma saatleri ve sahip olması gereken belgeler ile ilgili usul ve esasları belirlemek için yayınlanmıştır [13]. Bu Yönetmelikte istenilen bilgi ve belgeleri Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü’ne sunan Tren Makinistlerine cer aracını sevk ve idaresini yapabilmesi için Tren Makinist Ehliyeti alma zorunluluğu getirilmiştir. Çizelge 3’de makinist ehliyetine sahip şirketler ve ehliyet sayısı görülmektedir.

Çizelge 3. 2018 Temmuz tarihinde Makinist ehliyetine sahip firmalar ve ehliyet sayısı

Firma	Makinist Sayısı
OMSAN A.Ş.	45
KÖRFEZ ULAŞTIRMA A.Ş.	30

### 4.4. Demiryolu Emniyet Kritik Görevler Yönetmeliği

31 Aralık 2016 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Emniyet Kritik Görevler Yönetmeliği”; demiryolu faaliyetlerinde emniyet kritik görevleri yapan personelin sahip olması gereken mesleki yeterlilik belgeleri ile ilgili usul ve esasları belirlemek amacıyla yayınlanmıştır [14]. Bu Yönetmelik ile başta Tren Makinistleri olmak üzere emniyet kritik görevleri yapan personelin kişisel Emniyet Belgesi sahibi olması, eğitim ve sınavlar ile sağlık ve psikoteknik değerlendirme şartları belirlenmiştir. Ayrıca, Demiryolu tren işletmecilerine istihdam ettikleri Emniyet Kritik Görevleri yapan personele, eğitim ve sınavlarla, gerekli mesleki yeterliliklerin kazandırılması, belgelendirilmesi, yenilenme eğitimlerinin verilmesi zorunluluğu getirilmiştir.

### 4.5. Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Yönetmeliği

31 Aralık 2016 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Yönetmeliği”; demiryolu taşımacılık faaliyetlerinde emniyet kritik görevleri yapan personele yönelik eğitimlerin, sınavların ve belgelendirmenin yapılacağı eğitim ve sınav merkezinin sağlaması gereken asgari koşullar ile bu merkezin yetkilendirilmesi ve denetlenmesi ile ilgili usul ve esasları belirlemek amacıyla yayınlanmıştır [15]. Bu Yönetmeliğe göre, başta Tren Makinistleri olmak üzere Emniyet Kritik Görevlerde çalışan personelin eğitim ve sınav faaliyetlerinin amacına uygun olarak yapılmasının sağlanması ve sertifikalandırılması hedeflenmiş olup, istenilen bilgi ve belgeleri karşılayan şirketlere Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü’nce eğitim ve sınav merkezi yetki belgesi verilecek ve söz konusu eğitimlerin amacına uygun olarak yerine getirilip getirilmediği konusunda denetlenecektir. Çizelge 4’de Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezleri görülmektedir.

Çizelge 4. 2018 Temmuz tarihinde Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezleri

Kuruluş Adı	Belge Türü	Eğitim/Sınav Yetkisi
-------------	------------	----------------------

TCDD TAŞIMACILIK A.Ş. Eskişehir Demiryolu Eğitim Merkezi	Tren Makinisti Temel Eğitimi	Eğitim
--	---------------------------------	--------

#### 4.6. Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği

16 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği”; ulusal demiryolu altyapı ağında çalıştırılacak demiryolu araçlarının teknik standartları, bakımlarını yapacak kuruluş/birimlerinin yetkilendirilmesi ve denetlenmesi, ulusal demiryolu araç kayıt sistemine kayıt yapılması, tescil belgesi düzenlenmesine ilişkin iş ve işlemler yürütülmesi amacıyla yayınlanmıştır [16].

Yönetmelik kapsamında Ulusal Demiryolu Aracı Kayıt Sistemi kurulmuştur. Söz konusu sistem OTIF ve Avrupa Demiryolu Ajansı tarafından üye ve taraf ülkelerin kullandığı ortak veri tabanına bağlı bir portaldır. Demiryolu araçlarının tescil işlemleri Ulusal Araç Kaydı (NVR) yazılım programı dâhilinde yapılmaktadır. Bu program kapsamında kaydedilen araçların tipi, üretim yılı, sahipliği, ECM’si gibi bilgilere, şifre verilmiş demiryolu işletmecileri ve diğer roller tarafından ulaşılabilmektedir. TCDD Genel Müdürlüğü ve TCDD Taşımacılık A.Ş.’ye şifreleri verilmiş olup sistem çalışmaktadır. NVR kayıtlarına: <http://snvr.ddgm.gov.tr/sNVR/Login/LoginView.aspx> adresinden ulaşılabilmekte olup, belge numarası ile bilgiler sorgulanabilmektedir. Ulusal Araç Kaydı (NVR)’nda kayıtlı araç sayıları Çizelge 5’de görülmektedir [11].

Çizelge 5. 2018 Temmuz tarihinde Ulusal Araç Kaydı (NVR)’nda kayıtlı araç sayıları

	TCDD	TCDD Taşımacılık AŞ	İZBAN	Özel Sektör	Toplam
Yük vagonu		16609		3973	20582
Yolcu vagonu		990			990
Lokomotif		669			669
Hızlı Tren		19			19
Tren Seti		210	24		234
Yol Bakım Araçları	319			5	324
Toplam	319	18497	24	3978	22818

Çizelge 6’da görüleceği üzere DDGM tarafından toplam 8 firma Bakımdan Sorumlu Kuruluş (ECM)/Birim olarak yetkilendirilmiştir

Çizelge 6. 2018 Temmuz tarihine kadar DDGM tarafından yetkilendirilmiş Bakımdan Sorumlu Kuruluşlar (ECM)/Birimler

Sertifika Verilen	Türü
TCDD TAŞIMACILIK A.Ş.	Bakımdan Sorumlu Kuruluş (ECM)
AR-GÜ	Bakımdan Sorumlu Kuruluş (ECM)
DEMİRYOLU LOJİSTİK	Bakımdan Sorumlu Kuruluş (ECM)
ACARLAR A.Ş.	Bakımdan Sorumlu Kuruluş (ECM)
TCDD	Bakımdan Sorumlu Birim
TCDD TAŞIMACILIK A.Ş.	Bakımdan Sorumlu Birim
İZBAN	Bakımdan Sorumlu Birim
TÜLOMSAŞ	Bakımdan Sorumlu Birim
PLASSER TURKEY	Bakımdan Sorumlu Birim
ACARLAR A.Ş.	Bakımdan Sorumlu Birim

#### 4.7. Demiryolu Araçları ve Ana Aksamaları Tip Onay Yönetmeliği

18 Kasım 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Araçları ve Ana Aksamaları Tip Onay Yönetmeliği”; kapsamında tescilli zorunlu olan demiryolu araçlarına ve bu araçların ana aksamalarına tip onayı verilmektedir [17]. Çizelge 7’de Demiryolu Araçları ve Ana Aksamaları Tip Onay Belgelendirmeleri görülmektedir.



Çizelge 7. 2018 Temmuz tarihine kadar Demiryolu Araçları ve Ana Aksamaları Tip Onay Belgelendirmeleri

Firma	Adet	Tipi
TÜDEMSAŞ	2	Yük vagonu
TÜLOMSAŞ	1	Yük vagonu
OMSAN	1	Yük vagonu

#### 4.8. Demiryolu Altyapı Erişim ve Kapasite Tahsis Yönetmeliği

2 Mayıs 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Altyapı Erişim ve Kapasite Tahsis Yönetmeliği”; serbest, adil, şeffaf ve sürdürülebilir bir rekabet ortamında ulusal demiryolu altyapı ağına erişimin sağlanması amacıyla demiryolu altyapı erişim ücretlerinin belirlenmesi ve demiryolu altyapı kapasitesinin tahsisi ile ilgili olarak uygulanacak usul ve esasları düzenlemek amacıyla yayınlanmıştır [18]. Usulüne göre yetkilendirilmiş ve emniyet sertifikasını almış olan demiryolu tren işletmecileri ulusal demiryolu altyapı ağına tren işletmeciliği yapmak istemeleri halinde demiryolu altyapı işletmecisinden kapasite tahsis talebinde bulunur. Talebi uygun görülen demiryolu tren işletmecisi ile altyapı işletmecisi arasında erişim sözleşmesi imzalanarak tren işletmeciliği başlar.

#### 4.9. Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Yönetmeliği

20 Ağustos 2016 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Yönetmeliği” bir demiryolu hattı üzerinde ticari şartlarda verilemeyen yolcu taşımacılığı hizmetinin, sosyal devlet ilkesi gereğince yerine getirilmesi için, demiryolu tren işletmecisinin maliyetlerinin karşılanması yani devlet tarafından desteklenmesi için gerekli usul ve esasları kapsar [19]. Kamu Hizmeti Yükümlülüğü kapsamında yolcu taşımacılığı hizmeti verilecek olan hatlar Bakanlar Kurulu tarafından belirlenir.

#### 4.10. Demiryolu Koordinasyon Kurulu Yönetmeliği

2 Haziran 2017 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Koordinasyon Kurulu Yönetmeliği” kapsamında Demiryolu Koordinasyon Kurulu oluşturulmuştur. Kurul; demiryollarından sorumlu ilgili Müsteşar Yardımcısı Başkanlığında Demiryolu Düzenleme Genel Müdürü, Altyapı Yatırımları Genel Müdürü, Tehlikeli Mal ve Kombine Taşımacılık Genel Müdürü, TCDD Genel Müdürü, TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürü ve sekreteryadan oluşur [20].

#### 4.11. Demiryolu Hemzemin Geçitlerinde Alınacak Tedbirler ve Uygulama Esasları Hakkında Yönetmelik

3 Temmuz 2013 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Hemzemin Geçitlerinde Alınacak Tedbirler ve Uygulama Esasları Hakkında Yönetmeliği” nin amacı; demiryolu hemzemin geçitlerinin ve bunlara ait koruma sistemlerinin yapımına, bakımına, işletilmesine ve işaretlemesine ilişkin standartları, usul ve esasları, ilgililerin yetki ve sorumluluklarını belirleyerek demiryolu hemzemin geçitlerinde demiryolu ve karayolu trafiğinin düzenini ve güvenliğini sağlamaktır [21].

#### 4.12. Demiryoluyla Seyahat Eden Yolcuların Haklarına Dair Yönetmelik

Taslak aşamasındaki “Demiryoluyla Seyahat Eden Yolcuların Haklarına Dair Yönetmeliği” nin amacı demiryolu ile seyahat edecek olan yolcuların, seyahat öncesinde, esnasında, sonrasında ve kendilerini etkileyen kaza ve olayların sonrasında sahip olacakları hakları, yolculara hizmet sunan kuruluşların yerine getirmesi gereken yükümlülükleri belirlemek ve düzenlemektir. [22].

#### 4.13. Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Hizmet Alımı Uygulama Yönetmeliği

Taslak aşamasındaki “Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Hizmet Alımı Uygulama Yönetmeliği” Kamu Hizmeti Yükümlülüğü kapsamında ulusal demiryolu altyapı ağına

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığınca gerçekleştirilecek demiryolu yolcu taşımacılığı hizmet alımı ihalelerinde uygulanacak usul ve esasları düzenlemektir [22].

#### **4.14. Demiryolu Sistemleri Karşılıklı İşletilebilirlik Yönetmeliği**

Taslak aşamasındaki “Demiryolu Sistemleri Karşılıklı İşletilebilirlik Yönetmeliği” ile Avrupa Birliği 2016/797/AT direktifi uyumlaştırılacaktır. Uyumlaştırmadan sonra Türkiye’de yerleşik NoBo lar demiryolu araçlarının TSI lara göre sertifikasyonunu yapabilecektir [22]. Taslak Yönetmelik 2018 yılı Ocak ayında Ekonomi Bakanlığı tarafından AB Komisyonuna gönderilmiştir.

#### **4.15. Demiryolu Sistemleri Uygunluk Değerlendirme Kuruluşlarına Dair Tebliğ**

Demiryolu alanında uygunluk değerlendirmesi yapacak kuruluşların çalışma esas ve usulleri ile yetkilendirilmelerine dair yapılan Tebliğ çalışmalarının 2018 yılı sonuna kadar tamamlanması planlanmaktadır [23].

#### **4.16. Demiryolu Sabit Alt Sistemlerinin Hizmete Sunulmasına Dair Yönetmelik**

Demiryolu sabit alt sistemlerinin emniyetli bir şekilde hizmete sunulmasını sağlamak üzere ilgili usul ve esasları belirleyecek bir Yönetmelik hazırlanması planlanmaktadır [23].

#### **4.17. Demiryolu İşletmeciliği İstatistiklerinin Oluşturulmasına Dair Genelge**

Demiryolu taşımacılık faaliyetlerinin genel seyrinin tespiti ve politika oluşturulması için güvenilir verilere dayalı istatistikler oluşturulması bakımından hangi yetki belgesi sahiplerinin nasıl bir takvime bağlı olarak faaliyet raporu göndereceklerini belirleyen bir Genelge hazırlanması planlanmaktadır [23].

#### **4.18. Banliyö, Metro ve Şehir İçi Raylı Ulaşım Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği**

Kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, il özel idareleri gerçek ve tüzel kişiler tarafından işletilmekte olan banliyö, metro ve şehir içi raylı ulaşım araçları tescil ve siciline ilişkin usul ve esaslar hakkında yönetmelik hazırlanması planlanmaktadır [23].

#### **4.19. Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Yönetmeliği**

6 Mayıs 2013 tarihinde yürürlüğe giren “Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Yönetmeliği” ile Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulunun oluşumu, görev, yetki ve sorumlulukları, çalışma usul ve esasları ile Kurul üyelerinde aranan şartlar, gerçek veya tüzel kişilerin yükümlülüklerine ilişkin hususlar belirlenmiştir [24]. Kaza Araştırma ve İnceleme Kurumu tarafından 2018 Temmuz tarihine kadar 27 adet kaza raporu hazırlanmıştır. Kurulun başlıca çalışma alanları genel hatlarıyla aşağıdaki gibidir.

- Ulaştırma modlarında meydana gelen ciddi kazaları incelemek,
- Ulaştırma modları emniyet düzenlemeleri ve emniyet yönetimi bakımından belirgin bir etkiye sahip kaza ve olayları incelemek,
- Hazırlanan raporları gerektiğinde taraflara ve ilgili ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşlara göndermek,
- Araştırma ve incelemesi yapılan kaza ve olaylar hakkında yıllık istatistikleri yayımlamak,

#### **4.20. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Tarafından Bilirkişi Görevlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ**

1 Ağustos 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Tarafından Bilirkişi Görevlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ” nin amacı çözümü özel uzmanlık veya teknik bilgiyi gerektiren kaza araştırma ve incelemelerinde Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu tarafından görevlendirilecek bilirkişiler için liste hazırlanmasını, uzmanlık alanlarının belirlenmesini, başvurabilecek olanların niteliklerini, müracaat usulünü,

değerlendirme esaslarını, listelerin oluşturulmasını, görevin ifa şeklini ve süresini, bilirkişilere ödenecek ücret ve sair giderleri, haklı bir sebep olmaksızın edimin ifasına aykırı tutum ve davranışta bulunanlar hakkında uygulanacak yaptırımları düzenlemektir [25].

#### **4.21. TCDD Şebeke Bildirimi**

TCDD, 6461 Sayılı Kanun ile ulusal demiryolu altyapı ağı içinde yer alan ve devletin tasarrufundaki demiryolu altyapısının kendisine devredilen kısmı üzerinde demiryolu altyapı işletmecisi olarak görevlendirilmiştir. TCDD, tasarrufundaki demiryolu altyapısını güvenli ve emniyetli bir şekilde demiryolu tren işletmecilerinin hizmetine sunmak üzere Şebeke Bildirimini hazırlamış ve yayımlamıştır.

TCDD 2017, 2018, 2019 yıllarına ait şebeke bildirimini yapmış ve Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından onaylanmıştır. TCDD 2018 yılına ait şebeke bildirimini 11.05.2017 tarihinde, 2019 yılına ait şebeke bildirimini 11.04.2018 tarihinde yapmıştır. TCDD tarafından yapılan şebeke bildiriminde; TCDD tasarrufundaki demiryolu altyapı kapasitesi için talepte bulunmak isteyen Demiryolu Tren İşletmecilerine (DTİ) aşağıdaki hususlarda bilgi vermektir [12]:

- TCDD'nin tasarrufundaki demiryolu altyapısının kullanımına ilişkin genel şart ve koşullar,
- Kapasite tahsisi sürecinde yerine getirilmesi ve göz önünde bulundurulması gereken hususlar,
- Demiryolu altyapısı ve verilen hizmetler,
- Altyapı erişim ücretleri ile TCDD tarafından sağlanan hizmetlerin ücretlendirilmesi.

#### **4.22. TCDD Ana Statü Değişikliği**

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) İşletmesi Genel Müdürlüğü ana statüsü 4 Haziran 2016 tarihli ve 29732 sayılı resmî gazete yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Ana Statü'nün amacı; Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü adı altında teşkil olunan iktisadi devlet teşekkülünün hukuki statüsünü, faaliyet alanını ve görevlerini, organlarını ve teşkilat yapısını, müessese, bağlı ortaklık, işletme ve iştirakleri ile bunlar arasındaki ilişkileri, tasfiye, denetim, mali ve personele ilişkin hükümler ile malvarlığı ve ilgili diğer hususları düzenlemektir [26].

TCDD'nin yeni organizasyon yapısı yapım, bakım ve yönetim olarak üç ana iş birimi üzerinde kurgulanmıştır. TCDD'nin; TÜLOMSAŞ, TÜDEMSAŞ, TÜVASAŞ ve en son kurulan TCDD Taşımacılık A.Ş., olmak üzere 4 adet bağlı ortaklığı bulunmaktadır [27]. TCDD'nin; HYUNDAI EUROTREM, SİTAŞ, VADEMSAŞ, İZBAN, RAYSİMAŞ olmak üzere 5 adet iştiraki bulunmaktadır. RAYSİMAŞ (Raylı Sistemler Mühendislik Müşavirlik Anonim Şirketi); demiryolu, hafif raylı sistem ve metro hatları ile bu sektörde kullanılan araçlara yönelik etüd ve projeler hazırlamak, bu sistemlerde kullanılan araçların sertifikasyon işlemlerini yapmak amacıyla TCDD'nin % 50 iştirakiyle 10.07.2017 tarihinde kuruldu [28].

#### **4.23. Demiryolu Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği**

16 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe giren "Demiryolu Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği" nin amacı demiryolu kaza ve olaylarının araştırılması ve incelenmesi, bunlara ilişkin bildirimlerin yapılmasına yönelik usul ve esaslar ile görev, yetki ve sorumlulukları belirlemektir [29].

#### **4.24. Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Kapsamında Yolcu Taşımacılığı Hizmeti Verilecek Demiryolu Hatlarının Belirlenmesine İlişkin Karar**

30 Nisan 2018 tarihli Bakanlar Kurulu kararında "Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Kapsamında Yolcu Taşımacılığı Hizmeti Verilecek Demiryolu Hatlarının Belirlenmesine İlişkin Karar" ile kamu hizmeti yükümlülüğü kapsamında yolcu taşımacılığı hizmeti verilecek demiryolu hatları kararlaştırılmıştır [30].

### **5. Kılavuz ve Formlar**

Yukarıda sözü edilen düzenlemelerin uygulamasına yardımcı olmak üzere DDGM tarafından aşağıdaki kılavuz ve formlar yayınlanmıştır [11]:

Demiryolu Araçları:

- Bakımdan Sorumlu Kuruluşların (Ecm) Sertifikasyonu Ve Denetimi İçin Kurallar
- Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Başvuru Kılavuzu
- Bakımdan Sorumlu Kuruluş(ECM) için Başvuru Kılavuzu
- Bakımdan Sorumlu Birim Başvuru Kılavuzu
- Araç Zilyed İşareti (VKM) - Başvuru Formu

Emniyet:

- Emniyet Belgeleri İçin Başvuru Kılavuzu
- EYS Uygunluk Değerlendirmesi İçin Ortak Emniyet Yöntemi Ve Kılavuzu
- EYS İzleme İçin Ortak Emniyet Yöntemi Ve Kılavuzu
- EYS Denetleme için Ortak Emniyet Yöntemi ve Kılavuzu
- Ortak Emniyet Göstergeleri ve Kılavuzu
- Ortak Emniyet Göstergeleri (Excel Tablosu)
- Risk Değerlendirmesi İçin Ortak Emniyet Yöntemi Ve Kılavuzu
- Emniyet Sertifikası Başvuru Formu
- Emniyet Yetkilendirmesi Başvuru Formu

Yetkilendirme:

- Demiryolu Tren İşletmecileri İçin Yetkilendirme Belgesi Başvuru Kılavuzu
- Diğer Demiryolu İşletmecileri İçin Yetkilendirme Belgesi Başvuru Kılavuzu
- Eğitim ve Sınav Merkezi Başvuru Kılavuzu
- Demiryolu Tren İşletmecileri Yetki Belgesi Başvuru Formu
- Diğer Demiryolu İşletmecileri Yetki Belgesi Başvuru Formu

Makinist Ehliyeti:

- Tren Makinist Ehliyeti Başvuru Kılavuzu

Mesleki Yeterlilik:

- Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Yetki Belgesi Başvuru Formu
- Tren Makinist Ehliyeti Başvuru Formu

Kamu Hizmeti Yükümlülüğü

Demiryolu Yolcu Taşımacılığı Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Hizmet Alımı Sözleşmesi

## 6. Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu, Bakımdan Sorumlu Kuruluşa İlişkin Protokoller

Çizelge 8'de Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı ile protokol yaparak Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu, Bakımdan Sorumlu Kuruluş olarak yetkilendirilen firmalar listelenmiştir.

Çizelge 8. 2018 Temmuz tarihine kadar Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu, Bakımdan Sorumlu Kuruluşa İlişkin Protokoller

Tarih	Atanmış Kuruluş	Değerlendirme Kuruluşu	Bakımdan Sorumlu Kuruluş Denetimi
15.06.2017	TSE	TSE	TSE
07.11.2017	STM	STM	STM
20.12.2017	CERTIFER TÜRKİYE	CERTIFER TÜRKİYE	
06.02.2018	TÜRK Loydu	TÜRK Loydu	

Burada Atanmış Kuruluş; demiryolu araçlarının ulusal yeterlilikleri karşılayıp karşılamadığının değerlendirilmesi, raporlanması ve belgelendirilmesi hususlarını yerine getirir.

Değerlendirme Kuruluşu ise, demiryolu araçlarının ilgili UTP'ler kapsamında yeterlilikleri karşılayıp karşılamadığının değerlendirilmesi, raporlanması ve belgelendirilmesi hususlarını yerine getirir.

Bakımdan Sorumlu Kuruluş ise, Bakımdan Sorumlu Kuruluş olmak için başvuruda bulunan işletmelerin değerlendirmesini/denetlenmesini COTIF sözleşmesi ATMF EK-A'ya göre yaparak Bakanlığa raporlama hususlarını yerine getirir.

## **7. Tehlikeli Maddelerin Demiryolu İle Taşınmasına İlişkin Düzenlemeler**

### **7.1. Tehlikeli Maddelerin Demiryolu İle Taşınması Hakkında Yönetmelik**

16 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Tehlikeli Maddelerin Demiryolu İle Taşınması Hakkında Yönetmeliği” nin amacı; tehlikeli maddelerin, insan sağlığı ve diğer canlı varlıklar ile çevreye zarar vermeden güvenli ve emniyetli bir şekilde demiryolu ile taşınmasını sağlamak ve bu faaliyetlerde yer alan tarafların hak, sorumluluk ve yükümlülüklerine ilişkin usul ve esasları belirlemektir [31].

### **7.2. Tehlikeli Maddelerin Demiryoluyla Taşınması Hakkında Eğitim Yönergesi**

22 Ekim 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Tehlikeli Maddelerin Demiryoluyla Taşınması Hakkında Eğitim Yönergesi” nin amacı; tehlikeli maddelerin demiryolu ile taşınmasında görev alacak kişilere verilecek eğitimleri, eğitim programlarının içeriğini, eğitimi verecek eğitim kurumları ve işletmeler ile eğitimleri verecek eğiticilerin yetkilendirilmesine ve denetimine ilişkin usul ve esaslarını belirlemektir [32].

### **7.3. Demiryolu Taşımalarında Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi Düzenlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönerge**

24 Aralık 2015 tarihinde yürürlüğe giren “Demiryolu Taşımalarında Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi Düzenlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönerge” nin amacı dolduran, paketleyen, yükleyen, gönderen, alıcı, boşaltan, tank-konteyner/portatif tank işletmecisi, sarnıç-vagon sahibi/işletmecisi, demiryolu tren işletmecisi ve demiryolu alt yapı işletmecisi olarak bu faaliyetlerden biri veya birden fazlasıyla iştirak eden işletmelerin, almak zorunda oldukları Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesinin düzenlenmesine ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

### **7.4. Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı Hakkında Tebliğ**

22 Mayıs 2014 tarihinde yürürlüğe giren “Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı Hakkında Tebliğ” nin amacı tehlikeli maddeleri; taşıyan, gönderen, paketleyen, yükleyen, dolduran ve boşaltan işletmelerin yaptıkları işlemleri, insan sağlığına, diğer canlı varlıklara ve çevreye zarar vermeden, güvenli bir şekilde taraf olduğumuz uluslararası anlaşmalar ve ilgili mevzuat hükümleri kapsamında yapmaları için işletmelere yardımcı olmak amacıyla istihdam edilecek veya hizmet alınacak tehlikeli madde güvenlik danışmanlarının (TMGD) nitelikleri, eğitimleri ve belgelendirilmeleri ile görev, yetki ve sorumluluklarına dair usul ve esasları düzenlemektir [33].

2018 Temmuz tarihine kadar tehlikeli madde taşımacılığı hususunda yapılan yetkilendirmeler Çizelge 9'da görülmektedir. Tehlikeli yüklerin taşınmasında kullanılan “ambalajlar, paketler, orta boy dökme konteynerler, büyük ambalajlar ve tankların” onay, test, sertifikalandırma ve muayenelerine ilişkin iş ve işlemler ile üretilen bu ürünlere UN (Birleşmiş Milletler Numarası) Numarası verilmesi için Türk Standardları Enstitüsü, 6 Mart 2013 tarihinde yetkilendirilmiştir. Konteyner ve taşınabilir basınçlı kapların test, muayene ve belgelendirilmesi hususunda 26 Aralık 2013 tarihinde Türk Loydu Vakfı İktisadi İşletmesi yetkilendirilmiştir.

Türk Loydu Vakfı İktisadi İşletmesi basınçlı kaplar ve konteynerlerin test ve muayenesi konusunda yetkilendirilmiştir [8].

Çizelge 9. 2018 Temmuz tarihine kadar tehlikeli madde taşımacılığı hususunda yapılan yetkilendirmeler

<b>Yetkilendirme</b>	<b>Sayı</b>
RID eğitimi için yetkilendirilen eğiticiler	56
Tehlikeli madde güvenlik danışmanı eğiticisi olarak yetkilendirilen eğiticiler	103
Tehlikeli madde güvenlik danışmanlığı eğitimi vermek üzere yetkilendirilmiş eğitim kuruluşları (RID alanında)	48

Tehlikeli maddelerin demiryoluyla taşınmasına yönelik RID kapsamında eğitim vermek üzere yetkilendirilmiş eğitim kuruluşları (Ticari)	4
Tehlikeli maddelerin demiryoluyla taşınmasına yönelik RID kapsamında kendi personeline eğitim vermek üzere yetkilendirilmiş işletmeler (Hizmet içi)	2
Tehlikeli madde güvenlik danışmanı (RID alanında)	343
Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesine sahip işletmeler	76

## 8. Serbestleşme Süreci Hukuksal Düzenlemelerin Kronolojik Sıralaması

Serbestleşme sürecine ilişkin düzenlemeler kronolojik olarak Çizelge 10'da bir araya getirilmiştir.

Çizelge 10. 2018 Temmuz tarihine kadar serbestleşme süreci zaman çizelgesi

Tarih	Düzenleme
1995	Amerikan menşeele Booze Allen ve Hamilton Ltd. Şirketinin TCDD için Hazırladığı Rapor
2003	İngiliz menşeele HalcrowGroup Limited & Carl Bro Firmasının TCDD için Hazırladığı Rapor
2005	Kanada menşeele Canac firmasının TCDD için Hazırladığı Rapor
2006	Almanların Koordinatörlüğünde Eşleştirme Projesi
2007	EUROMED Liderliğindeki Konsorsiyum Tarafından Hazırlanan Rapor
2010	Güney Afrika menşeele R&H Railway Consultants Firmasınca "TCDD'nin Bakım Programlarının Gözden Geçirilmesi"
01.11.2011	655 Sayılı Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname
06.03.2013	TMKT - TSE Arasında Tehlikeli Malların Taşınmasına İlişkin Uluslararası Anlaşma ve Sözleşmeler Kapsamında Test, Sertifikalandırma ve Muayene İşlemlerini Yapma Hususunda Yetkilendirme
01.05.2013	6461 sayılı Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi Hakkındaki Kanun
06.05.2013	Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Yönetmeliği
03.07.2013	Demiryolu Hemzemin Geçitlerinde Alınacak Tedbirler ve Uygulama Esasları Hakkında Yönetmeliği
26.12.2013	TMKT - TSE Arasında Konteyner ve Taşınabilir Basınçlı Kapların Test, Muayene ve Belgelendirilmesi Hususunda Yetkilendirme
22.05.2014	Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı Hakkında Tebliğ
02.05.2015	Demiryolu Altyapı Erişim ve Kapasite Tahsis Yönetmeliği
16.07.2015	Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği
16.07.2015	Demiryolu Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği
16.07.2015	Tehlikeli Maddelerin Demiryolu İle Taşınması Hakkında Yönetmelik
01.08.2015	Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Tarafından Bilirkişi Görevlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ
22.10.2015	Tehlikeli Maddelerin Demiryoluyla Taşınması Hakkında Eğitim Yönergesi
18.11.2015	Demiryolu Araçları ve Ana Aksamları Tip Onay Yönetmeliği
19.11.2015	Demiryolu Emniyet Yönetmeliği
24.12.2015	Demiryolu Taşımalarında Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi Düzenlenmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönerge
04.06.2016	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Ana Statüsü
14.06.2016	TCDD Taşımacılık AŞ'nin Tescili
17.06.2016	TCDD Taşımacılık AŞ'nin Türkiye Ticaret Sicili gazetesinde yayınlanması
19.08.2016	Demiryolu İşletmeciliği Yetkilendirme Yönetmeliği
20.08.2016	Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Yönetmeliği
31.12.2016	Demiryolu Emniyet Kritik Görevler Yönetmeliği
28.12.2016	TCDD Genel Müdürlüğü-TCDD Taşımacılık AŞ arasında prototol
31.12.2016	Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Yönetmeliği
01.01.2017	TCDD Taşımacılık AŞ'nin kurulması
02.06.2017	Demiryolu Koordinasyon Kurulu Yönetmeliği
11.05.2017	TCDD'nin 2018 Dönemi Şebeke Bildirimi

15.06.2017	DDGM-TSE Arasında Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu, Bakımdan Sorumlu Kuruluş Hususunda Protokol
10.07.2017	RAYSİMAŞ'ın kurulması
07.11.2017	DDGM- STM Arasında Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu Hususunda Protokol
20.12.2017	DDGM- CERTIFER TÜRKİYE Arasında Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu Hususunda Protokol
06.02.2018	DDGM- TÜRK IOYDU Arasında Atanmış Kuruluş, Değerlendirme Kuruluşu Hususunda Protokol
11.04.2018	TCDD'nin 2019 Dönemi Şebeke Bildirimi
30.04.2018	Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Kapsamında Yolcu Taşımacılığı Hizmeti Verilecek Demiryolu Hatlarının Belirlenmesine İlişkin Karar
Taslak	Demiryoluyla Seyahat Eden Yolcuların Haklarına Dair Yönetmelik
Taslak	Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Hizmet Alımı Uygulama Yönetmeliği
Taslak	Demiryolu Sistemleri Karşılıklı İşletilebilirlik Yönetmeliği
Planlanan	Demiryolu Sistemleri Uygunluk Değerlendirme Kuruluşlarına Dair Tebliğ
Planlanan	Demiryolu Sabit Alt Sistemlerinin Hizmete Sunulmasına Dair Yönetmelik
Planlanan	Demiryolu İşletmeciliği İstatistiklerinin Oluşturulmasına Dair Genelge
Planlanan	Banliyö, Metro ve Şehir İçi Raylı Ulaşım Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği

## 9. Sonuç

Demiryolu sektörüne Türkiye’de verilen önemi doğru kavrayabilmek, sektörle ilgili yapılan hukuksal düzenlemeleri incelemekle mümkün olacaktır. Sektörde 2011 yılına kadar çok büyük hukuksal düzenlemeler olmamıştır. Serbestleşme sürecindeki hukuksal düzenlemelerin özetlenmesi sayesinde sektörün büyüme ve gelişim süreci daha geniş açıdan görülecektir.

## Kaynaklar

- [1] B. R. BEKEM, “Demiryolu Ulaşım Sektöründeki Serbestleşmenin Demiryolu Ulaştırmasının Gelişimine Etkisi,” Türk Hava Kurumu Üniversitesi, 2016.
- [2] 01.11.2011 tarihli Resmi Gazete, *655 Sayılı Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname*. 2011.
- [3] 1.5.2013 tarihli Resmi Gazete, *6461 Sayılı Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi Hakkındaki Kanun*. 2013.
- [4] “TCDD Taşımacılık AŞ Hakkında.” [Online]. Available: <http://www.tcddtasimacilik.gov.tr/hakkında>.
- [5] 17.6.2016 tarihli Türkiye Ticaret Sicili Gazetesi, *Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Taşımacılık Anonim Şirketi*. 2016.
- [6] TCDD, *2019 Yılına Ait Şebeke Bildirimi*. 2018.
- [7] “DDGM Organizasyon Şeması.” [Online]. Available: [http://www.ubak.gov.tr/BLSM\\_WIYS/DDGM/tr/doc/Doc\\_Ust/20160127\\_140458\\_65529\\_1\\_46492.jpg](http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/DDGM/tr/doc/Doc_Ust/20160127_140458_65529_1_46492.jpg).
- [8] “Tehlikeli Mal ve Kombine Taşımacılık Düzenleme Genel Müdürlüğü.” [Online]. Available: <http://www.tmkt.gov.tr/>.
- [9] “TCDD Organizasyon Şeması.” [Online]. Available: <http://www.tcdd.gov.tr/content/30>.
- [10] 19.8.2016 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu İşletmeciliği Yetkilendirme Yönetmeliği*. 2016.
- [11] “Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü.” [Online]. Available: [www.ddgm.gov.tr](http://www.ddgm.gov.tr).
- [12] 19.11.2015 sayılı Resmi Gazete, *Demiryolu Emniyet Yönetmeliği*. 2015.

- [13] 31.12.2016 tarihli Resmi Gazete, *Tren Makinist Yönetmeliği*. 2016.
- [14] 31.12.2016 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Emniyet Kritik Görevler Yönetmeliği*. 2016.
- [15] 31.12.2016 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Yönetmeliği*. 2016.
- [16] 16.7.2015 tarihli Resmi Gazete, "Demiryolu Araçları Tescil ve Sicil Yönetmeliği," 2015.
- [17] 18.11.2015 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Araçları ve Ana Aksamaları Tip Onay Yönetmeliği*. 2015.
- [18] 2.5.2015 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Altyapı Erişim ve Kapasite Tahsis Yönetmeliği*. 2015.
- [19] 20.8.2016 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Yolcu Taşımacılığında Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Yönetmeliği*. 2016.
- [20] 2.6.2017 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Koordinasyon Kurulu Yönetmeliği*. 2017.
- [21] 3.7.2013 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Hemzemin Geçitlerinde Alınacak Tedbirler ve Uygulama Esasları Hakkında Yönetmelik*. 2013.
- [22] Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü, "Taslak Yönetmelikler." [Online]. Available: [http://www.ubak.gov.tr/BLSM\\_WIYS/DDGM/tr/Belgelik/Bel\\_Ust/20140219\\_120133\\_65529\\_1\\_46492.html](http://www.ubak.gov.tr/BLSM_WIYS/DDGM/tr/Belgelik/Bel_Ust/20140219_120133_65529_1_46492.html).
- [23] "15 Ocak 2018 Tarihli DDGM Değerlendirme Toplantısı Sunusu," 2018.
- [24] 6.5.2013 tarihli Resmi Gazete, *Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Yönetmeliği*. 2013.
- [25] 1.8.2015 tarihli Resmi Gazete, *Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Kaza Araştırma ve İnceleme Kurulu Tarafından Bilirkişi Görevlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ*. 2015.
- [26] 4.6.2016 tarihli Resmi Gazete, *Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Ana Statüsü*. 2016.
- [27] "TCDD Bağlı Ortaklıklar." [Online]. Available: <http://www.tcdd.gov.tr/content/34>.
- [28] "TCDD İştirakler." [Online]. Available: <http://www.tcdd.gov.tr/content/53>.
- [29] 16.7.2015 tarihli Resmi Gazete, *Demiryolu Kazalarını ve Olaylarını Araştırma ve İnceleme Yönetmeliği*. 2015.
- [30] 30.4.2018 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı, *Kamu Hizmeti Yükümlülüğü Kapsamında Yolcu Taşımacılığı Hizmeti Verilecek Demiryolu Hatlarının Belirlenmesine İlişkin Karar*. 2018.
- [31] 16.7.2015 tarihli Resmi Gazete, *Tehlikeli Maddelerin Demiryolu İle Taşınması Hakkında Yönetmelik*. 2015.
- [32] 22.10.2015 tarihli Resmi Gazete, *Tehlikeli Maddelerin Demiryoluyla Taşınması Hakkında Eğitim Yönergesi*. 2015.
- [33] 22.5.2014 tarihli Resmi Gazete, *Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı Hakkında Tebliğ*. 2014.



# DYNAMICAL ANALYSIS OF THE CONTACT FORCES FOR HIGH SPEED TRAIN WHICH MOVING ON THE FLEXIBLE STRUCTURES

Mehmet Akif Koç<sup>1\*</sup>, Mustafa Eroğlu<sup>2</sup>, İsmail Esen<sup>3</sup>, Yusuf Çay<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, makoc@sakarya.edu.tr

<sup>2\*</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, mustafaeroglu@sakarya.edu.tr

<sup>3\*</sup> Sakarya University, Karabük, Turkey, iesen@karabuk.edu.tr

<sup>4\*</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, yçay@sakarya.edu.tr

## Abstract

In this paper, ten DOF half car train model was examined to determine time dependent dynamical contact forces between train wheel and flexible structure likewise a bridge. The train model which used in this study consist of train front and rear bogies, train wheels I train body and spring and damping element which represent primary and secondary suspension systems for high speed train. The equation of motion for Train Bridge Interaction (TBI) is defined by Lagrange equation using kinetic and potential energies of contact points between high speed train wheel and bridge structure. After the equation of motion stated first order state-space representation, the equations of motion of the entire system were solved in time domain using fourth order Runge-Kutta algorithm with special a software that papered in MATLAB environment. Then, the contact forces between train wheels and bridge structure have been evaluated in terms of train velocity, train body mass and bridge flexibility. Consequently, it was observed that the contact forces are very influenced by the train and bridge parameters.

**Keywords:** Train bridge interaction, high speed train, Lagrange equation, contact forces

## 1. Introduction

Dynamic response conducted under moving masses has been treated in the literature within a wide framework as an important problem. Studies which provide analytic and semi-analytic solutions of various moving load problems [1,2] are the most important studies conducted in this area. Several researchers proposed finite elements method (FEM) as analytic methods prove insufficient in modelling of complicated moving load engineering problems [3–6]. Moving mass and structure interaction is also an important study subject in military applications of the mechanics, and in some studies [7–9] one can found some FEM and heuristic methods for determining muzzle displacements

resulting from projectile and gun barrel interaction by considering the Coriolis, centripetal and inertia effects of the high-speed moving projectile inside the gun barrel.

Dynamics of railroad bridges under the impact of moving trains has critical importance in train and bridge design, especially fast train design. Train-bridge dynamic is an integrated, time-bound dynamic problem which can interact along bridge by means of contact forces of two different sub-systems between wheel and bridge surface. These two sub-systems (bridge and train) usually can be thought as two elastic systems which interact with each other. If only the dynamic response of the bridge in terms of bridge design is being sought, the impact of dynamic response of the vehicle is negligible, and the ratio of the mass of the vehicle is smaller compared to the mass of the bridge, concentrated force models and moving load models are used in the literature [2,10].

The proposed method in this study, models both train dynamics, dynamic forces on the train components and dynamics of the bridges; and presents an accurate and fast solution procedure using a fourth order Runge-Kutta method for a state-space form of the interaction of the whole system.

## 2. Mathematical Modelling

In order to model train-bridge interaction, bridge beam which can be modelled as per simply supported Euler-Bernoulli beam theory, shown in Figure 1, and semi-vehicle train model with ten degree of freedom (DOF) which can move with a fixed speed  $v$  towards the left end to the right end of the beam is shown. Train model usually consists of front-rear bogies and train body. Parameters on the model shown in Figure 1 as per  $r_i$  ( $i=1, 2,3,\dots,10$ ) represent train body vertical displacement ( $r_1$ ), angular rotation of the body ( $r_2$ ), vertical dislocation of front bogie ( $r_3$ ) and its angular rotation ( $r_4$ ), vertical displacement of rear bogie ( $r_5$ ) and its angular rotation ( $r_6$ ), vertical displacement of front bogie-rear bogie wheels (wheel 1, wheel 2) ( $r_7, r_8$ ) and vertical displacement of front bogie-rear bogie wheels (wheel 3, wheel 4) ( $r_9, r_{10}$ ) respectively.

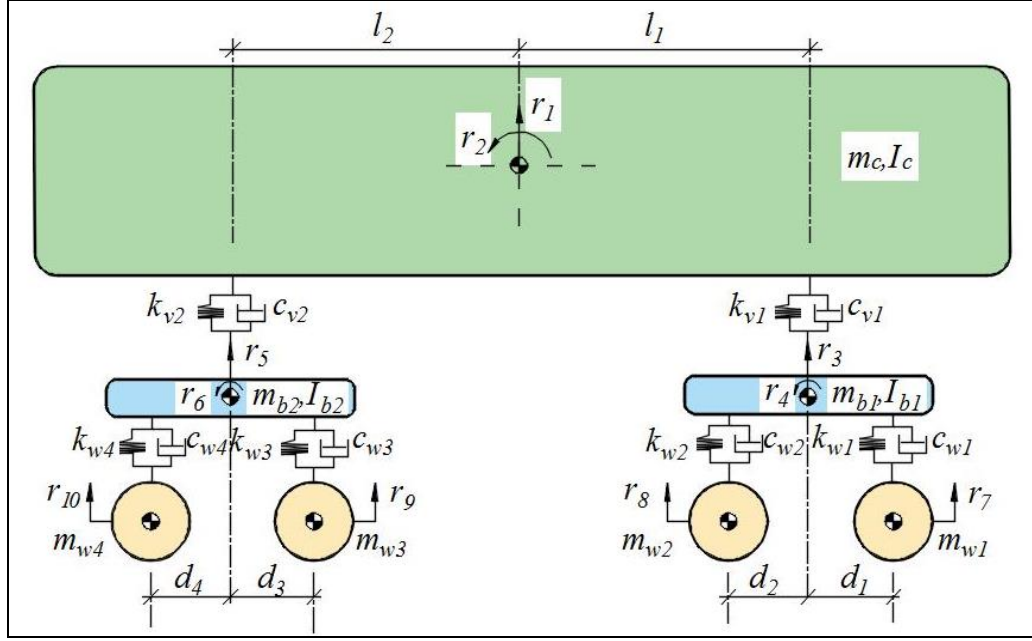


Figure 1. 10-DOF train model used in this study.

Parameters  $m_c$ ,  $m_{b1}$  and  $m_{b2}$  respectively represent train mass, front bogie mass and rear bogie mass, whereas  $I_c$ ,  $I_{b1}$ ,  $I_{b2}$  respectively represent body, front and rear bogie mass moment of inertia.  $l_1$ ,  $l_2$  distances are respectively the distance of front bogie mass center to train body mass center and of rear bogie mass center to train body mass center.  $d_1$ ,  $d_2$  distances are, respectively, distances of front wheel to bogie mass center and of rear wheel to bogie mass center for front bogie. Likewise,  $d_3$ ,  $d_4$  distances respectively show the distance of front wheel to bogie mass center and rear to bogie mass center for rear bogie. Parameters  $k_{w1,2}$ ,  $c_{w1,2}$  and  $k_{w3,4}$ ,  $c_{w3,4}$  respectively represent front and rear bogie suspension spring coefficients and damping coefficients. In addition, parameters  $k_{v1,2}$ ,  $c_{v1,2}$  are respectively the spring coefficients and damping element coefficients of the suspension system which is front and rear bogies to the train body.

The motion equation of the train-bridge model with ten degrees of freedom shown in Fig. 1 is obtained by using the orthogonality condition given in Eq. (5), and the Galerkin approach expressed for beam deflection (Eq. (4a-c)). Motion equations for the train body, front and rear wheels acceleration are expressed, respectively, as follows:

$$\ddot{r}_1 = \frac{-k_{v1}}{m_c}(r_1 + l_1 r_2 - r_3) - \frac{k_{v2}}{m_c}(r_1 - l_2 r_2 - r_5) - \frac{c_{v1}}{m_c}(\dot{r}_1 + l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_3) - \frac{c_{v2}}{m_c}(\dot{r}_1 - l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_5), \quad (11a)$$

$$\ddot{r}_2 = \frac{-k_{v1}}{I_c}(r_1 + l_1 r_2 - r_3)l_1 + \frac{k_{v2}}{I_c}(r_1 - l_2 r_2 - r_5)l_2 - \frac{c_{v1}}{I_c}(\dot{r}_1 + l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_3)l_1 + \frac{c_{v2}}{I_c}(\dot{r}_1 - l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_5)l_2, \quad (11b)$$

$$\begin{aligned}\ddot{r}_3 &= \frac{k_{v1}}{m_{b1}}(r_1 + l_1 r_2 - r_3) - \frac{k_{w1}}{m_{b1}}(r_3 + d_1 r_4 - r_7) - \frac{k_{w2}}{m_{b1}}(r_3 - d_1 r_4 - r_8) \\ &+ \frac{c_{v1}}{m_{b1}}(\dot{r}_1 + l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_3) - \frac{c_{w1}}{m_{b1}}(\dot{r}_3 + d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_7) - \frac{c_{w2}}{m_{b1}}(\dot{r}_3 - d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_8),\end{aligned}\quad (11c)$$

$$\begin{aligned}\ddot{r}_4 &= -\frac{k_{w1}}{I_{b1}}(r_3 + d_1 r_4 - r_7) d_1 + \frac{k_{w2}}{I_{b1}}(r_3 - d_1 r_4 - r_8) d_1 - \\ &\frac{c_{w1}}{I_{b1}}(\dot{r}_3 + d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_7) d_1 + \frac{c_{w2}}{I_{b1}}(\dot{r}_3 - d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_8) d_1,\end{aligned}\quad (11d)$$

$$\begin{aligned}\ddot{r}_5 &= \frac{k_{v2}}{m_{b2}}(r_1 - l_2 r_2 - r_5) - \frac{k_{w3}}{m_{b2}}(r_5 + d_3 r_6 - r_9) - \frac{k_{w4}}{m_{b2}}(r_5 - d_3 r_6 - r_{10}) \\ &+ \frac{c_{v2}}{m_{b2}}(\dot{r}_1 - l_2 \dot{r}_2 - \dot{r}_5) - \frac{c_{w3}}{m_{b2}}(\dot{r}_5 + d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_9) - \frac{c_{w4}}{m_{b2}}(\dot{r}_5 - d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_{10}),\end{aligned}\quad (11e)$$

$$\begin{aligned}\ddot{r}_6 &= -\frac{k_{w3}}{I_{b2}}(r_5 + d_3 r_6 - r_9) d_3 + \frac{k_{w4}}{I_{b2}}(r_5 - d_3 r_6 - r_{10}) d_3 - \\ &\frac{c_{w3}}{I_{b2}}(\dot{r}_5 + d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_9) d_3 + \frac{c_{w4}}{I_{b2}}(\dot{r}_5 - d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_{10}) d_3,\end{aligned}\quad (11f)$$

$$\ddot{r}_7 = \frac{k_{w1}}{m_{w1}}(r_3 + d_1 r_4 - r_7) + \frac{c_{w1}}{m_{w1}}(\dot{r}_3 + d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_7) \quad (11g)$$

$$\ddot{r}_8 = \frac{k_{w2}}{m_{w2}}(r_3 - d_1 r_4 - r_8) + \frac{c_{w2}}{m_{w2}}(\dot{r}_3 - d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_8), \quad (11h)$$

$$\ddot{r}_9 = \frac{k_{w3}}{m_{w3}}(r_5 + d_3 r_6 - r_9) + \frac{c_{w3}}{m_{w3}}(\dot{r}_5 + d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_9), \quad (11i)$$

$$\ddot{r}_{10} = \frac{k_{w4}}{m_{w4}}(r_5 - d_3 r_6 - r_{10}) + \frac{c_{w4}}{m_{w4}}(\dot{r}_5 - d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_{10}) \quad (11j)$$

Bridge dynamic equations in the form of n second order differential equations are expressed as follows:

$$\begin{aligned}
& N_i \ddot{\eta}_i(t) + c\varphi_i^2(x)\dot{\eta}_i(t) + S_i \eta_i(t) + \varphi_i(\xi_1(t)) \{f_{g1} + k_{w1} [r_7 D_1 - d_1 r_4 - r_3] + c_{w1} [\dot{r}_7 D_1 - d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_3]\} D_1 \\
& + \varphi_i(\xi_2(t)) \{f_{g2} + k_{w2} [r_8 D_2 + d_1 r_4 - r_3] + c_{w2} [\dot{r}_8 D_2 + d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_3]\} D_2 \\
& + \varphi_i(\xi_3(t)) \{f_{g3} + k_{w3} [r_9 D_3 - d_3 r_6 - r_5] + c_{w3} [\dot{r}_9 D_3 - d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_5]\} D_3 \\
& + \varphi_i(\xi_4(t)) \{f_{g4} + k_{w4} [r_{10} D_4 + d_3 r_6 - r_5] + c_{w4} [\dot{r}_{10} D_4 + d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_5]\} D_4, \quad i = 1, 2, 3, 4
\end{aligned} \tag{12}$$

### 3. Numerical Examples

Train and bridge parameters used in numeric analysis are given in Table 1.

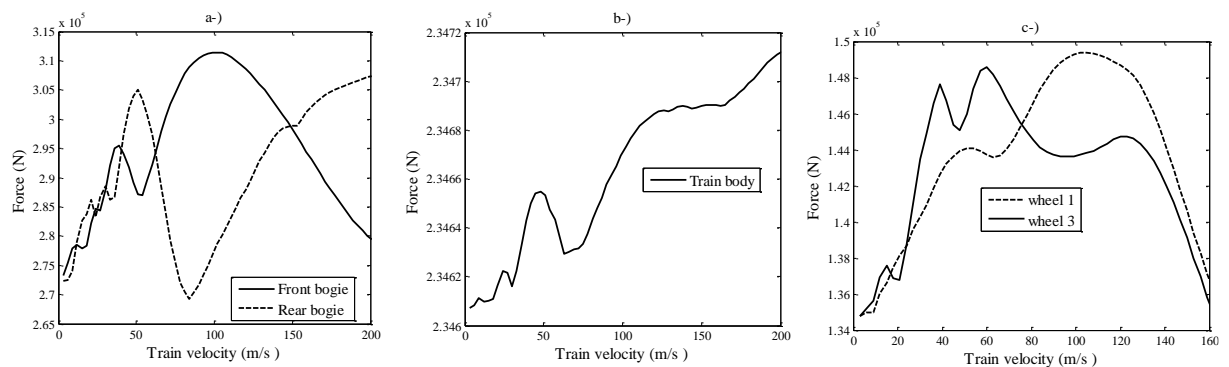
**Table 1** The properties of train and bridge models

Train parameters	
Train body mass ( $m_c$ )	41.75 ton
Front and rear bogie masses ( $m_{b1}=m_{b2}$ )	3.04 ton
Mass of wheels ( $m_{w1}=m_{w2}=m_{w3}=m_{w4}$ )	1.78 ton
Mass moment of Inertia of train body ( $I_c$ )	2080 ton m <sup>2</sup>
Mass moment of Inertia of front and rear bogies ( $I_{b1}=I_{b2}$ )	3.93 ton m <sup>2</sup>
Stiffness of primary suspension system ( $k_{v1}=k_{v2}$ )	1180 kN/m
Stiffness of secondary suspension system ( $k_{w1}=k_{w2}=k_{w3}=k_{w4}$ )	530 kN/m
Damping of primary suspension system ( $c_{v1}=c_{v2}$ )	39.2 kNs/m
Damping of secondary suspension system ( $c_{w1}=c_{w2}=c_{w3}=c_{w4}$ )	90.2 kNs/m
Half of longitudinal distance between centers of gravity of front and rear bogies ( $l_1=l_2$ )	8.75 m
Longitudinal distance between centers of gravity of front and rear bogies and nearest side of bogies ( $d_1=d_2=d_3=d_4$ )	1.25 m
Bridge parameters	
Elasticity module ( $E$ )	207 GPa
Bridge length ( $L$ )	35 m
Cross section inertia moment ( $I$ )	0.2 m <sup>4</sup>
Mass of unit length of bridge ( $\mu$ )	10 t/m
Bridge equivalent damping coefficient ( $c$ )	1750 Ns/m

In this section, the forces occurring on the parts of the train caused by train-bridge integrated vibrations while the train is moving on the bridge have been analyzed for train speed, body mass and bridge rigidity parameters. Taking into account the static force caused by the train's mass and dynamic forces caused by its interaction with the bridge during train's passage on the bridge, train wheels contact forces, as well as the forces occurring on the bogie and train body, are analyzed. As a train moves over a bridge, the train on the bridge applies two types of force. One is the static load that the masses of wheels, bogies and train body. The other is the dynamic force resulting from the changes in shape, and from the deflection that are due to the elasticity of the wheels, when the train is in motion. These two forces act in opposite directions to one another at the point of contact of the wheels. In addition to the contact forces caused on train wheels, expressions belonging to the forces on front-rear bogie and train body, are given in Appendix B.

In Figures 2a-c, depending on the passing speed of the train on the bridge, the equation was solved with force equations given in Appendix. B. and the obtained graphs are shown. As can be seen in Figure 2a-c, during the passage of the train on the bridge, forces created on rear bogie and train body reach their peak points at  $v=51$  m/s,  $v=48.8$  m/s respectively. These values are very close to the  $v_{cr1}=52.18$  m/s speed, which is the critical speed belonging to the first mode of bridge beam estimated with Eq. (17a).

**Figure 2** The effect of vehicle velocity upon dynamic forces act on train a) front and rear bogie forces, b) train body force, c) train wheel contact forces



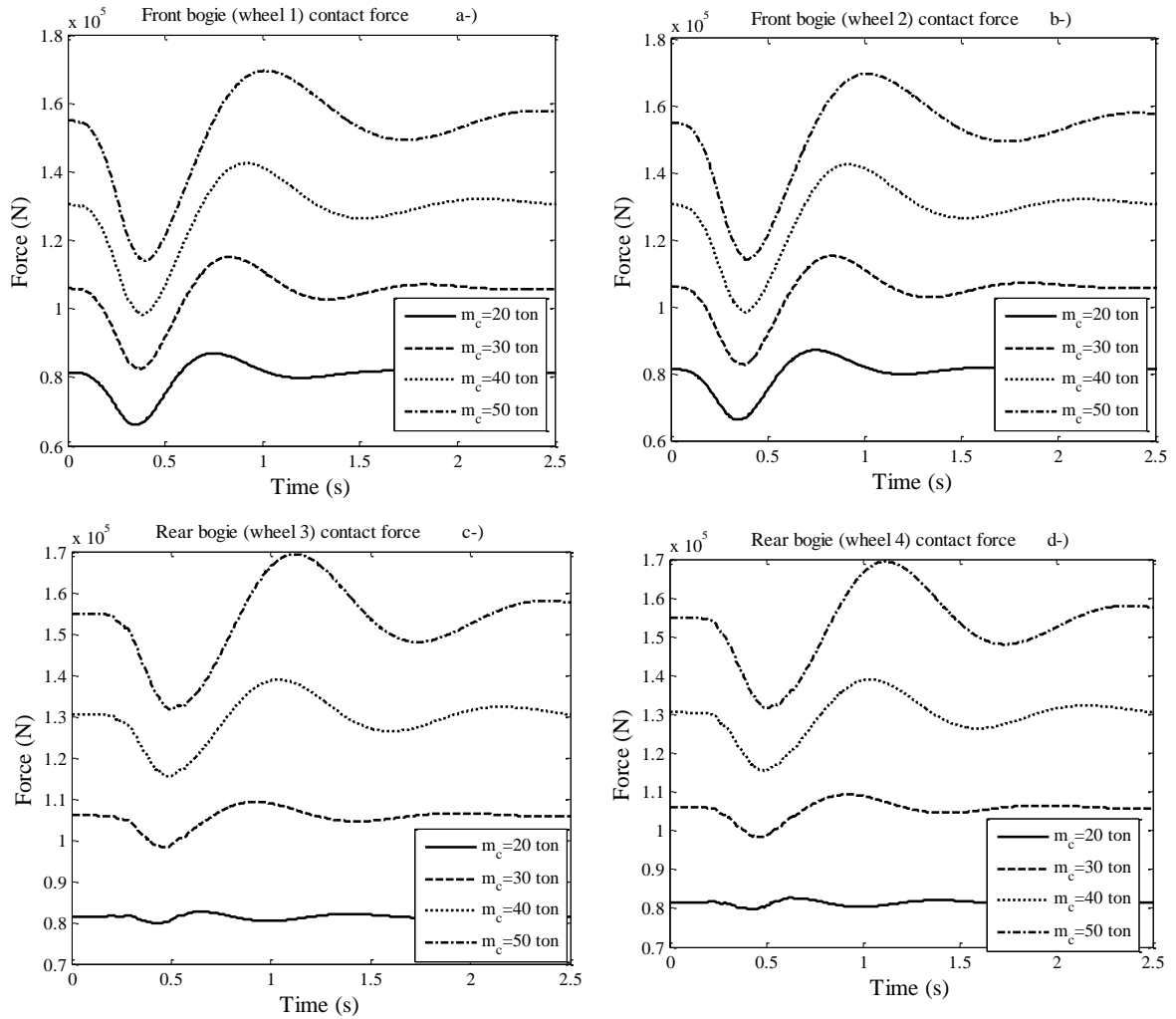
In Figure 3a-d, time-bound change of train contact forces are shown for four different train body mass values ( $m_c=20, 30, 40, 50$  tons) and train speed  $v=300$  km/h. As can be seen in the figures, an increase in train body mass leads to an increase in the contact forces of all wheels. The reason is quite clear: an increase in train body mass causes the static force on wheels to rise. In addition, an increase in the body pulls the point of maximum contact forces to the right end of the bridge. For example, the time of maximum forces was at 0.42, 0.47, 0.48 and 0.52 s respectively for four different masses ( $m_c=20, 30, 40, 50$  tons) at rear bogie rear wheel (wheel 4) shown in Figure 4a-d. In this case, the position of rear wheel on the bridge is respectively 16.23, 20.4, 21.23 and 24.5 m.

#### 4. Conclusions

In this study, the integrated vibrations between bridge beam which can be modelled as simply-supported Euler-Bernoulli beam and semi-train vehicle model consisting of front-rear bogies, body, wheels, primary and secondary suspension elements which travels at a constant speed are examined in detail in terms of train speed, train body mass and bridge rigidity.

Contact forces occurring on train wheels have been examined depending on the speed of train, body mass of train and bridge rigidity. Forces on train body and front-rear bogies increase up to a certain speed just as in train displacement and accelerations; then they begin to decrease. For example, maximum forces occurring on rear bogie reach their peak at  $v=51$  m/s and maximum force on train body reaches its peak at  $v=48.8$  m/s; then, they begin to decrease. These values are very close to the critical speed values of the train. An increase in the body mass of the train caused an increase in the static forces, which in return raised contact forces as well. In addition, it acts to pull to the right end of the bridge beam the place where maximum contact forces occur.

**Figure 3** The comparison of the effect of the train body mass  $m_c$  on the train wheel contact forces



## References

- [1] C.I. Bajer, B. Dyniewicz, Numerical Analysis of Vibrations of Structures under Moving Inertial Load, Springer, New York, 2012. doi:10.1007/978-3-642-29548-5.
- [2] L. Fryba, Vibration solids and structures under moving loads, Thomas Telford House, 1999.
- [3] V. Kahya, Dynamic analysis of laminated composite beams under moving loads using finite element method, Nucl. Eng. Des. 243 (2012) 41–48. doi:10.1016/j.nucengdes.2011.12.015.
- [4] İ. Esen, A new FEM procedure for transverse and longitudinal vibration analysis of thin rectangular plates subjected to a variable velocity moving load along an arbitrary trajectory, Lat. Am. J. Solids Struct. 12 (2015) 808–830.



- [5] İ. Esen, A new finite element for transverse vibration of rectangular thin plates under a moving mass, *Finite Elem. Anal. Des.* 66 (2013) 26–35. doi:10.1016/j.finel.2012.11.005.
- [6] X. Fuchun, Dynamic Responses of Subway Tunnel in Clay Stratum to Moving Loads, *Arab. J. Sci. Eng.* 42 (2017) 1327–1340.
- [7] İ. Koc, Mehmet Akif; Esen, The Effect of the Flexibility of a Bridge on the Passenger Comfort of a Travelling Vehicle Including Road Roughness, in: *ISITES 2015, valencia, 2015*: pp. 2206–2215.
- [8] İ. Esen, M.A. Koç, Dynamic response of a 120 mm smoothbore tank barrel during horizontal and inclined firing positions, *Lat. Am. J. Solids Struct.* 12 (2015) 1462–1486.
- [9] M.A. Koç, İ. Esen, Y. Çay, Tip deflection determination of a barrel for the effect of an accelerating projectile before firing using finite element and artificial neural network combined algorithm, *Lat. Am. J. Solids Struct.* 13 (2016) 1968–1995. doi:http://dx.doi.org/10.1590/1679-78252718.
- [10] Y.-B. Yang, J.-D. Yau, L.-C. Hsu, Vibration of simple beams due to trains moving at high speeds, *Eng. Struct.* 19 (1997) 936–944. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296(97)00001-1.

## Appendix A.

The static forces that are put on the points of contact between the bridge and the wheels of front and rear bogies of the train are expressed as in Eqs. (7a-d). In this case, the forces at the points of contact of the wheels are expressed as follows:

$$F(\xi_i(t), t)_{r_{i+6}} = f_{c,i+6} - k_{w,i} (r_{i+2} + r_{i+3} d_i - r_{i+6}) - c_{w,i} (\dot{r}_{i+2} + \dot{r}_{i+3} d_i - \dot{r}_{i+6}), \quad i = 1, 3, \quad (\text{A.1})$$

$$F(\xi_i(t), t)_{r_{i+6}} = f_{c,i+6} - k_{w,i} (r_{i+1} - r_{i+2} d_i - r_{i+6}) - c_{w,i} (\dot{r}_{i+1} - \dot{r}_{i+2} d_i - \dot{r}_{i+6}), \quad i = 2, 4, \quad (\text{A.2})$$

If it is aimed to calculate the forces on front and rear bogies of the train, static forces at these points are written as follows:

$$f_{c3} = \frac{m_c g l_2}{l_1 + l_2} + m_{b1} g \quad (\text{A.3})$$

$$f_{c5} = m_c g - \frac{m_c g l_2}{l_1 + l_2} + m_{b2} g \quad (\text{A.4})$$

Forces on front and rear bogies are written as follows taken into consideration the forces given in equation (A.3-4):

$$F(\xi_1(t) - d_1, t)_{r_3} = f_{c3} + m_{b1} \ddot{r}_3 + k_{w1}(r_3 + d_1 r_4 - r_7) + k_{w2}(r_3 - d_1 r_4 - r_8) + c_{w1}(\dot{r}_3 + d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_7) \dots \quad (\text{A.5})$$

$$+ c_{w2}(\dot{r}_3 - d_1 \dot{r}_4 - \dot{r}_8) - k_{v1}(r_1 + l_1 r_2 - r_3) - c_{v1}(\dot{r}_1 + l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_3),$$

$$F(\xi_3(t) - d_3, t)_{r_5} = f_{c5} + m_{b2} \ddot{r}_5 + k_{w3}(r_5 + d_3 r_6 - r_9) + k_{w4}(r_5 - d_3 r_6 - r_{10}) + c_{w3}(\dot{r}_5 + d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_9) \dots \quad (\text{A.6})$$

$$+ c_{w4}(\dot{r}_5 - d_3 \dot{r}_6 - \dot{r}_{10}) - k_{v2}(r_1 - l_2 r_2 - r_5) - c_{v2}(\dot{r}_1 - l_2 \dot{r}_2 - \dot{r}_5),$$

In a similar vein, the force occurring on the body of the train is expressed as follows:

$$F(\xi_1(t) - d_1 - l_1, t)_{r_1} = f_{c1} + m_c \ddot{r}_1 + k_{v1}(r_1 + l_1 r_2 - r_3) + k_{v2}(r_1 - l_2 r_2 - r_5) \dots \quad (\text{A.7})$$

$$+ c_{v1}(\dot{r}_1 + l_1 \dot{r}_2 - \dot{r}_3) + c_{v2}(\dot{r}_1 - l_2 \dot{r}_2 - \dot{r}_5),$$

The expression  $f_{c1}$  in Eq. (A.7) is equal to  $f_{c1} = m_c$ .

# RENEWABLE ENERGY AND MONORAIL TRANSPORTATION SYSTEM

Enfal Anıl Çalış<sup>1\*</sup> and Zübeyde Öztürk<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, e-mail: calise@itu.edu.tr

<sup>2</sup>Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, e-mail: ozturkzu@itu.edu.tr

## Özet

Son 20 yılda Türkiye'deki kent nüfus sayısının neredeyse iki katına çıkmış olması yoğun yerleşim bölgeleri oluşmasını sağlamıştır ve bu da ulaşım ihtiyaçlarındaki artışı doğurmuştur. Şehirlerdeki hızlı büyüme ve nüfus artışından çok daha hızlı meydana gelen araç sayısındaki artış özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığı, gürültü kirliliği, hava kirliliği gibi sorunların artmasına neden olmuştur. Fosil yakıtlarla işletilen konvansiyonel karayolu toplu taşıma araçlarının gerek çevre kirliliğini arttırdığı gerek yeterli güvenilirlik, konfor, hız sağlayamadığı için efektif çözüm olmadığı görülmüştür. Bu sorunlara bir çözüm olarak monoray sistemi incelenmiş ve mevcut toplu taşıma seçenekleri ile karşılaştırılmıştır. Monoray hatları işletilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile işletme maliyetlerinin çok daha ekonomik hale getirilebilir olduğu ve çevre dostu bir çözüm olabileceği görülmüştür. Türkiye gibi güneşlenme süresi yüksek ve güneş enerji potansiyeli fazla olan ülkeler için yükseltilmiş yollardan işletilen monorayların çok daha avantajlı olabileceği öngörülmektedir. Monoray hatları metrolar gibi yer altından gitmedikleri için ve istasyonları da yer üstünde olduğundan gerek istasyonlar gerek monoray araçları direk güneş ışığı alabilmektedir. Güneş enerjisini istasyonlarda ve monoray araçlarında etkin bir biçimde kullanarak ciddi yararlar sağlamak mümkündür. Monoray araçlarına güneş enerji panelleri yerleştirilerek monoray işletme enerjisinin dışa bağımlılığını azaltarak işletme maliyetlerinin de azaltılabileceği öngörülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Güneş enerjisi, Kent içi ulaşım, Monoray

## Abstract

In later years, with almost doubling the population density led to formation of new residential areas and this caused an increased need of transportation. Having said that, faster increment of individual vehicle number than population growth causes some problems such as traffic jam, noise pollution, air pollution etc. Since conventional highway public transport systems increase environmental pollution, as well as cannot provide enough security, comfort and speed, they are not an effective solution. As a solution to these problems, monorail transportation system has been evaluated and compared with conventional transportation systems. Using renewable energy to operate monorail system seems to lower the operation costs, therefore makes it an economical and environment friendly solution. For countries like Turkey that receives lots of insolation therefore having big potential of producing solar energy, elevated monorail systems can be really advantageous. Since monorail systems goes along an elevated railway and its stations are also above-ground, both monorail itself and its stations receive insolation. Using solar energy at stations and monorail system can yield serious benefits. By implementing solar panels on monorails and stations, it is possible to foresee the decreased dependence for outside sources for monorail operation energy and operation costs can be lowered.

**Keywords:** Monorail, Solar Energy, Urban Transportation

# 1. MONORAY

## 1.1. Monoray Sistemi

Monoray tek bir ray (beton kiriş, çelik askı rayı) üzerinde hareket ederek ilerleyen bir taşıt türüdür. Monoray trenleri tek bir kiriş üzerinde veya kirişe asılı olacak şekilde çalışmaktadırlar. Kiriş, genellikle betondur. Lastik tekerler çekiş gücü sağlayarak monoray treninin kiriş boyunca ilerlemesini sağlamaktadır. Monoray hat yolu imalatları yer üstünde olmasına karşın kirişlerin hazır dökme beton şeklinde imal edilip sahada monte edilebilmesi sebebiyle şantiye alanının daha dar tutularak imalat sırasında alan tasarrufu sağlanmaktadır. Monoray hatları genellikle mevcut yolların üstünde viyadüklerle yükseltilerek inşa edildiğinden ötürü kamulaştırma masrafı az olmakla birlikte, mevcut karayolundan şerit işgal etmesinin de önüne geçilmiş olmaktadır. Monoray araçlarının özelliklerinden ötürü yol şartlarına göre esnek olarak tasarlanabilen kılavuz yollar sayesinde dar kurlarla geçilebilecek, yüksek eğimlerle tırmanılabilecek güzergâhlarda uygulanabilmektedirler. Monoray hatları yerden yüksekte inşa edilen monoray hatları turistler açısından bir şehir turu niteliği taşımasından ötürü pek çok şehirde turistlerin ilgisini çekmektedir. Monoray araçları lastik tekerleklerle sahip olduklarından ve betonarme kılavuz yollarında ilerlediklerinden ötürü metro ve tramvaylarla kıyaslandıklarında çok daha az vibrasyona ve gürültüye neden oldukları görülmüştür. Bindirme ve konsol tip monoraylarda derayman neredeyse imkânsızdır. Sebebi ise kılavuz yolunda ilerlemeyi sağlayan kauçuk tekerleklerin yanı sıra oturduğu kirişi saran kauçuk tekerlekler ile kılavuzlanma sağlanmakta ve maksimum güvenlik sağlanmaktadır. Monoray araçları yer üstünde işletildiklerinden dolayı olası bir afet durumunda istasyonlardan ve araçlardan tahliye işlemi kolayca yapılabilmektedir.

## 1.2. Monoray ve Çevresel Etkileri

Bilindiği üzere ülkemiz fosil yakıtlar açısından fakir sayılabilecek bir coğrafyada bulunmaktadır. Buna karşın ülkemiz ekonomisinin çevriminde ithal edilen fosil yakıtların payı oldukça yüksektir. TÜİK 2018 verilerine göre trafiğe kayıtlı 12 milyon 106 bin 678 adet otomobilin %38,2'si LPG, %35,5'i dizel, %25,9'u benzin yakıtlıdır [1]. Görülüyor ki fosil yakıtlar ulaştırmanın temelini oluşturmaktadır. Direk fosil yakıt tüketen ulaşım araçlarından ziyade emisyonun daha minimize edilerek elektrik enerjisine dönüştürülüp kullanılması veya yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmiş elektrik enerjisi ile ulaşımın sağlanması son derece önemlidir. Çizelge 1.1'de ulaşım araçlarının çevresel etkilerinin CO salınımı açısından kıyaslanmasından görüldüğü üzere raylı ulaşım sistemleri elektrik enerjisi ile çalıştılarından ötürü, petrol ve türevleri ile çalışan karayolu ve demiryolu araçlarına göre çok daha doğa dostudur. Elektrik enerjisinin üretilmesine bağlı olarak emisyonlar oluşsa da yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik enerjisi veya insanların yoğun olarak yaşadığı bölgeler dışında fosil kaynaklı elektrik enerjisi üretimi daha temiz bir çözümdür. Lastik tekerlekli kılavuz yollu monoray araçları teknolojilerinde metrolara göre yolcu-km başına daha düşük enerji tüketim değerleri elde edilebilmektedir. Monoray hatları genellikle yer üstünde ve yüksekte işletildiğinden dolayı güneşlenme potansiyelleri yüksek olmaktadır.

**Çizelge 1.1:** Ulaşım araçlarının CO salınımlarına göre mukayesesi [2], [3], [4].

Taşıt	CO kirlenmesi g/yolcu-km
Otomobil	0.3500
Minibüs-Dolmuş	0.1100-0.1600
Metrobüs-Otobüs	0.0713-0.1750
Metro	0.0240
Monoray	0.0171

## 2. MONORAY'DA GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

Yer üstünde yükseltilmiş kılavuz yollarına sahip monoray hatları ve araçları güneş enerjisinden istifade edebilirler. Ülkemizin güneşlenme potansiyeli de göz önünde bulundurulduğunda monoray taşıtlarının güneş enerjisinden yararlanabileceği öngörülmektedir. Bu bölümde yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin monoray sisteminde kullanımını incelenmiştir.

### 2.1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi birçok ülkede sürdürülebilir enerji gündeminin başını çekmektedir. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından fosil yakıtlara alternatif olmaktadır. Yeryüzüne her sene düşen güneş ısıtım enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca yeryüzünde fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğinden 15.000 kat kadar daha fazladır. Bu bakımdan güneş enerjisinin bulunması sorun değildir. Asıl sorun bunun insan faaliyetlerine uygun kullanılabilir bir enerji türüne dönüştürülebilmesindedir [5].

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde mevcut bulunan güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, günlük toplam 7,2 saat, ortalama toplam ışınlam şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl, günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilecek kapasiteye sahiptir [6]. Çizelge 2.1'de aylara göre toplam güneşlenme süreleri ve metrekareye düşen enerjisi potansiyeli verilmiştir. Çizelge 2.2'de de coğrafi bölgeler bazında ülkemizin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süreleri verilmiştir.

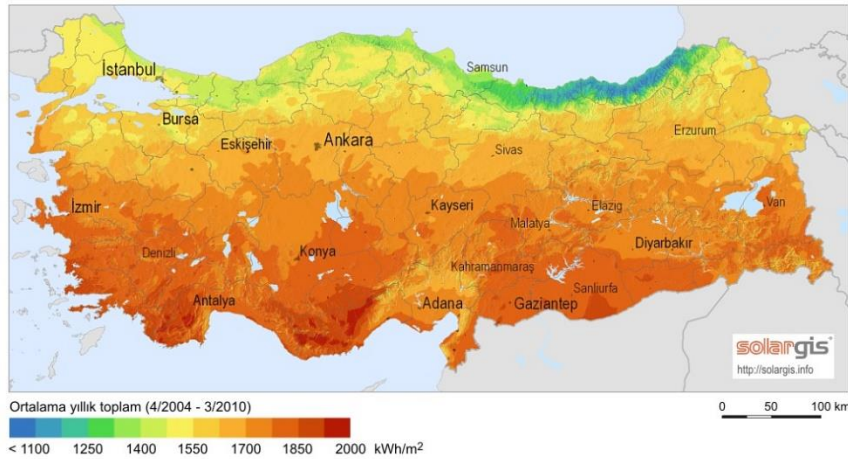
Çizelge 2.1 : Türkiye'de aylara göre ortalama güneşlenme süreleri.

AYLAR	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,6	123,28	280
Ekim	7,73	89,9	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

**Çizelge 2.2 :** Coğrafi bölgeler bazında güneşlenme süreleri.

<b>BÖLGE</b>	<b>Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m<sup>2</sup>-yıl)</b>	<b>Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)</b>
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

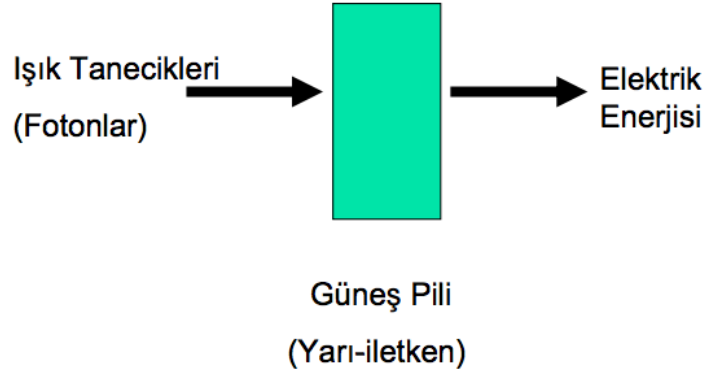
Verilen incelendiğinde görülüyor ki ülkemiz coğrafi konum itibariyle etkin güneşlenme potansiyeline sahiptir. Şekil 2.1'de ülkemizin ortalama güneş enerjisi potansiyeli haritası yer almakta olup bu haritadan hareketle ülkemizin özellikle güney kıyılarının güneş enerjisi potansiyeli anlamında oldukça avantajlı olduğu söylenebilir [5].



**Şekil 2.1:** Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası.

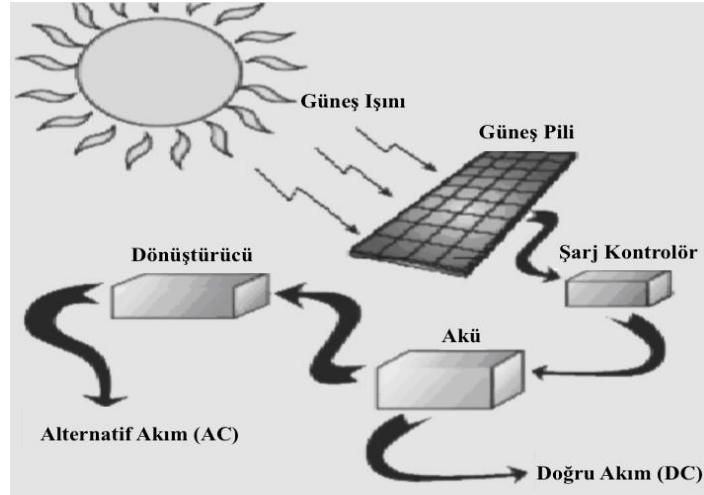
## 2.2. Güneş Enerji Panelleri

Güneş enerjisini kimyasal elementlerden faydalanarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik araçlara güneş pilleri denir. Güneş piline gelen ışınların elektrik enerjisine dönüşmesinin tasviri Şekil 2.2'de yapılmıştır. Günümüzde, pek çok güneş pili silisyumdan yapılmaktadır. Güneş pilinin üzerine güneş ışığı düştüğünde, silisyum atomunun son yörüngesindeki valans elektronu negatif yükler. Işık foton denilen enerji partiküllerinden oluşmuştur. Fotonlar bir atoma çarptıklarında tüm atom enerjilenir ve en kolay kopabilecek durumda olan son yörüngedeki valans elektronu kopar. Serbest kalan bu elektronda, voltaj veya elektriksel basınç olarak isimlendirebileceğimiz potansiyel enerji ortaya çıkar [7]. Güneş pilleri, elektrik enerjisi üretmek amacıyla geniş kullanım yelpazesine sahiptir. Güneş pili modülleri kullanılacak alana bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile beraber kullanılarak güneş pili sistemi oluşturularak ihtiyaca cevap verebilecek nitelik kazanır.



**Şekil 2.2:** Güneş pili sistemi.

Güneş enerjisinin güneş paneline gelmesinden elektrik enerjisine dönüşmesine kadar olan süreç akışı ise Şekil 2.3'te özetlenmiştir.



**Şekil 2.3:** Güneş enerjisinden elektrik enerjisi eldesi.

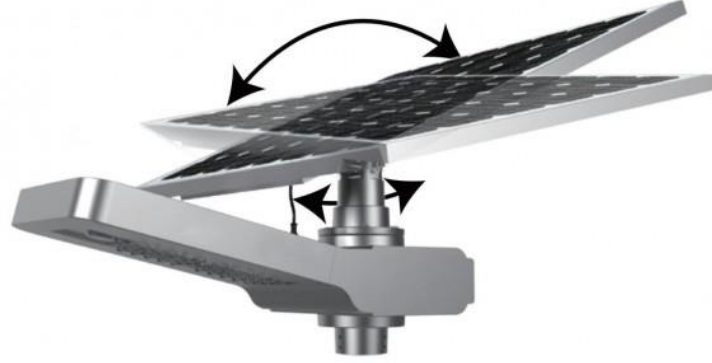
### 2.3. Güneşe Yönelebilir Paneller

Güneş panellerinin güneşi takip edecek özelliğe sahip olması; güneş ışınlarını panele dik açıyla gelmesini ve böylece güneşten faydalanmayı artırır. Güneş takip cihazları güneş panelleri ve alıcılarından elde edilen enerjiyi artırmak için kullanılmaktadırlar. Güneş takip cihazı güneş toplayıcılarının veya panellerinin, güneş gün boyunca hareket ettikçe takip etmesine olanak vermektedir. Güneş takip cihazları elde edilen güneş enerjisi miktarını artırarak, bu enerjiyi alan güneş enerjisi toplayıcılarının ısı veya elektrik olarak ortaya çıkan enerjiyi artırmasını sağlamaktadırlar [8].

Monoray sistemi ve güzergahı söz konusu olduğunda, sürekli ve çok yönlü hareket dolayısıyla çift eksenli panel yerleşimi enerji üretimini arttıracaktır. Çift eksenli güneş panelleri gün boyunca ve hatta yıl boyunca güneşin konumunu takip edebilmektedirler. Güneşin mevsimler değişikçe yalnızca doğudan batıya doğru değil aynı zamanda kuzeyden güneye de hareket ettiği bilinmektedir. Çift eksenli güneş panelleri güneşin iki boyutlu hareketini takip ederek güneş ışını ve panel arasındaki geliş açısını minimumda tutmaktadırlar. Bu sayede sistem maksimum güneş ışığını toplayarak, tek ve

sabit eksenli panellere göre çok daha fazla enerji üretebilmektedir. Tek eksenli paneller güneşi yalnızca doğudan batıya takip etmektedirler.

Şekil 2.4 'deki gibi çift eksenli paneller ise aynı zamanda güneşin mevsimsel eğimine göre de takip yapabilmektedir [9]. Şekil 2.5'de aynı kurulu güç kapasitesine sahip sabit paneller kıyaslanmıştır. Sabit panel ile güneşe göre eksenini değiştirebilen panelin ürettiği enerji kıyaslandığında, güneşe göre yönlenebilen paneller %39 daha fazla enerji üretebilmektedir [10].



Şekil 2.4: Çift eksenli panel



Şekil 2.5: Sabit, tek ve çift eksenli paneller

## 2.4. Monoray'da Güneş Enerjisi Kullanımı

Monoray hatlarının planlaması genellikle yer seviyesinden viyadüklerle yükseltilmiş hatlar şeklinde olmaktadır. Monoray araçları üstleri açık ve yükseltilmiş hatlarda ilerlediklerinden otürü güneş enerjisinden yararlanabilme potansiyeline sahiptir. Güneşe enerjisinden faydalanma potansiyeli yüksek bölgelerimizde yapılabilecek monoray hatlarında Şekil 2.6'de görüldüğü gibi istasyon çatıları ve monoray araçlarının üstleri güneş enerji panelleriyle kaplanarak çevre dostu bir ulaşım sistemi oluşturulabilir.

Şekil 2.7'de Hindistan'da trenlere yerleştirilen vagon üstü güneş enerjisi panelleri yer almaktadır. Bu panellerin test denemelerinde 8 vagonlu trenler kullanılmış ve her bir vagona 12 güneş enerji paneli yerleştirilmiştir. Her bir güneş enerji paneli de 300 watt elektrik üretebilecek güce sahiptir. Bu da vagon başına 3.6 KW enerji üretim kapasitesi anlamına gelmektedir. Bu miktar trenlerin aydınlatma ve havalandırma sistemini rahatlıkla karşılayabilecek miktara tekabül etmektedir. Benzer şekilde ülkemizde planlanan yükseltilmiş yollara sahip monoray hatlarındaki araçlarda da güneş enerji panelleri



kullanılabilir. Ancak güzergah boyunca yönü değişebilen monoray taşıtları güneşten her zaman optimum seviyede faydalanamayabilir. Kullanılan paneller çift eksenli ve güneşi takip edebilir özelliğe sahip olursa farklı mevsimlerde güneş ışınlarından faydalanma süresi sabit güneş panellerine oranla daha fazla olabilir.

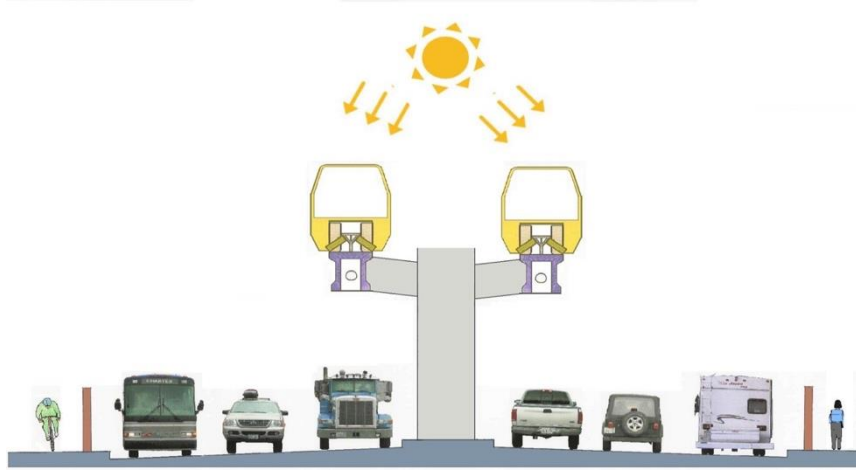


**Şekil 2.6:** İstasyon üstü güneş enerji paneli yerleşim örneği.



**Şekil 2.7:** Güneş enerji paneli yerleştirilmiş demiryolu aracı.

Şekil 2.8'da örnek monoray olarak hem monorayın yalnızca viyadük ile kılavuz yola sahip olarak karayolu trafiğini işgal etmesinin minimize edilmesi hem de güneş enerjisinden faydalanılabilirliğinin şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 2.8: Güneş enerjisinden faydalanan monoray şeması.

### 3. SONUÇ

Ülkemizin güneş enerjisinden faydalanma haritalarına bakıldığında, güneş enerjisinden yararlanmanın yüksek olduğu bölgelerde yükseltilmiş yollarda giden monorayların üzerine güneşi takip edebilen çift eksenli güneş enerji panelleri yerleştirilerek ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı elde edilebilir. Kendi enerjisini üretebilen bir sisteme dönüşen monorayın dışarıdan temin ettiği enerji azaltılarak işletme maliyetleri düşürülebilir ve daha yaşanabilir şehirler için temiz bir toplu ulaşım aracı olarak örnek gösterilebilir. Toplu taşıma araçlarının elektrik enerjisiyle çalışanlarının tercih edilmesi günümüzde ve gelecekte gerek ülke ekonomisine gerek insan sağlığına büyük katkılar sağlayacaktır.

### KAYNAKÇA

- [1] Motorlu Kara Taşıtları, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27642>, Ocak 2018
- [2] Japan Monorail Association Guide (t.y.). Erişim: 01.11.2016, <http://www.nihon-monorail.or.jp/pamphlet/313.pdf>
- [3] Puchalsky, C. (2005). Comparison of Emissions from Light Rail Transit and Bus Rapid Transit. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1927(1927), 31-37.
- [4] Pekin, M., A. (2006). Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Şen, Z. Temiz enerji kaynakları ve modelleme ilkeleri, İstanbul: Su Vakfı, 2009.
- [6] Türkiye'de güneş enerjisi. (t.y.). Erişim: 17.11.2016, <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>
- [7] Karamanav, M. Güneş enerjisi ve güneş piller, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007.
- [8] Chowdhury, K. I., Iftekhar-ul-Alam, M., Bakshi, P. S., 2017. Performance Comparison Between Fixed Panel, Single Axis and Dual Axis Sun Tracking Solar Panel System. BRAC University.
- [9] Kte'pi, B. Encyclopedia of Science, Solar Panel Design, Salem Press, 2013
- [10] PV Trackers Dual-Axis Tracker Benefits, <http://www.pvtrackers.com/DualAxisBenefits.aspx>, Erişim Tarihi: 20.07.2018

# DEMİRYOLU GÜRÜLTÜSÜ VE BARIYERLERİN GÜRÜLTÜYÜ AZALTMA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Taha YÜKSEL<sup>1\*</sup> and Zübeyde ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, yukselt@itu.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ozturkzu@itu.edu.tr

## Özet

Gürültü, insanlar üzerinde fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklara neden olan önemli bir etkidir. Gürültünün pek çok kaynağı olmakla beraber, ulaşım kaynaklı gürültüler de önemli gürültü kaynakları arasındadır. Demiryolu gürültüsü de devamlılığı olmayan, zamana bağlı olarak değişen kesikli bir gürültü tipidir. Ülkemizde demiryolu yatırımlarının artmasıyla birlikte, demiryolu gürültü sorunu da önlem alınması gereken önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, demiryolu gürültü nedenleri ve alınması gereken önlemler, demiryolu gürültü yönetmeliği çerçevesinde incelenmiş ve gürültü bariyerleri hakkında da bilgi verilmiştir. Son bölümde ise Arifiye Tren İstasyonu çevresinde yapılmış gürültü ölçümleri, gürültü bariyerleri yapılması halinde oluşması beklenen değerler ve gürültü bariyerleri imatları yapıldıktan sonraki ölçümler karşılaştırılarak, gürültü bariyerlerinin etkisi ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Akustik, Demiryolu Gürültüsü, Gürültü Bariyeri

## Abstract

Noise is a major influence on people causing physical and psychological disturbances. Along with being a source of noise, transportation noise is one of the important noise sources. Railway noise is a type of intermittent noise that changes depending on the time without continuity. Along with the increase in railway investments in our country, railway noise problem is also an important problem that needs to be taken into consideration.

In this study, the reasons of railway noise and the precautions to be taken are examined in the framework of railway noise regulation and information about noise barriers is also given. In the last section, noise measurements made around Arifiye Train Station, values expected to occur if noise barriers are made, and measurements after noise barriers manufacturing are made compared to show the effect of noise barriers.

**Keywords:** Acoustic, Railway Noise, Noise Barrier

## 1. Giriş

Günlük hayatta yapılan birçok faaliyet çevresel etkilere neden olmaktadır. Gürültü de toplum üzerinde olumsuz etkiler oluşturan en önemli çevresel etkilerden biridir. Gürültünün pek çok kaynağı olmakla birlikte, ulaştırma kaynaklı gürültüler de insan ve toplum sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olan önemli gürültü kaynakları arasındadır. Daha hızlı, güvenli, konforlu, az enerji harcayan ve daha çevreci bir ulaştırma sistemi için raylı sistemlerin önemi gün geçtikçe artmakta ve kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Raylı sistem projelerinin artmasıyla birlikte, demiryolu kaynaklı gürültülerde, önlem alınması gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Demiryolu yakınlarında ikamet eden insanlar ve raylı sistem kullanan yolcuların demiryolu kaynaklı gürültülerden en az etkilenmesi için önlem alınması gerekliliği önem arz etmektedir.

Demiryolu gürültüsünün kaynaklarını genel olarak; yol, tren ve hız kaynaklı olarak sınıflandırabiliriz. Demiryolunda oluşan gürültüyü, gürültüye neden olan kaynaklarda alınabilecek önlem ve düzenlemeler ile azaltabilir ya da demiryolu kenarında yapılacak bazı uygulamalar ile gürültünün demiryolu çevresine yayılmasını ve etkisini azaltabiliriz.

Ülkemizde uygulanan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (2010)” gereğince, raylı sistem çevresel gürültü kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen bu gürültü seviyeleri aşıldığı zaman, özellikle istasyon çevrelerinde gürültünün etkisini azaltmak için kullanılan en yaygın uygulama gürültü bariyerleridir.

## 2. Gürültü

Ses, herhangi bir kaynaktan gelen titreşimin hava basıncında yaptığı dalgalanmaların insan kulağı tarafından duyulması olayıdır. İnsanlara fiziksel ve psikolojik olumsuz etkileri olan, istenmeyen seslere ise gürültü denilmektedir. Ses düzeyini ölçmek için kullanılan birim, akustik basıncın logaritmik fonksiyonu olan desibel (dB) birimidir. İnsanların duyabileceği düzeyde frekanslara sahip seslerin ölçümü için kullanılan ses seviye ölçütü ise dB(A) olarak ifade edilir. Birimdeki A harfi, A ağırlıklı filtreden geçtikten sonraki halini ifade eder [1]. Kısaca ifade edecek olursak, dB ses ölçümünde geneli, dB(A) ise insan kulağının duyacağı sesleri ifade eder.

Bazı ses seviyeleri zamanla ya da düzensiz bir şekilde değişkenlik göstermektedir. Bu tarz ses seviyelerinin ölçümünü yapabilmek ve etkilerini değerlendirebilmek için, belirli bir zaman dilimindeki ses basınçlarının ortalama değeri alınarak bir gürültü seviyesi belirlenir. Belirlenen bu gürültü seviyesine eşdeğer gürültü seviyesi denilmektedir [1]. Tanımda ifade edildiği gibi eşdeğer kelimesi, belirli bir zaman dilimindeki akustik enerjinin ortalamasını temsil etmektedir.

Gürültünün insan ve toplum üzerinde pek çok olumsuz etkisi bulunmaktadır. İnsan sağlığı üzerindeki etkilerini:

- İletişim problemleri ve işitme kaybı
- Uykuya olan etkileri ve uyuma zorluğu
- Kalp atış sayısında artış, ritim bozukluğu, hipertansiyon
- Stres, psikolojik bozukluklar, hırçınlık vb.

gibi birkaç başlık altında sıralayabiliriz.

## 2.1. Ulaştırma Kaynaklı Gürültü

Ulaştırma kaynaklı gürültüleri; gürültünün şiddeti, süresi, devamlı ya da kesikli olması ve ani değişimler gibi parametrelere göre üç tipte incelemek mümkündür [1]. Daha çok karayolu kaynaklı olan gürültüler sürekli gürültüler olup, devamlılığı yüksek gürültü tipidir. Sürekli gürültüler insanlarda uyuma zorluğu gibi önemli problemlere neden olmaktadır. Demiryolu ve havayolu kaynaklı gürültülerin ise devam oranı genelde düşük olmakta, belirli zamanlarda meydana gelmektedir. Bu tarz gürültü tiplerine kesikli gürültü denilmektedir. Kesikli gürültü tiplerinde genelde iletişim zorluğu yaşanmaktadır. Bazı durumlarda ise her iki gürültü tipi de bir arada olabilir. Bu gürültü tiplerine ise karışık gürültü tipi denir [2]. Ulaştırma kaynaklı çevreye yayılan gürültü seviyesi, söz konusu alana, taşıma tipine (hava, kara, demiryolu, deniz) ve zamana göre değişmekle birlikte genel anlamda gürültü üst düzeyinin 65 dBA'yı geçmemesi istenir.

## 2.2. Demiryolu Gürültü Kaynakları

Raylı sistemler belirli güzergâhlarda işletildiği için karayolu kadar yaygın bir gürültüye neden olmamaktadır. Raylı sistemlerin oluşturduğu gürültüden, bu sistemleri kullanan yolcular ve güzergah üzerinde ikamet eden ya da güzergah üzerinde bulunan kişiler etkilenmektedir. Raylı sistemlerden kaynaklanan gürültüleri, demiryolu araçlarından kaynaklanan gürültüler, araç-yol etkileşiminden kaynaklanan gürültüler ve işletme hızından kaynaklanan gürültüler olmak üzere üçe ayırabiliriz [3].

Demiryolu araçlarından kaynaklı gürültüleri; tren motorundan (dizel, elektrikli), lokomotif ve vagon sayısı ve uzunluğundan, tren yardımcı sistemlerinden kaynaklı gürültüler vb. olarak sınıflandırabiliriz. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, elektrikli trenlerin kullanılması, araç motorlarında, araç içi sistemlerde yapılan iyileştirmelerle birlikte, bu tip gürültülerin azaldığı ve daha da azaltılabileceği öngörülmektedir.

Araç-yol etkileşiminden kaynaklı gürültüler ise; ray-tekerlek arasındaki yuvarlanma gürültüsü, tekerlek uğuldama gürültüsü, tekerlek gıcirtısı, raylarda oluşan düzensizlikler, ondülasyonlardan oluşan gürültüler, travers, makas, viyadük ve istasyon geçişlerinde oluşan gürültüler gibi pek çok türden oluşmaktadır.

Tren işletme hızı da raylı sistem gürültüsünü etkileyen bir parametredir. İşletme hızı arttıkça, ray-tekerlek etkileşimi ve tekerlek uğultusu da artmaktadır [3]. İstasyonlarda trenlerin kalkışı ve duruşları esnasında ivmelenme ve frenleme yapması da ray-tekerlek arasındaki sürtünmeden kaynaklı gürültü oluşturmaktadır.

### 2.3. Demiryolu Gürültü Yönetmeliği

Çevresel gürültünün insanların beden ve ruh sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve bu konuda gerekli tedbirleri almak üzere pek çok ülkede yönetmelikler oluşturulmuştur. Ülkemizde de, 2010 yılında oluşturulan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” ile çevresel gürültülerin insan üzerindeki olumsuz etkileri ve bu olumsuz etkileri azaltma yöntemleri belirlenmiştir. Yönetmeliğin amacı; çevresel gürültüye maruz kalma seviyelerine göre, gürültü haritaları, akustik raporlar ve çevresel gürültü değerlendirme raporları hazırlanarak, bu kapsamda çevresel gürültünün azaltılması gereken yerlerde gürültüyü azaltma ve önlemeye yönelik eylem planları hazırlamak ve yapılan uygulamaları takip etmektir.

Yönetmelikte, raylı sistemlerde çevresel gürültü kriterleri ve sınırları da belirtilmiştir. Buna göre; raylı sistemlerden çevreye yayılan gürültü seviyesi Lgündüz 65 dBA, Lakşam 60 dBA ve Lgece 55 dBA sınır değerlerini aşamaz [4]. Belirtilen bu değerlerin aşılmasının durumunda demiryolu işletmeciliğini yapan kurum ya da kuruluşların söz konusu yönetmeliğe göre; gürültü haritaları oluşturması ve önlem alınması gerekli yerlerde hazırlayacağı eylem planına göre önlem ve tedbirlerini alması gerekmektedir.

### 3. Raylı Sistemlerde Gürültü Kontrol Yöntemleri

Gürültüyü önlemeye yönelik çalışmaları yapmadan önce, gürültünün etkilediği bölgenin oluşturulan gürültü haritalarına göre bir eylem planı hazırlanmalıdır. Bu eylem planına göre hangi önlemlerin gürültüyü azaltmada daha etkili olduğu incelenerek, gürültüyü azaltma senaryoları geliştirilir. Burada dikkat edilecek bir diğer husus ise yapılacak olan çalışmaların fayda-maliyet analizidir. Bu hususlara göre optimum çözüm belirlendikten sonra, simülasyon veya deneysel verilerle çalışma öncesinde tekrar gürültü haritaları hazırlanarak gürültülerin istenilen seviyelerde olup olmadığı kontrol edilir. Yapılacak olan önlem çalışmalardan sonra tekrar gürültü haritaları çıkarılarak, çalışmaların etkisi görülmelidir.

Raylı sistemlerde gürültüyü kontrol etme yöntemlerini; gürültüye neden olan gürültü kaynağında önlem almak ya da gürültünün çevreye yayılmasını azaltmak olarak iki sınıfa ayırabiliriz.

Raylı sistemlerde çevresel gürültüyü azaltmak için gürültü kaynağında alınabilecek bazı önlemler[1,3,6] :

- Tren motorlarında gürültü azaltacak iyileştirmeler yapılması
- Lokomotif ve vagon tekerleklerinde ses yutucu malzeme kullanılması ve tekerlerin düzenli bakımlarının yapılması.
- Düzenli olarak ray kontrollerinin ve ray taşlamasının yapılması
- Ray bağlantılarının kaynaklı yapılması
- Tren frenlerinde balatalı fren yerine diskli fren kullanılması ve frenlerin bakımlarının düzenli olarak bakılması.

- Trenlerin ivmelenmesi ve frenlemesi esnasında elektro mekanik kayma kontrol sistemi kullanılması
- Raylarda oluşan aşınma ve ondülasyonların tespitleri ve bakımlarının yapılması.
- Tekerlek ve ray pürüzlülüğün periyodik kontrollerinin yapılması
- İki hat arasına ses yutucu özellikte bariyer konulması

gibi yapılacak önlemlerle raylı sistemlerde oluşan gürültü değeri 10 dBA' ya kadar azaltılabilir.

Gürültüyü azaltmak için gürültü kaynağında alınan önlemler sonucu gürültü değerinin istenilen seviyelere gelmemesi sonucu, fayda-maliyet analizine göre optimum olmaması ya da istasyon gibi tren hareketinin çok yoğun olduğu bölgelerde, gürültünün çevreye yayılmasını azaltmak için bazı ek önlemlerin yapılması gerekebilir. Bu önemleri:

- Hat kenarlarında toprak set
- Hat kotunun çevre kotuna göre düşürülmesi
- Ses perdesi
- Gürültü bariyeri

olarak sıralayabiliriz. Hat kenarında toprak set yapılması görsel olarak olumsuz bir görüntü oluşturacağından, hat kotunun çevre kotuna göre düşürülmesinin de uygulamasının zorluğundan dolayı bu uygulamalar fazla tercih edilmemektedir. Gürültü haritası ve raporuna göre ses perdesi ya da gürültü bariyerleri ise, raylı sistemlerden oluşan gürültünün çevreye yayılmasını önlemek için daha çok tercih edilen uygulamalardır.

#### 4. Gürültü Bariyerleri

Gürültü bariyerleri, demiryolu araçlarının işletilmesi esnasında tekerlerin normal yuvarlanma hareketinden kaynaklanan gürültünün kontrol edilmesinde kullanılmaktadır. Yakın yerleşimin olduğu istasyonlarda, demiryolu gürültüsünün çevreye yayılmasını azaltmak için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde son dönemlerde uygulanmaya başlanan gürültü bariyerleri; Avrupa'da, Uzak Doğu ülkelerinde ve Amerika'da yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Gürültü bariyerleri ihtiyaca göre değişik boyutlarda ve malzemelerden yapılabilir. Prefabrike betondan, metal levhalardan, lif takviyeli çeliklerden, çimentolu kompozitten, elyaf takviyeli bazalttan, cam ve plastik kökenli malzemelerden yapılabilen gürültü bariyerlerinin, ses yutucu özelliğini artırmak için ses yutucu malzemelerde kullanılabilir [5]. Şekil 1'de görüldüğü gibi prefabrike beton malzemelerden ve metal malzemelerden üretilen beton bariyerler yapım, uygulama ve kullanım kolaylığı açısından daha çok tercih edilen türlerdir. Gürültü bariyerleri, gürültü haritalarına ve uygulanacak sahaya göre değişik yüksekliklerde uygulanabilir. 2-4 m aralığındaki yüksekliklerdeki gürültü bariyerleri daha çok kullanılmaktadır. Gürültü bariyerleri özelliklerine göre değişmekle birlikte, gürültü seviyesini ortalama 7-12 dBA azaltmaktadır [1].



Şekil 1. Alüminyum ve beton prefabrik malzemelerden yapılmış gürültü bariyerleri.

## 5. Arifiye Tren İstasyonunda Uygulanan Gürültü Bariyerleri Uygulamasının İncelenmesi

Sakarya İl'inde bulunan Arifiye Tren İstasyonu hem tren işletiminin fazla olduğu hem de tren tamir atölyelerinin de olduğu, yoğun olarak kullanılan bir istasyon olma özelliği taşımaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi hattın yakın çevresinde yerleşim yerleri bulunmaktadır.



Şekil 2. Arifiye Tren İstasyonu ve çevresi.



İstasyonun yerleşim yerlerine yakın olması, yük ve yolcu trenlerinin sık bir şekilde işletilmesi, istasyon olmasından kaynaklı trenlerin fren ve ivmelenme hareketlerinin oluşturduğu sesler ve tamir atölyesi olması sebebiyle dizel trenlerin de varlığı istasyon ve çevresinde oluşan demiryolu gürültüsünün temel kaynaklarıdır.

Demiryolu gürültüsünün çevre sakinlerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi azaltmak için Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde de belirtildiği gibi öncelikle eylem planı hazırlanmıştır. Hazırlanan eylem planına göre ilk olarak gürültü ölçümleri Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılmıştır. Yapılan ölçümlerin sonucu Çizelge 1'de belirtildiği gibidir. Bu ölçümlere göre; lokomotif çalışırken en yakın bina önünde yapılan ölçümlerde gürültü değerinin ortalama 71,5 dB(A) olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. En yakın bina etrafında yapılan ölçümler.

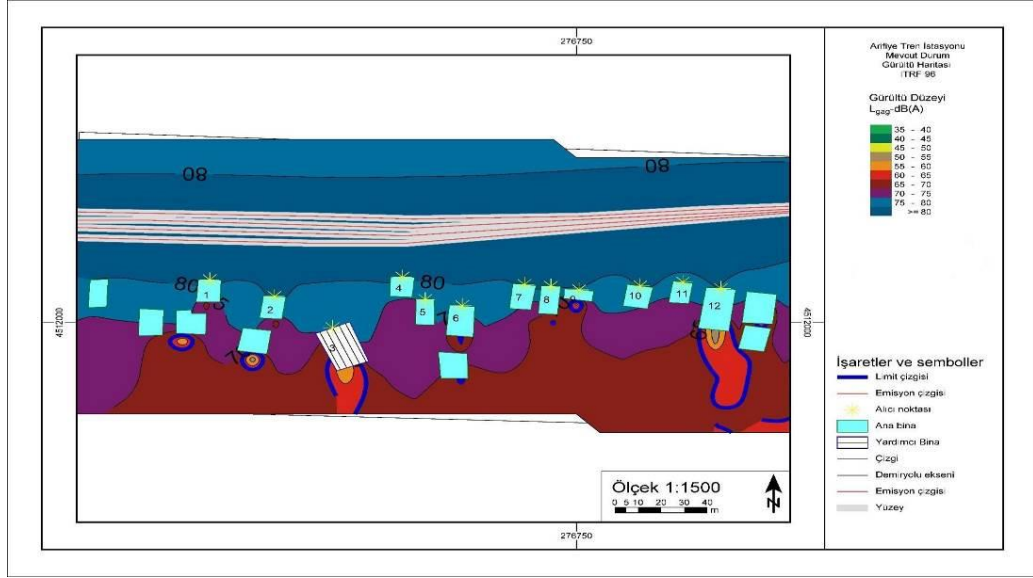
<b>(Lokomotif çalışırken) (dBA)</b>				<b>Arka Plan Gürültü Seviyesi (Lokomotif çalışmıyorken ) (dBA)</b>			
	<b>1. Ölçüm</b>	<b>2. Ölçüm</b>	<b>Ortalama</b>		<b>1. Ölçüm</b>	<b>2. Ölçüm</b>	<b>Ortalama</b>
LAeq	71,7	71,3	71,5	LAeq	57,1	58,3	57,7
LAmx	74,9	73,4		LAmx	66,1	69,9	
LAmn	69,9	69,9		LAmn	51,6	50,7	

Çizelge 2. Ön cephelerde demiryolu kaynaklı gürültü sınır değerleri.

<b>Lgündüz (dBA)</b>	<b>Lakşam (dBA)</b>	<b>Lgece (dBA)</b>
65	60	55

Yönetmeliğe göre, ön cephelerde demiryolu kaynaklı gürültü sınır değerleri ise Çizelge 2'de belirtilmektedir. Çizelge 1'de ölçülen gürültü değeri ile, Çizelge 2'de belirtilen sınır değerlerini karşılaştırdığımızda; ölçülen gürültü değerlerin sınır değerlerinden fazla olduğu görülmektedir.

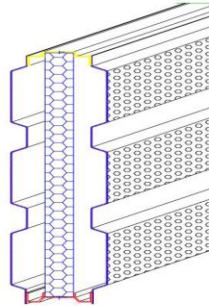
Gürültü kaynaklarında alınacak önlemlerin, yukarıda bahsettiğimiz gibi özellikle istasyon bölgesi olması ve tamir atölyesi olması sebebiyle demiryolu kaynaklı gürültü değerlerinin, yönetmeliğe göre belirtilen demiryolu kaynaklı gürültü sınır değerlerin altına düşürülemediği görülmektedir. Bu yüzden söz konusu alanda gürültünün alana yayılmasını azaltmak için önlemler alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. Arifiye Tren İstasyonu ve çevresi mevcut Lgag gürültü haritası.

Eylem planına göre öncelikle gürültü haritaları oluşturularak, demiryolu kaynaklı gürültülerin istasyon çevresindeki binalarda etkisi tespit edilmiş ve gürültü düzeyleri oluşturulmuştur. Arifiye İstasyonu ve çevresi için hazırlanan gürültü haritası Şekil 3'deki gibidir. Gürültü haritasında demiryolu hattı, hat çevresindeki binalar ve binalardaki gürültü alıcı noktaları belirtilmiştir. Gürültü alıcı noktaları, gürültü yönetmeliğinde belirtildiği gibi dış duvardan 1m mesafede kabul edilmiştir. Gürültü haritaları; tüm gün Lgag (00.00-24.00), gündüz Lgündüz (07.00-19.00), akşam Lgşam (19.00-23.00) ve gece Lgece (23.00-07.00) için hazırlanmıştır. Şekil 3'deki gürültü haritası tüm gün için hazırlanan gürültü haritasıdır.

Şekil 3'deki gürültü haritasından da anlaşılacağı üzere istasyon çevresindeki birçok binanın maruz kaldığı gürültü seviyesi, yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin üzerindedir. Demiryolundan kaynaklanan gürültünün, çevrede oluşturduğu rahatsızlığı azaltmak ve yayılan gürültünün yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altına düşürmek için demiryoluna kenarına gürültü bariyeri yapılması planlanmıştır.



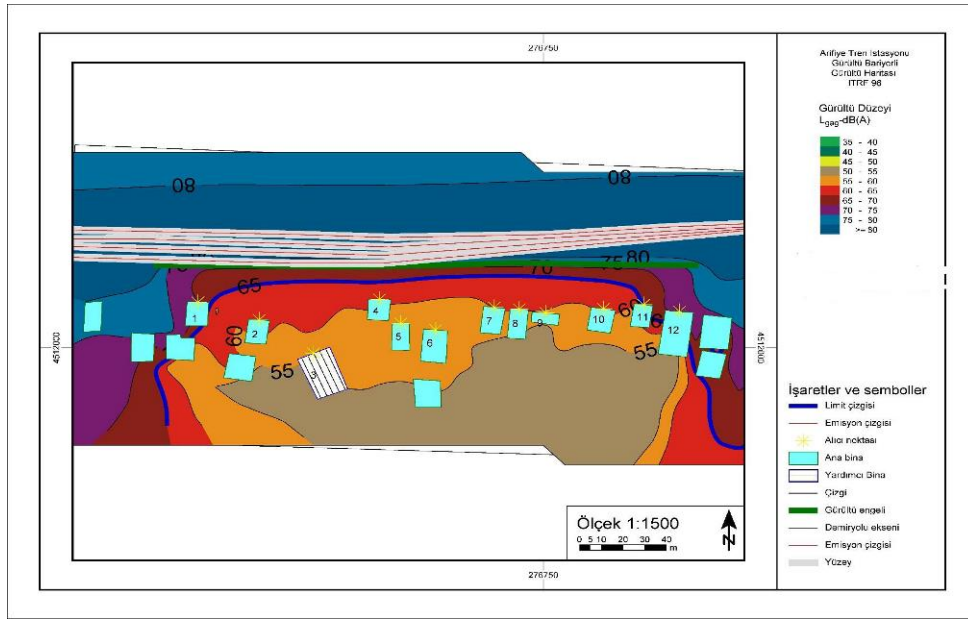
Şekil 4. Alüminyum gürültü bariyeri kesiti.

Demiryolunun ihata sınırına gelecek şekilde monte edilen gürültü bariyeri 4 m yükseklikte ve tek taraflı ses yutucu özelliğe sahiptir. TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve/veya uluslararası standartlar tarafından belirlenmiş ve akredite laboratuvarlar tarafından test edilmiş ürünler kullanılan alüminyum gürültü bariyerlerinin özellikleri Çizelge 3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3. Tek taraflı yutucu alüminyum gürültü bariyeri özellikleri.

<b>Ses Yutumu (dB)</b>	≥ 11 dB(A)
<b>Ağırlık (kg/m<sup>2</sup>)</b>	≥ 15 kg/m <sup>2</sup>

Gürültü bariyeri modellendikten sonra, binaların katlarında sanal alıcılar oluşturulmuş ve bu alıcılara gelen gürültü düzeyleri tespit edilmiştir. Bina katlarına gelen gürültü düzeylerinin gündüz, akşam ve gece zaman dilimlerine yönelik durumu simülasyon programı yardımı ile hesaplanmıştır.



Şekil 5. Alüminyum gürültü bariyeri uygulaması ile Lgag gürültü haritası.

Alüminyum gürültü bariyeri uygulaması yapılması halinde istasyon çevresinde oluşacak gürültü haritasının Şekil 5'deki gibi olması planlanmıştır. Şekil 3'deki mevcut gürültü haritası ve Şekil 5'de gürültü bariyeri uygulaması sonrası planlanan gürültü haritasına göre binalarda ortalama 15 dBA gürültü seviyesinde düşüş olması beklenmektedir.

Arifiye Tren İstasyonu ihata sınırına 4m yüksekliğinde yaklaşık 250 m uzunluğunda tek taraflı ses yutucu özelliğe sahip alüminyum gürültü bariyeri uygulaması Şekil 6'da görüldüğü gibi yapılmıştır.



Şekil 6. Arifiye Tren İstasyonu alüminyum gürültü bariyeri uygulaması.

Gürültü bariyerleri imalatından sonra söz konusu mahalde yapılan gürültü ölçümlerinde bütün değerlerin Çizelge 2’de belirttiğimiz sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir. Gürültü bariyerinden önce ve imalatı yapıldıktan sonraki 24 saatlik ortalama ölçümlerde 13,2 dBA gürültü seviyesinde düşüş olmuştur. Ayrıca sonuçların gürültü bariyeri imalatı uygulaması yapılmadan önceki simülasyon değerlerine de çok yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. Arifiye Tren İstasyonu en yakın bina önünde yapılan ölçümler.

Ölçüm Noktası	Gündüz dBA	Akşam dBA	Gece dBA
Tren İstasyonu Gürültü Ölçümleri	63	58	51
24 Saatlik Genel Ortalama	58,3		

## 6. Sonuç

Bildiri kapsamında; raylı sistemlerin en önemli çevresel kirliliklerinden biri olan gürültünün “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi Yönetmeliğine” göre belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğu ve gürültü kaynaklarında alınan önlemlerin yetersiz olduğu veya ekonomik olmadığı durumlarda, uygulanabilecek gürültü kontrol uygulamalarından biri olan gürültü bariyerleri incelenmiş ve etkileri belirtilmiştir.

Arifiye Tren İstasyonu çevresindeki oluşan demiryolu gürültüsünün, yapılan ölçümler neticesinde günlük ortalama 71,5 dBA çıkmasından sonra, gürültü haritaları oluşturulmuştur. Gürültü haritalarına göre demiryolu gürültüsünün bina sakinleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için yaklaşık 250 m. uzunluğunda 4 m. yüksekliğinde tek taraflı ses yutucu özelliğe sahip alüminyum gürültü bariyerleri

uygulamasının binalar üzerinde oluşan gürültü değerlerini yönetmelikte belirten sınır değerlerin altına indireceği tespit edilmiştir. Bu kapsamda yapılan gürültü bariyerleri sonucunda tekrar ölçüm yapılmış ve;

- Lgündüz 63 dBA < 65 dBA,
- Lakşam 58 dBA < 60 dBA,
- Lgece 51 dBA<55 dBA

olarak ölçülmüştür. Ölçülen her üç değer de yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında olmuştur.

Raylı sistemlerin yaygınlaşması ile birlikte raylı sistem kaynaklı gürültülerin de artacağı düşünüldüğünde, gürültü bariyerleri uygulamasının önümüzdeki süreçte artacağı tahmin edilmektedir. Ekonomik ve verimliliği yüksek gürültü bariyeri malzemesi bulmanın faydalı bir araştırma konusu olacağı düşünülmektedir.

## **Kaynaklar**

- [1] Z. Öztürk ve A. Veysel, Demiryolu Mühendisliği, İstanbul: İstanbul Ulaşım A.Ş., 2009.
- [2] R. Toprak ve N. Aktürk, Raylı Ulaşım Sistemlerinin Neden Olduğu Gürültü ve Çevresel Etkiler, Türkiye Mühendislik Haberleri, 2002.
- [3] European Parliament Directorate General for Internal Policies, Reducing Railway Noise Pollution, Brussels, 2012.
- [4] Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Ankara, 2010.
- [5] P. Gao, J.W. Zhang ve Z.Z. Shen, Design and Field Test of A Novel Integral Noise, IEEE, 2011.
- [6] UIC, Railway Noise in Europe, 2016.

# HİDROJEN YAKITLI TREN SETLERİ İÇİN YÜKSEK BASINÇLI HİDROJEN TANKLARININ TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

<sup>1</sup>Abdülkadir Ünal , <sup>2</sup>Nihat Akkuş

Bu çalışmanın amacı ülkemizde milli imkanlar ile üretilmesi planlanan Hidrojen Yakıtlı Tren Setleri için 250 km'lik mesafe kapasiteli yakıt tanklarının tasarımı ve prototip olarak geliştirilmesidir.

Küresel düzeyde demiryolu enerjisinin %70'i dizel yakıtlar ile karşılanırken %30'u elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır. İsviçre'de dizel kullanım oranı %0'a yakınken Kanada'da %100 civarındadır. Dizel setlerde karşılaşılan ana problemler gürültülü çalışma, gaz emisyonları ve petrol fiyatlarındaki artışlar olup, alternatif olarak elektrikli tren setleri geliştirilmiştir. Ancak elektrikli tren setleri için büyük altyapı yatırımları gerekmekte, bu nedenle Hidrojen yakıtla çalışan tren setlerinin kullanımı önem kazanmaktadır.

Hidrojen yakıtlı tren setleri ve kara taşıtları için en önemli problem kapasite ve yakıt tankına bağlı olarak bir dolunda alınacak yol miktarının artırılmasıdır. Bu nedenle yakıt tankların hafif, çok yüksek basınç altında çalışabilen ve Emniyeti yüksek tanklar olması beklenmektedir. Bu parametrelere bağlı olarak karbon kompozit takviyeli Yüksek Teknoloji tanklarının kullanımı zorunlu olup, bu tankların tasarım ve prototip imalatı özel bilgi ve beceri gerektirmektedir.

Çalışmamızda en az 250 kilometre seyahat mesafesine sahip bir tren için gerekli olan Elyaf sarma teknolojisi ile üretilen CFRP kompozit tankın tasarımı ve prototip imalatı için gerekli olan deneysel sistemler üzerine araştırma yapılmış olup, temel bulgular sunulmuştur.

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF HIGH-PRESSURE HYDROGEN STORAGE TANKS FOR HYDROGEN FUELED TRAINS SETS

The aim of this study is to design and prototyping of fuel tanks which have travel capacity of over 250 km for Hydrogen Fueled Train Sets that are planned to manufacture with national technology.

At the global level, 70% of railway energy is provided by diesel fuel and 30% by electricity. The rate of nearly diesel use in Switzerland is 0% while 100% in Canada. The main problems encountered in the diesel sets are the noisy operation, increases in gas emissions and oil prices, so alternative electric train sets have been developed. However, large infrastructure investments are needed for electric train sets, so the use of hydrogen fueled train sets is gain importance.

The most important problem for hydrogen-fueled train sets and land vehicles is to increase the travel distance to be desired depending on capacity and fuel tank. For this reason, it is expected that fuel tanks have light, high safety and can be operated with very high pressure. Depending on these parameters, the use of carbon composite reinforced high-tech tanks is necessary. But the difficulty is that the design and prototypes of these tanks require special knowledge and skills.

In our work, we have investigated the experimental systems required for the design of the CFRP composite tank produced with fiber winding technology and the prototype production required for a train with a travel distance of at least 250 km, and basic findings are presented.

# REAL-TIME RAILWAY CONDITION MONITORING SYSTEM

Onur ER<sup>1\*</sup> and Muhammet Ali ACUR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Delphisonic Electronic INC, Kocaeli, Turkey, e-mails: [onur@delphisonic.com](mailto:onur@delphisonic.com) and [ali@delphisonic.com](mailto:ali@delphisonic.com)

## Özet

Bu çalışmada, gerçek zamanlı olmayan ve çoğunlukla problem meydana geldiği zaman müdahale edilen bakım stratejisinin yerine gerçek zamanlı olan ve kestirimci bakım faaliyetlerinin uygulanmasına olanak veren demir yolu durum izleme sistemi, getirdiği çözümler, teknik özellikleri ve uygulama örneklerinden elde edilen sonuçlar bildirilmiştir. DS-xR adı verilen bu demir yolu durum izleme sistemi ile demiryolu hattı, cer motoru ve rulmanı, tekerlek, dişli kutusu ve dingi kutusu gibi ekipmanların işletme esnasında titreşim, sıcaklık ve hız verileri esas alınarak işletme şartlarının normal olmadığı durumlar gerçek zamanlı olarak tespit edilebilmektedir. Bunun bir sonucu olarak, olası problem(ler) meydana gelmeden ve/veya bu problem(ler) daha büyük kayıplara yol açmadan önce işletme şartlarının normalleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sistem ile ekipman ömründe artış, işletme güvenliğinde artış, optimize edilmiş yedek parça kullanımı, bakım maliyetlerinde düşüş ve bakım zamanında düşüş sağlanması amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Raylı sistem, gerçek zamanlı durum izleme, bakım, kestirimci bakım, maliyet tasarrufu

## Abstract

In this study, real time railway condition monitoring system allowing the implementation of predictive maintenance activities, its solutions, its technical properties and the results obtained from its application examples instead of a non-real time maintenance strategy that is often respond when problem occurs, and non-real time are reported. This railway condition monitoring system, called DS-xR, can be used to determine real time situations where operating conditions are not normal based on vibration, temperature and speed data during operation of equipment such as rail line track, traction motor and its bearing, wheel, gear box and axle box. As a result, it is aimed to normalize the operating conditions before the possible problems occur and/or these problems lead to greater losses. With the use of this system, it is aimed to increase equipment lifetime, increase operation safety, optimize spare parts use, decrease maintenance costs and decrease maintenance time.

**Keywords:** Rail system, real time condition monitoring, maintenance, predictive maintenance, cost saving

## 1. Giriş

Son yıllarda, demiryolu taşımacılığı yolcu ve mal taşınmasında en etkili ulaşım araçlarından birisi haline gelmiştir. Son istatistiklere göre, 10 yıl içinde demiryolu taşımacılığında yolcu sayısı ikiye ve taşınan mal hacmi ise üçe katlanacaktır. Diğer taraftan, raylı araçların daha yüksek hızlarda işletilmesi de beklenmektedir. Bu unsurlar, demiryolu altyapı sistemi üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır.

Bunlardan dolayı, raylı sistemlerde yenilikçi bakım ve kontrol tekniklerinin uygulanması gerekmektedir [1, 2]. Raylı araçların ve rayların işletme esnasında durumlarının izlenmesi, demiryolu güvenliğinin sağlanmasında oldukça önemli bir unsur olmaktadır [3, 4].

Endüstriyel uygulamalarda, üretim faaliyetlerinin yanı sıra bakım, durum izleme ve arıza tespit gibi faaliyetlerin de yürütülmesi gerekmektedir. Son yıllarda, bu faaliyetler bilgisayar desteği kullanılarak yapılmaktadır. Bilgisayar desteği, bu faaliyetlerin yüksek doğrulukta ve insan bağımlılığı olmadan daha hızlı bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Sunduğu bu avantajlarından dolayı, bilgisayar desteği kullanılarak yapılan bakım, izleme ve arıza tespiti, endüstride olduğu gibi raylı sistemlerde de yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Raylı sistemlerin işletilmesinde ve yönetiminde durum izleme kritik bir rol oynamaktadır [6, 7]. Durum izleme, arızaların bozulmalara yol açmadan ve raylı sistemlerin işletilmelerini engellemeden önce raylı araçlarda ve raylarda meydana gelen normal olmayan çalışma koşullarını tespit edebilmektedir. Temel olarak, sensörlerin makinenin durumunu izlemesidir. Sensörlerden elde edilen veriler önceden belirlenmiş bir limit veya hata durumuna ulaşırsa bir alarm devreye girebilmektedir [7].

Bir raylı aracın dinamiği; tekerlek-ray etkileşimi, süspansiyonu ve eylemsizliğine etki eden kuvvetler arasındaki dengeyi temsil etmektedir. Raylı araçların işletilmesi sırasındaki genel dinamik davranışı öngörmek ve arızaya neden olabilecek kritik koşulları belirlemek için gelişmiş izleme sistemleri kullanılmaktadır. Raylı araçlara özgü bu dinamikleri izlemek için muhtelif kavramlar ve hipotezler geliştirilmiştir. Raylı araçlarda arıza tespiti yapmak için bir takım teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler gelişmiş filtreleme, sistem tanımlama ve sinyal analiz yöntemlerini içermektedir. Bu yöntemlerden işletme esnasında ve zamanla hataları tanımlamak ve tespit etmek için istifade edilmektedir. Raylı araç dinamiğinin durum izlemesinin pratik uygulaması ray veya araç bazlı sensörler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ray bazlı sensörler, çoğunlukla, aracın tekerlek takımının durumunu izlemek için kullanılırken; araç bazlı sensörler aracın alt yapısının izlenmesiyle ilgili olmaktadır. Modern raylı araçlar, veri toplama ve yönetimi için yüksek kapasiteli haberleşme veri yolları ve ileri işlem üniteleri gerektiren çoklu sensörlerle donatılmıştır [8].

Raylı araçlarda, her bir tekerlek-aks çifti, bir aks yatağı ile donatılmıştır. Aks yatakları, dönen parçalar arasındaki bağıl hareketi kısıtlayan ve sürtünmeyi azaltan temel döner makine elemanlarıdır. Bu elemanlara işletme esnasında yüksek yük ve gerilmeler uygulandığından dolayı güvenlik ve ekonomik unsurlar taşıyan bozulma, hasarlanma ve arızalanma gibi arzu edilmeyen hususlara maruz kalabilmektedir. Bu durum, aksın kalan faydalı ömrünün saptanması ve tahmin edilmesi konusunda artan bilimsel ve endüstriyel ilgiye neden olmaktadır [9].

İtalya'da, örnek olarak, Ulaştırma Bakanlığı'nın istatistiklerine göre, 2012 yılında günde yaklaşık 8.000 raylı araç demiryolu hatlarında işletilmektedir. Her bir raylı aracın ortalama 10 adet vagonu olduğu göz önüne alındığında, raylı araç başına yaklaşık 80 adet aks yatağı olduğu düşünülebilir. Bu durum, İtalya'da, her gün izlenmesi gereken aks yatağı sayısının yaklaşık 600.000 adet olacağına işaret etmektedir. Bunun izlenmesi, potansiyel olarak çok büyük miktarda toplanan veriyle mümkün olabilmektedir. Aks yatağının durumunu izlemek için uygun veri toplama hızının ortalama büyüklüğü kHz cinsindedir. Ayrıca, elde edilecek bu veri, en az, rulman hasar ve kusurları ile ilgili karakteristik titreşim frekansları, aks yatağının boyutları ve dikkate alınacak tekerlek-aks çiftinin dönme hızının bir fonksiyonu olmaktadır [10].



Durum izleme tabanlı arıza teşhisi, tespiti ve tahmini modüllerle bütünleşik bir sistemden oluşmaktadır. Bu modüller: (1) Bir sensör grubu ile uygun çözünürlükteki verilerin alınması sağlanarak sistemin kritik değişkenlerinin ve parametrelerinin ölçülmesi. (2) Sistemin geçerli çalışma durumu ile arızalı çalışma durumu arasındaki farklılık ve sınırların belirlenmesi. (3) Sensörler vasıtasıyla elde edilen sinyallerden sistemin durumunu belirleyici özelliklerin çıkarılması. (4) İzlenen sistemin kritik bileşenlerinin geçerli durumunun değerlendirilmesi ve arızaların teşhis edilmesi. (5) Arızaya uğrayan sistemdeki bileşenlerin kalan faydalı ömürlerinin tahmin edilmesi [11].

Durum izlemede, sistemdeki arızanın önceden tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Sistemin sürekli izlenmesiyle herhangi bir arızanın gelişimi erken bir aşamada tespit edilebilir. Sistemlerin durumları sürekli izlendiğinde, erken bir aşamada arızanın belirlenmesi ve ilgili bileşenin tamiri veya değiştirilmesi mümkün olabilmektedir [12, 13]. Durum izlenmesinde sistemlerin hangi aralıklarla izleneceği önem arz etmektedir. Sistemler belirli periyotlarda veya sürekli izlenebilir. Durumu izlenen sistemin davranışlarının incelenmesi, bileşenin kalan ömrünün tahmini ve sistemi korumak için gerekli planlamaların yapılması sistemin devamlılığı için oldukça önem arz etmektedir [12, 14].

Koruma ve durum izleme birbirine yakın kavramlar olmalarına rağmen uygulama şekilleri farklıdır. Durum izleme, arıza oluşmadan önce tasarlanıp uygulanırken; koruma, geriye dönük olarak tasarlanır. Bazı durumlarda koruma amacıyla sistemlerin durumu izlenebilir. Bununla birlikte, durum izlemenin esas amacı arıza oluşmadan önce arızanın gelişimini izlemek ve buna göre önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Durumu izlenen sistemde arıza oluştuğundan sonra ilgili sistem bileşenleri için bir bakım süreci başlatılmaktadır. Bu bakım süreci için genelde üç strateji izlenmektedir. Bunlar: (1) Sistemin arıza oluşuncaya kadar çalıştırılması ve arıza oluştuğunda yenisi ile değiştirilmesi: Bu yöntem bir endüstriyel sistemde iş yükünün büyük bir kısmını oluşturan ve oluşabilecek bir arıza durumunda sistemi aksatan bir bileşen için uygun değildir. (2) Belirli zamanlarda veya planlanmış bakım: Belirli zaman aralıklarında endüstriyel sistemlerdeki bileşenlerin incelenmesi ve aksaklıkların giderilmesi bir önceki yöntemle göre daha avantajlıdır. Bununla birlikte, arızanın ne zaman oluşacağı ve ne kadar bir hızla gelişeceğini kestirmek zor olmaktadır. Bundan dolayı, bu yöntem de pek uygun olmamaktadır. (3) Durum tabanlı bakım: Bu stratejide amaç sistem bileşenlerini gerçek zamanlı veya çevrimiçi izleyerek erken bir aşamada arızaların tespiti ve tespit aşamasından sonra uygun bakımının yapılmasıdır. Kritik sistem bileşenlerinin izlenmesi için diğer iki yöntemden daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntemde en önemli kriterler sistemin izlenmesi için maliyetin minimum olması ve sistem durumu hakkında gerekli olan bilgilerin toplanmasıdır [13].

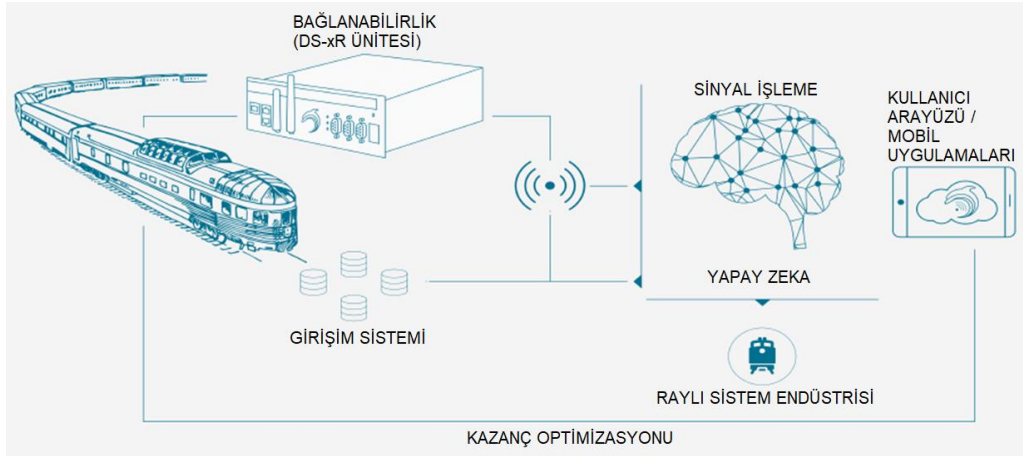
Arıza teşhisi için literatürde en çok tercih edilen sinyal işleme yöntemleri üç temel sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar: (1) Spektrum tahmin teknikleri: Bu teknikler Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT), anlık güç frekans dönüşümü, ikili spektrum analizi, yüksek çözünürlüklü spektrum analizi ve park vektör dönüşümü tabanlı spektrum analizi yöntemlerinden oluşmaktadır. (2) Zaman-alan analizleri: Bu analiz, geçiş sinyallerinden arıza teşhisi yapmak için oldukça kullanışlı olmaktadır. Hem düşük hesaplama maliyeti hem de daha az veri ile arıza teşhis işlemini gerçekleştirebilmektedir. Geçiş anında arızaların teşhisinde, makine yüksüz çalıştığında bile arıza ile ilgili frekans bileşenlerini elde etmek mümkün olmaktadır. Bunlarla birlikte, bu analiz, arıza teşhisi için iyi bir frekans çözünürlüğü ve geniş frekans aralığı istendiğinde uzun zaman almaktadır. (3) Zaman-frekans analizleri: Bu analiz, bir sinyali zaman, genlik ve frekans boyutlarında incelemek için kullanılmaktadır. Bu yöntemin bileşenleri Wigner dönüşümü, Hilbert dönüşümü, kısa süreli Fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümüdür [15].

Bu çalışmada, DS-xR adı verilen demir yolu durum izleme sistemi, getirdiği çözümler, teknik özellikleri ve uygulama örneklerinden elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

## 2. Gelişme

## 2.1. Gerçek Zamanlı Raylı Sistem Durum İzleme Sistemi, Çözümleri ve Teknik Özellikleri

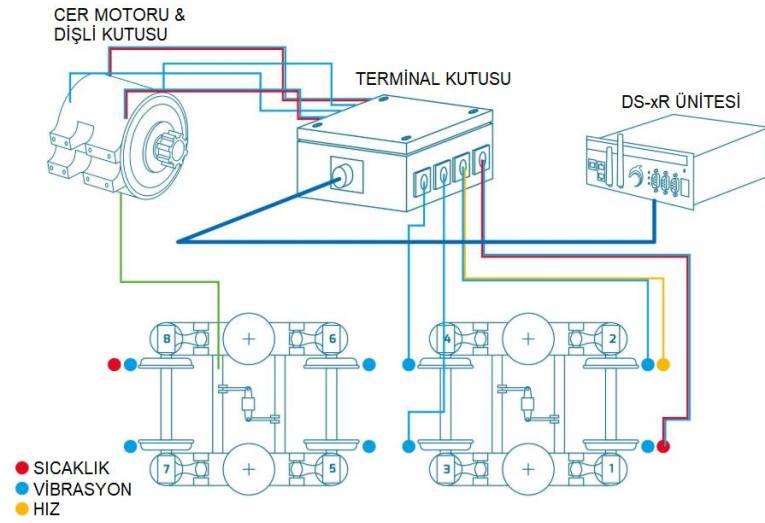
DS-xR durum izleme sistemi, kompleks sinyal işleme algoritmalarını ve makinenin işletme koşullarını kullanarak raylı araçların gerçek zamanlı ve çevrimiçi izlenmesini sağlamaktadır. Bu izleme sistemi, kestirimci bakımın bir parçası olarak, raylı araçlarda meydana gelebilecek muhtelif arızaları erken bir zamanda tespit edip ve erken uyarı sistemiyle bildirip, bu arızaların sebep olabileceği can ve mal kayıplı kazaların önüne geçilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bu durum izleme çözümü, filo büyüklüğüne bağlı olarak, raylı sistem işletmecilerine bakım ve onarım maliyetlerinde ciddi bir tasarruf sağlama imkânı sunmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, işletmelere katma değer yaratılmaktadır. Dahası, raylı sistemlerdeki plansız duruşları azaltarak veya tamamen ortadan kaldırarak raylı sistem işletmecilerinin trafik performansını ve yolcuların seyahat memnuniyetini artıracak şüphe götürmez bir gerçektir. Bu izleme sistemi, sinyal işleme, alarm verme, yapılandırma, hız girişleri ve kontrol sistemi haberleşmesi dâhil olmak üzere raylı araçların durumunun izlenmesi için gerekli olan tüm fonksiyonlara sahiptir. Bu sistemde üç temel bileşen bulunmaktadır. Bunlar: Donanım; yazılım; sensör (ivmeölçer, sıcaklık, hız vb.), dönüştürücü ve kablo grubudur. Şekil 1'de, DS-xR gerçek zamanlı raylı sistem durum izleme sisteminin temel işletme şeması görülmektedir.



Şekil 1. DS-xR gerçek zamanlı raylı sistem durum izleme sisteminin temel işletme şeması.

DS-xR sistemi, raylı aracı gerçek zamanlı olarak uzaktan izlemektedir. Nesnelere internetini kullanan akıllı ve çözüm odaklı bir analiz sistemiyle büyük miktardaki verileri hızlı bir şekilde işleyebilmektedir. Bu sistem, aynı zamanda, genel işletme verimliliğini artırmakta, maliyetleri azaltmakta ve yüksek standartta seyahat güvenliği sağlamaktadır.

DS-xR durum izleme sistemi, özellikle, raylı araçların bojilerinde bulunan makine sistemleri ve parçalarının son derece yüksek güvenilirlik ve kullanılabilirlikle sürekli olarak izlenmesi üzerine tasarlanmıştır. Bu sistemin kullanılabileceği bazı önemli uygulamalar: Boji ana yatak, ana rotor, dişli kutusu (tüm iç rulmanlar, tüm dişliler), jeneratör yatağıdır. Anlaşılacağı üzere, dönen parçaların aksel kaçıklığı, sürtünme kaynaklı sıcaklık ve aşınma durumları, titreşim ve hızları gibi unsurların gerçek zamanlı olarak durumlarının izlenmesi mümkün olabilmektedir. Şekil 2'de, DS-xR gerçek zamanlı raylı sistem durum izleme sisteminin bir boji grubuna tesis edilmesindeki temsili kurulum şeması görülmektedir.



Şekil 2. DS-Xr gerçek zamanlı raylı sistem durum izleme sisteminin bir boji grubuna tesis edilmesindeki temsili kurulum şeması.

DS-xR gerçek zamanlı durum izleme sisteminin bazı önemli faydaları aşağıda özetlenmiştir. Bunlar:

- Ekipman ömrünün artırılması
- İşletme emniyet ve güvenliğinin artırılması
- Bakım maliyetinin azaltılması
- Bakım çalışma süresinin azaltılması
- Bakım aralıklarının uzatılması
- Bakım görevlerinin basitleştirilmesi
- Yedek parça stokunun azaltılması
- Yedek parça kullanımının optimizasyonu
- Planlanmamış arıza süresini azaltarak karlılığın artırılması
- Yaklaşan arızaların erken teşhisinin yapılması
- Daha iyi bileşen izlenebilirliği
- İlgili saha testlerinin elimine edilmesi
- Bakım faaliyetlerinin kontrol edilmesi

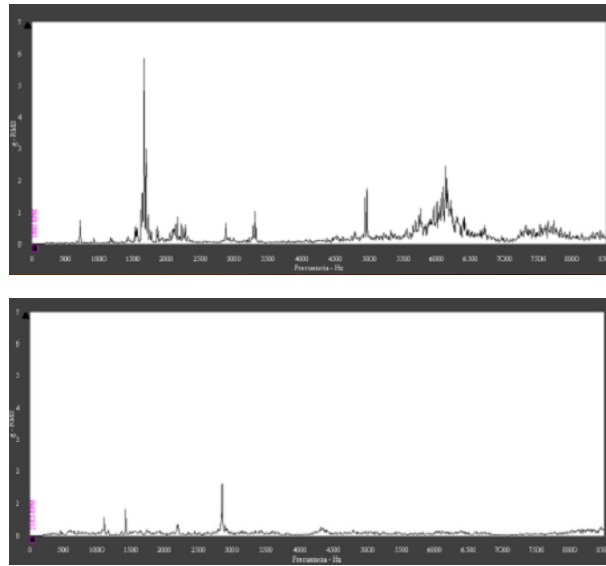
DS-xR sistemi, Ethernet bağlantıları üzerinden spesifik protokoller kullanan yazılıma bağlanmak için dijital haberleşme kabiliyetini kullanmaktadır. Dahası, bu sistem, izlenen tüm değerlerin kapsamlı haberleşme kabiliyetlerini, süreç kontrolü ile entegrasyon için durumlarını ve Ethernet TCP/IP haberleşmesini kullanan diğer otomasyon sistemlerinin durumlarını da sağlamaktadır. Bu sistem, diğer DS-xR sistemleri ile Ethernet iletişimine ve Modbus/TCP içeren protokolleri destekleyen sistem yazılımına olanak vermektedir.

DS-xR sistemi hem sunucuyu hem de istemci modunu desteklemektedir. Bu sistem, kompakt ve sağlam bir üniteye temel izleme fonksiyonlarını ve ileri sinyal işleme kurallarını sağlayan güçlü ve çok amaçlı bir yapıdan oluşmaktadır. Bu ünite, muhtelif ölçümler yapmak için giriş sinyallerini koşullandırır ve durum sinyallerini kullanıcı tarafından programlanabilir alarmlarla karşılaştırır. Bu ünite, 24 bit analog/dijital dönüştürme ve 60 kHz bant genişliği tasarımıyla yuvarlanan rulman yataklarının ve dişli takımlarının izlenmesine yönelik gelişmiş bir kabiliyet sunmaktadır.

Farklı sensör tiplerinden giriş alabilen DS-xR sistemi, 12 adete kadar analog kanal girişi, 8 adet sıcaklık kanal girişi ve dijital haberleşmeyi destekleyebilmektedir. Her bir dinamik kanal, esnek sinyal işleme seçenekleriyle bağımsız olarak konfigürasyon edilebilmektedir. Kanallar, ya 3 kablolu yaklaşım problemlerine ya da harici olarak beslenen diğer hız sensörlerine bağlanabilmektedir.

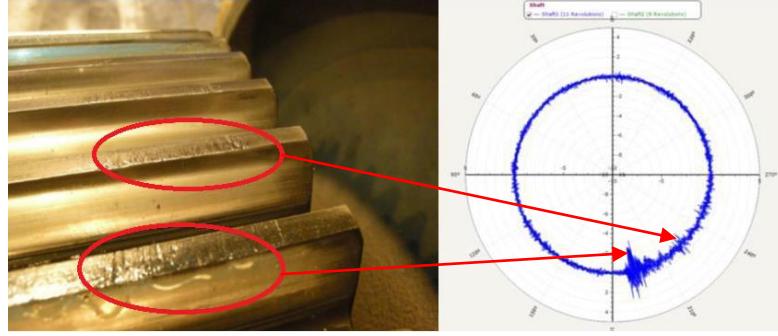
## 2.1. Gerçek Zamanlı Raylı Sistem Durum İzleme Sisteminin Uygulama Örnekleri

Bu başlık altında, DS-xR durum izleme sisteminin raylı araçlar üzerindeki uygulama örneklerine yer verilmiştir. Şekil 3'de, durumu izlenen bir dişli kutusundan elde edilen titreşim spektrumları görülmektedir.



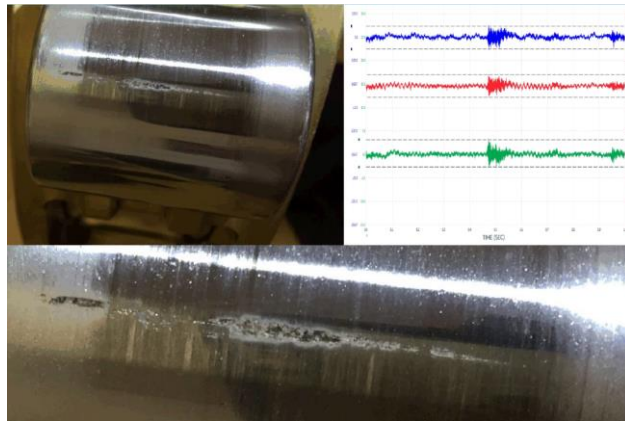
Şekil 3. Durumu izlenen bir dişli kutusundan elde edilen titreşim spektrumları.

Şekil 3'de, üstteki görsel, problemlili çalışan; alttaki görsel ise, problemsiz çalışan bir dişli kutusundan elde edilen titreşim spektrumlarını temsil etmektedir. Bu şekilde görüleceği üzere, dişli kutusunun çalışması esnasında meydana gelen olağandışı koşullar DS-xR sistemi sayesinde anında tespit edilebilmektedir. Böylece, bu problemlili çalışan dişli kutusu daha büyük problem(ler)e sebebiyet vermeden değiştirilebilecektir. Bunun bir sonucu olarak, yüksek bakım maliyetlerinin ve plansız duruşlardan kaynaklı işletme maliyetlerinin önüne geçilebilmektedir. Şekil 4'de, bir dişlide meydana gelen aşınma ve bu aşınmanın DS-xR sistemiyle tespit edilmesine yönelik ölçüm görülmektedir.



Şekil 4. Bir dişlide meydana gelen aşınma ve bu aşınmanın DS-xR sistemiyle tespit edilmesine yönelik ölçüm.

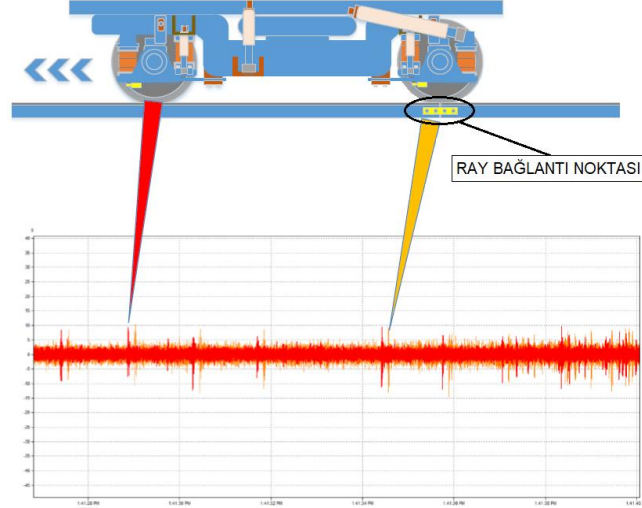
Şekil 4'de görüldüğü üzere, bir dişlide meydana gelen aşınma DS-xR sistemiyle tespit edilmiştir. Ölçülen titreşim incelendiğinde, dişlinin çalışmasında olağandışı koşulların olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu ölçüme istinaden, gerçek zamanlı olarak izlenen dişli fiziksel olarak kontrol edilmiş ve dişli üzerindeki aşınan dişler gözle görülebilmektedir. Eğer, bu dişli, DS-xR sistemiyle gerçek zamanlı olarak izlenmemiş olsaydı ve dişlinin bakım periyoduna da nispeten uzun bir zaman olsaydı, bu aşınma ilerleyen zamanda daha büyük problemlere yol açabilecekti. Bu aşamada, bu dişlinin mümkünse tamir edilmesi veya değiştirilmesiyle işletme koşulları olağan duruma getirilebilmektedir. Aksi takdirde, bu dişliyi değiştirmekten kaçınarak aşınmanın zamanla önce küçük çatlaklara dönüşmesine ve sonra, bu çatlakların hızla ilerleyerek dişlinin kırılmasına kadar devam edecek bir oluşuma izin verilmiş olacaktır. Bu dişlinin kırılması, eş çalıştığı diğer tüm makine parçalarına da (dişli grubu, kama, mil vb.) zarar verebilir. Dolayısıyla, bu dişliyi aşınma tespit edildiği zaman değiştirmeyerek faydalı ömrünün sonuna yaklaşırsa dahi çalıştırmaya devam etmekle aslında tasarruf yapılmamaktadır; bunun tam aksine, bu dişlinin zamanla kırılmasından dolayı diğer makine parçalarına da zarar verme riskinin yüksek olması öngörülmemen daha yüksek maliyetlerin oluşmasına neden olabilecektir. Şekil 5'de, bir rulmanda meydana gelen aşınma ve bu aşınmanın DS-xR sistemiyle tespit edilmesine yönelik ölçüm görülmektedir.



Şekil 5. Bir rulmanda meydana gelen aşınma ve bu aşınmanın DS-xR sistemiyle tespit edilmesine yönelik ölçüm.

Şekil 5'de görüldüğü üzere, bir rulmanda meydana gelen aşınma DS-xR sistemiyle tespit edilmiştir. Ölçülen titreşim incelendiğinde, rulmanın çalışmasında olağandışı koşulların olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu ölçüme istinaden, gerçek zamanlı olarak izlenen rulman fiziksel olarak kontrol edilmiş ve rulman üzerindeki aşınan bölgeler gözle görülebilmektedir. Buna istinaden, gerekli kontrol ve bakım çalışmalarına başlanmıştır. Bir bakım operatörünün, bu rulmanı açmadan geleneksel bakım yöntem ve teknikleriyle bu aşınmayı tespit etmesi pek mümkün gözükmemektedir. Bu husus, raylı

araçlardaki kritik makine sistemleri ve parçalarının çalışma durumlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesinin önemini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 6'da, bir raylı aracın seyrüseferi esnasında tekerlek-ray etkileşiminin titreşim grafiği görülmektedir.



Şekil 6. Bir raylı aracın seyrüseferi esnasında tekerlek-ray etkileşiminin titreşim grafiği

Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, raylı araç hareket halindeyken titreşim değerlerinin belirli periyotlarda yükseldiği, yani titreşimin arttığı açıkça görülmektedir (ani tepe değerleri). Titreşim değerlerindeki bu ani artışlar, raylı araç tekerleğinin ray bağlantı noktalarından geçerken meydana gelen çarpma etkisinden kaynaklı oluşmaktadır. Görüldüğü üzere, DS-xR sistemi raylardan kaynaklı muhtelif aşınma, bozulma vb. istenmeyen ve trafik güvenliğini olumsuz etkileyen durumları da gerçek zamanlı olarak izleme kabiliyetine sahiptir. Dahası, tekerlek-ray etkileşimindeki olağandışı durumların nerede oluştuğunu (hangi km'de) yine gerçek zamanlı olarak harita üzerinden gösterebilmektedir.

Yukarıda bildirilen tüm olağandışı durumlar, raylı sistem işletmelerinde görev yapan tüm ilgili kişilerle anında paylaşılabilir. Bu paylaşım bulut üzerinden yapılmakta olup web ve mobil tabanlı uygulamalar kullanılmaktadır. Örnek olarak, DS-xR sistemini raylı araçlarında kullanan bir raylı sistem işletmesinin üst yönetiminden raylı aracı işleten makiniste kadar online olarak gerçek zamanlı durum izleme verilerine ulaşılabilir. Bu verilere erişim bilgisayar veya akıllı cep telefonları aracılığıyla mümkün olmaktadır.

DS-xR gerçek zamanlı raylı sistem durum izleme sisteminden elde edilen titreşim, sıcaklık hız vb. verilerin spektrum grafiklerinden arızanın hangi makine sisteminde veya parçasında meydana geldiği tespit edilebilir. Bunun için, DS-xR sistemi makine öğrenimi temelli bir yazılım algoritması üzerine inşa edilmiştir. DS-xR sistemi kullanılarak işletmelerde öngörülme bakımlarının maliyetlerinin yaklaşık %90'ının önüne geçilebileceği iddia edilmektedir.

### 3. Sonuçlar

- Raylı araçların ve rayların işletme esnasında durumlarının gerçek zamanlı olarak izlenmesi, demiryolu güvenliğinin sağlanmasında oldukça önemli bir unsurdur.

- Durum izleme faaliyetleri, bilgisayar desteği sayesinde yüksek doğrulukta ve insan bağımlılığı olmadan daha hızlı bir şekilde yürütülebilmektedir.
- Gerçek zamanlı durum izleme stratejisi, kestirimci bakım faaliyetlerinin uygulanmasına olanak sağlayarak herhangi bir arızanın gelişimini erken bir aşamada tespit edebilmektedir.
- Gerçek zamanlı durum izleme sistemi, raylı araçlarda meydana gelebilecek arızaları erken bir aşamada tespit edip erken uyarı sistemiyle bildirerek can ve mal kayıplı kazaların önüne geçilmesini sağlamaktadır.
- Durum izleme sistemi, raylı sistem işletmecilerine bakım ve onarım maliyetlerinde tasarruf etmelerini sağlayarak katma değer yaratmaktadır.
- Gerçek zamanlı olarak durumu izlenen raylı araçların plansız duruşları azaltılarak raylı sistem işletmecilerinin trafik performansı ve yolcuların seyahat memnuniyetleri artırılabilir.
- Bu çalışmada bildirilen uygulama örnekleri göstermektedir ki raylı sistemlerde işletme şartlarının normal olmadığı durumlar DS-xR izleme sistemiyle gerçek zamanlı olarak tespit edilebilmekte ve bunun bir sonucu olarak, problemler meydana gelmeden ve/veya daha büyük kayıplara yol açmadan önce işletme şartları normalleştirilebilmektedir.
- Türkiye'nin raylı sistemler alanındaki 2023 vizyonu göz önüne alındığında, demiryolu sisteminin hızlı tren teknolojileri bazında yenilenmesi ve şehir içi ulaşımda raylı sistemlerin geliştirilmesi de amaçlanmıştır. Bu bağlamda, raylı taşımacılıkta hızın artırılmasıyla birlikte güvenlik ve konfor faktörleri ön plana çıkmaktadır. DS-xR gerçek zamanlı demir yolu durum izleme sisteminin bu faktörlere cevap verebilecek niteliklere sahip olduğu ve bu kapsamdaki 2023 vizyonunun gerçekleştirilmesine önemli katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Filograno, M. L., Guillen, P. C., Barrios, A. R., Real-Time Monitoring of Railway Traffic Using Fiber Bragg Grating Sensors, IEEE Sensors Journal, 2012, 12(1), 1-8.
- [2] Naganuma, Y., Kobayashi, M., Okumura, T., Inertial Measurement Processing Techniques for Track Condition Monitoring on Shinkansen Commercial Trains, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, 2010, 3(1), 315-325.
- [3] Tsunashima, H., Naganuma, Y., Matsumoto, A., Mizuma, T., Mori, H., Condition Monitoring of Railway Track Using In-Service Vehicle, Reliability and Safety in Railway, Dr. Perpinya, X. (Ed.), ISBN: 978-953-51-0451-3, In Tech, 2012, 332-356.
- [4] Mori, H., Sato, Y., Ohno, H., Tsunashima, H., Saito, Y., Development of Compact Size Onboard Device for Condition Monitoring of Railway Tracks, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, 2013, 6(2), 142-149.

- [5] Santur, Y., Karaköse, M., Akın, E., Learning Based Experimental Approach for Condition Monitoring Using Laser Cameras in Railway Tracks, *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 2016, 4, 1-5.
- [6] Ward, C. P., Goodall, R. M., Dixon, R., Contact Force Estimation in The Railway Vehicle Wheel-Rail Interface, Bittanti, S. et al. (Eds.), *Proceedings of The 18th IFAC World Congress*, 2011, 18(1), 4398-4403.
- [7] Begum, S. F., Wigneshwari, P., Rekha, S., Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey, *International Journal of Advanced Technology and Innovative Research*, 2016, 8(17), 3336-3343.
- [8] Ngigi, R. W., Pislaru, C., Ball, A., Gu, F., Modern Techniques for Condition Monitoring of Railway Vehicle Dynamics, *J. Phys: Conf. Ser.*, 2012, 364 - 012016, 1-12.
- [9] Fumeo, E., Oneto, L., Anguita, D., Condition Based Maintenance in Railway Transportation Systems Based on Big Data Streaming Analysis, *Procedia Computer Science*, 2015, 53, 437-446.
- [10] U. Statistica, Conto Nazionale Delle Infrastrutture E Dei Trasporti - Anni 2012-2013, In: Ministero Italiano Delle Infrastrutture E Dei Trasporti, 2012.
- [11] Vachtsevanos, G., Lewis, F. L., Roemer, M., Hess, A., Wu, B., *Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis for Engineering Systems*, ISBN: 978-0-471-72999-0, Wiley, 2006.
- [12] Chow, M-Y., *Methodologies of Using Neural Network and Fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection*, ISBN: 978-981-4496-93-3, World Scientific, 1997.
- [13] Han, Y., Song, Y-H., Condition Monitoring Techniques for Electrical Equipment: A Literature Survey, *IEEE Power Engineering Review*, 2002, 22(9).
- [14] Debdas, S., Quereschi, M. F., Reddy, A., Chandrakar, D., Pansari, D., A Wavelet Based Multiresolution Analysis for Real Time Condition Monitoring of AC Machine Using Vibration Analysis, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2011, 2(10), 1-5.
- [15] Bellini, A., Filippetti, F., Tassoni, C., Capolino, G-A., Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2009, 55(12), 4109-4126.



# AN OVERVIEW ON ENERGY MANAGEMENT, OPTIMIZATION AND SAVING IN TRANSPORTATION INDUSTRY

Ozlem BATTAL<sup>\*1</sup>, Erhan KAYABAŞI<sup>2</sup>, M. Kürşat Çubuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karabük University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Karabük, Turkey,  
[\\*ozlembattal@karabuk.edu.tr](mailto:ozlembattal@karabuk.edu.tr)

<sup>2</sup>Karabük University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Karabük, Turkey,  
[erhankayabasi@karabuk.edu.tr](mailto:erhankayabasi@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup>Gazi University, Faculty of Engineering, Ankara, Turkey,  
[ckursat@gazi.edu.tr](mailto:ckursat@gazi.edu.tr)

## Abstract

Motivated by the global importance on economic and environmental issues of energy consumption, current work presents main status of energy in transport in terms of energy distribution and consumption, energy management and optimization of energy usage methods by the different transport types separately. Modern transport techniques and vehicles, energy usage distribution of the transport types, the ratio of the energy consumption of transport type in global energy usage were investigated. In addition, energy management and route determination and optimization by using different artificial intelligence methods according to transport type transported good type, delivery distances were also taken into account. After a general overview of the status, recommendations on the energetic and economic saving opportunities and optimization of energy management in transportation were given in order to provide less economic and ecologic lose by minimizing energy consumption in global transport.

**Keywords:** Transportation, energy management, optimization, artificial intelligence, transport route.

## 1. Introduction

There are formidable issues waiting to be eliminated on earth such as, global warming and increasing energy consumption [1]. Energy is a fundamental requirement for economic and social development and improves the life quality [2], [3]. In addition for sustainable development of industry, agriculture and transport, energy supply carries a critical importance [4], [5]. Accordingly, global economy is directly related with the secure and sustainable energy supply, pollution and climatic changes [6]. In this context, management of the energy usage is another significant issue in every industry branch effectively to prevent inefficient consumption of energy consumption. Particularly, transportation industry one of the most energy-intensive sector with the 28% of global energy consumption and steadily increasing annually by 2% since 2008. In addition transport industry is responsible about 23% of energy originated emission with 93% oil-derived energy source consumption [7]–[9]. Moreover transportation consumes more than 50% of total global liquid fuels and the increase will occupy 87% of total liquid fuel consumption increase until 2035 [3].

The transportation sector consists of several sub-sectors: highway, railway, seaway, airway and land transport for fuel and electricity consumption. As the fundamental energy source, the transportation sector uses various fuel types such as gasoline, compressed natural gas, fuel oil, kerosene, diesel and hard coal. Coal in the transport sector does not occupy as an energy source directly but it's is liquefied to obtain synthetic fuels in the liquid phase. Electricity is also used for transportation, particularly railways or metropolitan public transport. In addition, hydrogen energy is expected to have a greater share of transportation fuel. Through the all methods in transportation, it is expected that roadway transport will perform a rapid evolution in the near decades and become one of the most efficient way in transport sector [9].

Efficient usage of energy, optimization of transport routes and usage of information technologies provided by an effective transport management in transportation sector bring the maximum transport activity with minimum energy consumption and minimum emissions [10]. Thus, the researches on energy management, optimization and saving opportunities in transportation industry became more

intensive in recent years. In this study, state of the art of all types of transportation in terms of energy management optimization and saving opportunities were investigated in detail.

## 2. Material and Method

In this study, researches about energy efficiency, management and optimization areas in highway, seaway, railway and airway transportation methods were considered and examined in terms of emission, energy consumption and efficiency levels, transportation duration optimizations, energy saving opportunities in transport, alternative routes for minimum energy consumption and less transport durations, energy recovery and storage mechanisms in transport, operating costs in transport.

### 2.1. Highway

Door-to-door transportation advantage of road transport fuel consumption (FC) even though he traveled in kilometers and emissions are much higher than other modes of transportation. Soylu [11] has proven to be very effective in reducing HC and CO emissions and FC in passenger vehicles to public transit vehicles. With 10% of the oldest passenger vehicles being replaced by the oldest public transport vehicles, while the passenger-km is kept constant, FC is reduced to 97% and HC and CO are reduced to 92% and 85% of the basic line. Zu et al. [12] proposed an efficient optimization method to minimize the fuel consumption of the modeled traffic flow. They formulated the traffic control problem that provides real-time fuel efficiency as an optimization problem. The simulation results show a significant reduction in fuel consumption to test the highway sections under heavy traffic demands of dense hours. Kühlwein et al. [13] developed a new method for precisely determining emission rates for individual road sections. Table 1 shows the average total emission values for the four pollutant classes CO, NO<sub>x</sub>, NMHC and PM10, with a distinction made with all experimental records and intervals between non-traffic measurement intervals. With the new model approach, the emission values are reduced by 5-10%.

Table 1. Total standard errors (coefficient of variation) of hourly emission rates modeled in the measurement campaign [3]

	Intervals				
	With traffic measurements	Without traffic measurements			
		Monday–Friday	Saturday	Sunday	Congestion
CO (%)	10.9	17.6	15.8	14.1	15.9
NO <sub>x</sub> (%)	3.6	7.0	7.8	7.3	16.7
NMHC (%)	4.9	10.0	10.7	10.4	25.7
PM10 (%)	4.1	8.9	10.9	12.8	19.0

Beltran and colleagues [14] have developed an intuitive sequence containing a genetic algorithm that takes into account the effects of transport emissions to find a sub optimal optimal route set by various practical rules for model route building. A transport user can choose any of two networks of the multimodal system; a switch user, both of which can be selected from any of the subnets. While the demand for transit is increasing from 10% to 26%, the decrease in the average number of transfers equals about 40% and the operating costs given by the vehicle-km and the vehicle-h show a significant reduction of about 20%. This work presents a procedure for solving the transit network design problem to minimize operator costs, user costs and external costs, and to consider the flexibility of the demand and availability of the green vehicle fleet, in general limited.

Transport energy modeling is a current interest among transport engineers and related scientists with sustainable transport issues. Based on the concept of genetic algorithm (GA), Haldenbilen et al. [15] developed three forms of energy demand equations in order to increase the transport energy demand forecasting efficiency for future projections. The changes in the demand for transport for each scenario are shown in Figure 1a. It has been proven that reasonable energy savings in the transport sector can reduce transportation of goods and goods by 10%.

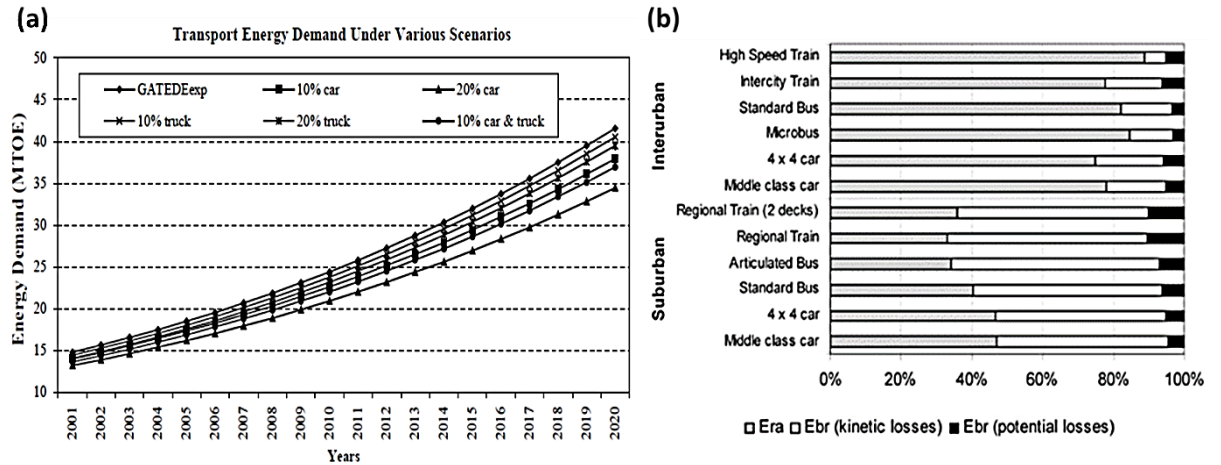


Figure 1. a) energy demand for all scenarios [15], b) distribution of energy in different vehicles and types of services [16].

Li et al. [17] investigated 6 passenger stations in 3 climate zones, and the data were standardized to analyze the energy consumption of sub-types and comprehensive energy consumption. Analytical hierarchy process based on group decision (GHP) is used. As a result of their research, they found that the energy consumption of the passenger station in the cold zone is higher than the energy consumption in the hot zone.

Exergy is an effective method for mass conversion for the design and analysis of the energy system, and for the conversion of energy principles together with the second law of thermodynamics. Saidur and his colleagues [18] analyzed Malaysia's transport sector, taking energy and exergy flows into account in explaining energy use and its structure in the sub-sector. The total energy efficiency of the formulations they developed (Eq. 1) ranged from 22.74% (1999) to 22.98% (1998), averaging 22.82% and 0.06%, respectively, and the average of total efficiency of exergy was 22.44% (2000) 1998), averaging  $22.55 \pm 0.12\%$ .

$$T_{\eta o} = \sum_{ij} \eta_i \times Fr_{ij}, \quad (1)$$

Martínez et al. [16] examined the factors affecting energy use of road passenger modes and obtained energy consumption rates per transport unit under different service dynamics. They estimated the energy consumption and efficiency of a vehicle category with the formulations they developed with Eq. 2. On average, they found energy braking losses of 20% (11-25%) for urban and off-town services and 60% (53-67%) for total vehicle energy (Figure 1b). Chai et al. [19] examined the energy consumption of road haulage. According to their estimates, road transport predicts that energy consumption will increase by 0.33 percent in GDP and that road transport energy consumption will increase by 1.26 percent per 1-point increase in urbanization.

$$E_i = L_s \cdot k_d \left\{ \left[ (A + A_c) \cdot M_r + \sum \left[ M_r \cdot \frac{600}{R} \right] + B \cdot \bar{V} + (c_p \cdot S_f + c_f \cdot p_w \cdot L) \cdot \bar{V}^2 \right] + \left[ \sum \left[ \frac{1}{2} (M_r + M_{rot}) \cdot V_{max}^2 \right] \cdot k_b \cdot N_s + \sum [M_r \cdot g \cdot i \cdot k_{zb}] \right] \right\} \cdot \left( \frac{1}{\eta_{motor}} + C_{aux} \cdot \frac{1}{\eta_{aux}} \right) \quad (2)$$

## 2.2. Seaway

Seaway transport occupies the largest ratio of global transport through the all transport methods as almost 90% with 10 billion tons total trade volume and it shows an increase by 2.3% annually [20], [21].

Seaway transport is a promising mode due to the low cost with huge amounts of carrying capacity and energy efficient usage with low speed. Accordingly, sea transport is responsible for 4% of energy consumption of global transportation [22]. In addition, seaway transport emission contribution is accounted for 3% carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), 15% nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) and 6% sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) in global emissions pie. On the other hand, cost of fuel consumption in seaway transport constitutes 60% of overall expenses. CO<sub>2</sub> emission contribution is also expected to become 5% and total greenhouse gas ratio will reach to 15% until 2050. That is to say, there is an irrefutable high energy consumption level and environmental pollution issue caused by seaway transport sector [21]–[23]. The expectations for shipping activity and energy consumption indicate that the shipping activity will be double and fuel demand will increase more than 50% until 2040 as depicted in Figure 2 [24]. Hence, optimization of energy usage of seaway transport is intensively under research in recent decades to prevent the seaway transport to be main source of pollution [21], [23].

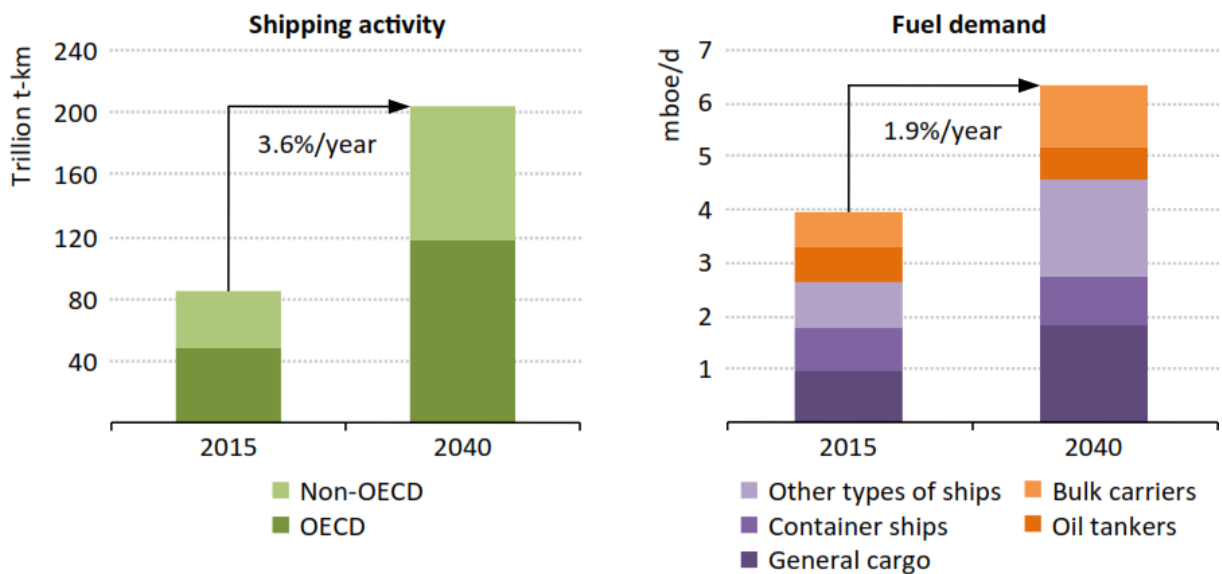


Figure 2. Growth rate of ship transport activity and energy demand [24].

In order to provide an effective energy management and decrease the emissions originated from seaway transport, several methods were intensively explored both theoretically and experimentally. Efficient usage of fuel, energy management procedures, artificial intelligence and route optimization, renewable energy attempts as energy source are prior study areas particularly. Electric Propulsion Systems are (EPS) recently become popular instead of fuel-based diesel engines in last decades to reduce fuel consumption and emissions. For instance, Kanellos et al.[25] proposed an optimization method for power management of ships operated with EPS using Fuzzy Logic (FL) assisted Particle Swarm Optimization (PSO) method to minimize operating costs, green gas emissions and compensate the technical operational limitations of ships. The electric diagram and block diagram of main optimization algorithm were demonstrated in Figure 3a and Figure 3b.

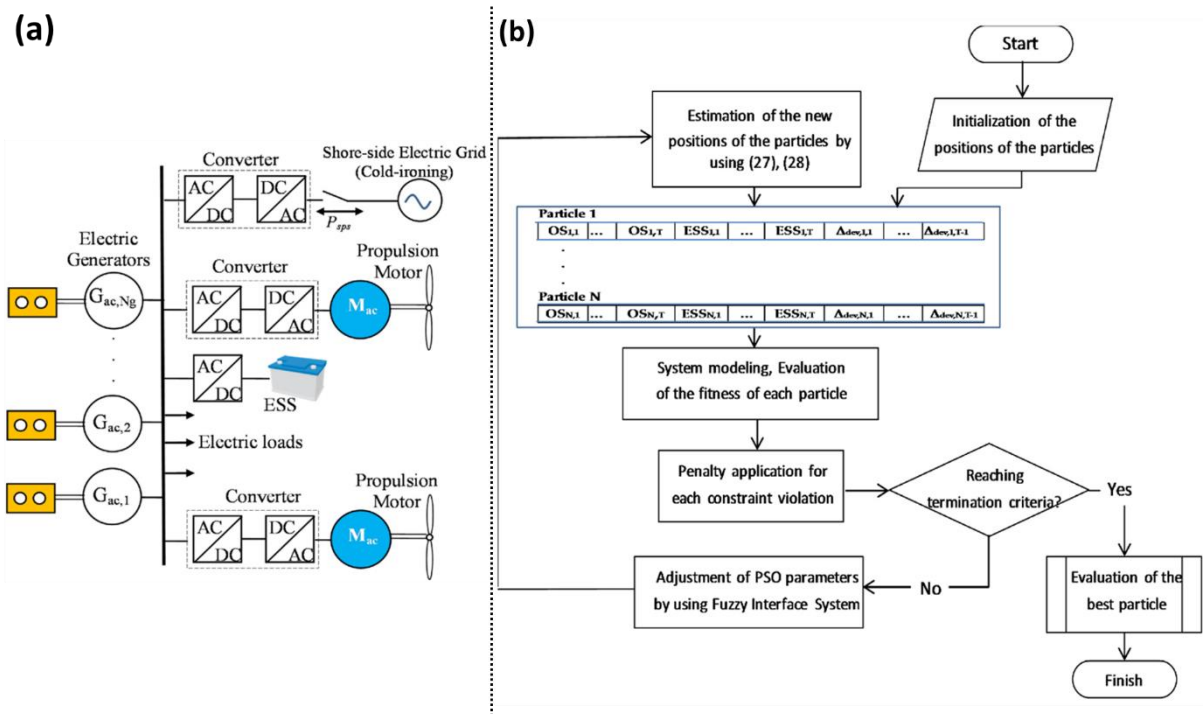


Figure 3. a) Electric diagram of EPS, b) block diagram of FL assisted PSO algorithm.

Another energy management study on ships was performed by Yiğit and Acarkan [22]. They have proposed a new energy management system for electricity requirements for the future ships and port concepts using multiple energy sources such as renewables, stored energy, shore side connected electricity, several marine type fuels and smart grid connections. They have attempted to show the effects of economic and environmental contributions of the developed energy management system with five case studies. The concept of the study was demonstrated schematically in Figure 4.

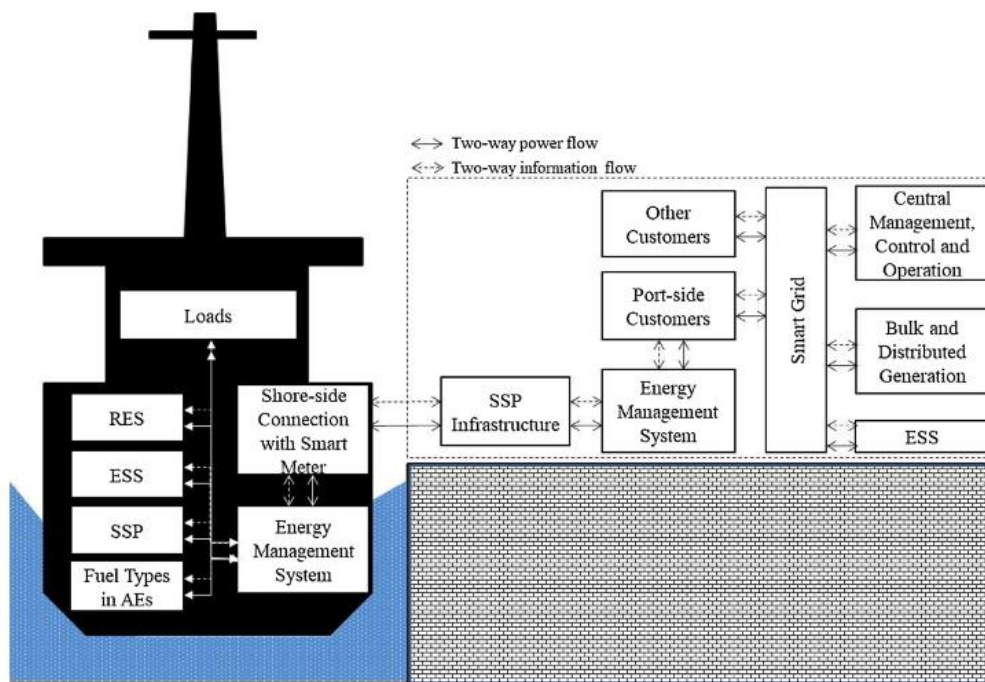


Figure 4. Concept of the future ships and ports for energy supply.

Another propulsion system is waterjet is used for advanced speed levels in shipping operations. It has promising properties such as wide speed range, low noise and appendage resistance and advanced cavitation resistance compared to conventional propeller systems [26]. Durán-Grados et al. [27] developed an advanced calculation model for the inventory of energy and emissions for waterjet propelled fast ferries as given Eq. 3. On one hand, they have determined the efficient operating intervals of the waterjet propellers under different speeds. They have observed that rising the efficiency up to 25% is possible by altering the operating speed of fast ferries [27].

$$P_{tr} = \frac{P_{ref} \left( \frac{t_{tr}}{t_{ref}} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{v_{tr}}{v_{ref}} \right)^n}{\eta_j \eta_w \eta_f} \quad (3)$$

Where,  $\eta_j$  propulsion efficiency, and maximum takes 60%,  $P_{ref}$  is reference power,  $\eta_w$  is correction of efficiency according to wind and  $\eta_f$  is also correction of efficiency according to fouling. In addition to waterjet propulsion systems hybrid propulsion systems became more popular in recent years to reduce fuel consumption and emissions. hybrid propulsion and power supply architectures are capable of reducing fuel consumption and emissions by 10% to 35% according to Kalikatzarakis et al. proposed an energy management method to manage power supply of hybrid propulsion effectively [20].

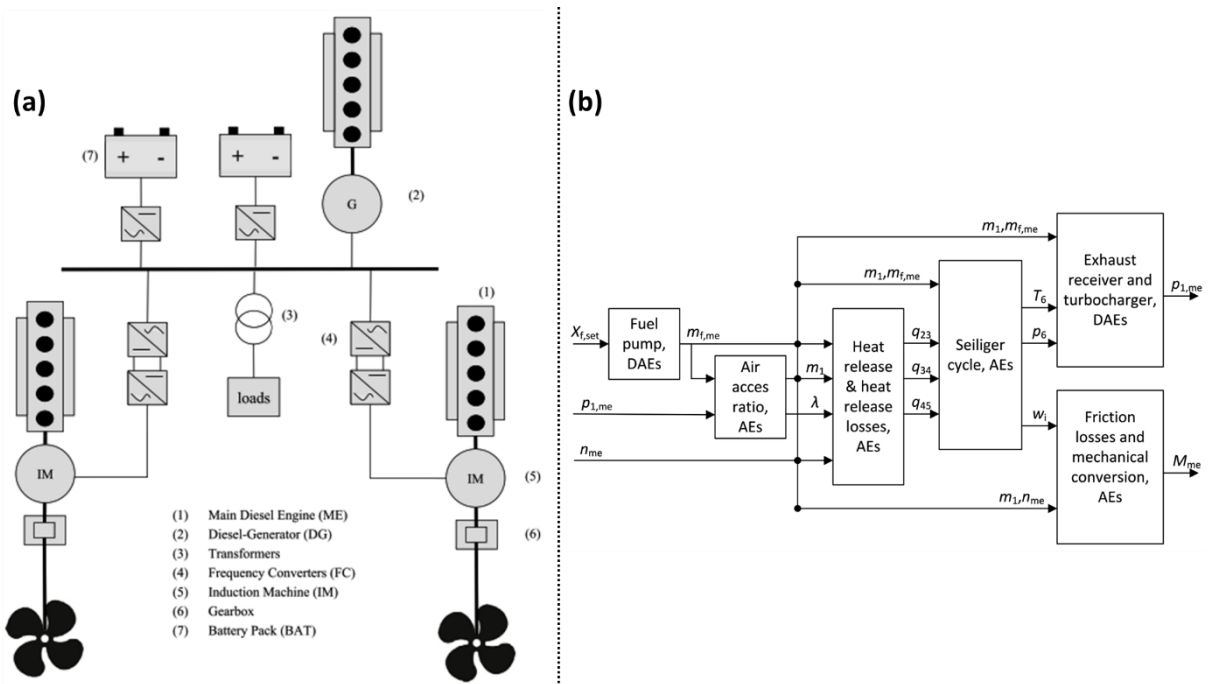


Figure 5. a) hybrid propulsion and hybrid power system, b) diesel engine model and the algebraic interactions.

They aimed a hybrid power supply for a hybrid propelled for ships. The hybrid propulsion system power supply for the propulsion and the management procedure of the system were demonstrated in Figure 5a and Figure 5b. In case studies with the algorithm developed here, they have achieved 6% fuel saving successfully.

### 2.3. Railway

Traction and braking applications that reduce energy consumption by moving the train along a specific route for a certain period are important issues to optimize. Several theoretical models, simulations and applications have been made for this purpose. Douglas and colleagues [28] have provided an overview of the current energy-saving measures and their applicability to different types of networks in order to best minimize traction energy consumption within the railway network. Traction consumption typically accounts for 60% to 80% of the total consumption of a network, which proves to be a clear target for

energy savings (Figure 6a). Khmelnitsky [29] has developed an optimal velocity profile by adding the constraints of mixture and state with the algorithm (Eq. 4). Song et al. [30] calculated the energy consumption according to the multi-train operation and the actual railway operation plan. Simulations show that per capita energy consumption per train on the train changes from 635.9 million kWh to 985.7 million kWh. Based on the simulation platform in the same study, the relationship between different railway business plans and RBE has been explored. The results show that regenerative braking efficiency (RBE) increases gradually with train pairs running on the line (Figure 6b).

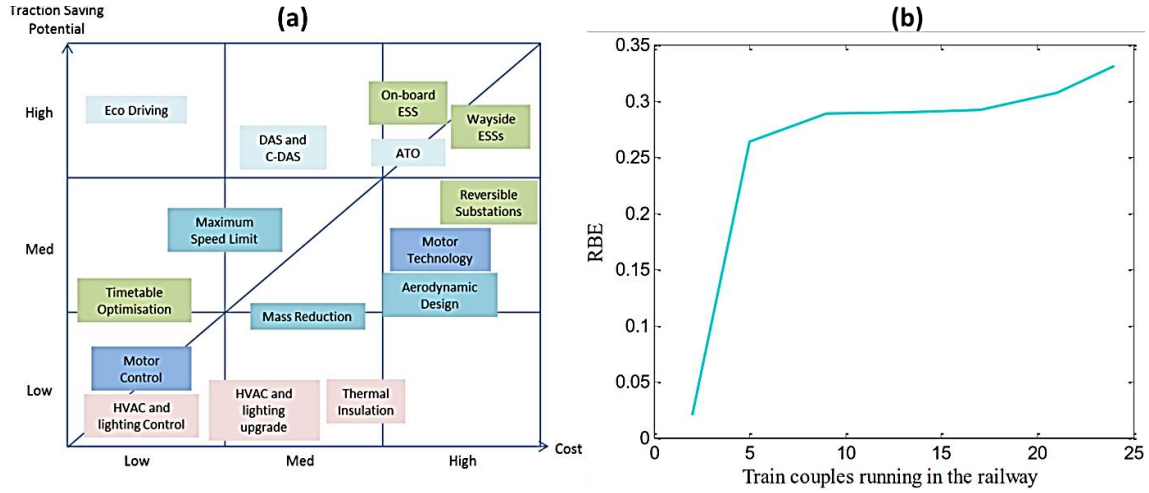


Figure 6. a) Comparison of cost and saving potential for energy saving measures [28], b) Relationship between different railway business plans (different train pairs working on the railway) and RBE [30].

$$d\psi(s) = \frac{\psi(s)R(K(s)) - R(K_s)}{K(s)^{3/2}} ds - (a_{tr}(s)g'_{tr}(K(s)) + a_b(s)g'_b(K(s)))ds \cdot +d\mu(s). \quad (4)$$

The regenerative braking technique is an energy recovery mechanism used in metro systems to regain traction energy during braking of electrical energy. Yang and his colleagues [31] showed that the programming approach proposed in the study can reduce energy consumption by 6.97% (Table 2). They also achieved a 36.16% increase in the use of regenerative energy and a 4.28% reduction in total energy consumption. Tian et al. [32] found that simulated traction energy and braking energy are about 1% lower than energy consumption and are acceptable.

Table 2. Energy consumption comparison between existing and optimal time schedules [31].

	Required electricity	Utilization of regenerative energy	Total energy consumption
Current timetable	15,292 kW h	1223 kW h	14,069 kW h
Optimal timetable	15,292 kW h	2203 kW h	13,089 kW h
	Daily	Monthly	Yearly
Saved energy	3566 kW h	106,990 kW h	1,301,714 kW h
Saved money	2888 CNY (or 464 USD)	86,662 CNY (or 13,909 USD)	1,054,388 CNY (or 169,223 USD)

Table 3. Comparison of optimization results [32].

	Current ATO operation	Traction optimisation	System optimisation
Cycle running time [s]	4281	4281	4248
Substation energy per headway [kWh]	331.28	232.21	203.37
Substation loss per headway [kWh]	12.38	6.41	4.55
Transmission loss per headway [kWh]	26.26	16.60	16.18
Traction energy per headway [kWh]	525.94	372.52	375.12
Braking energy per headway [kWh]	289.51	199.04	201.57
Regenerative energy per headway [kWh]	233.30	163.32	192.48
Regeneration efficiency	80.6%	82.1%	95.5%

The traction optimization column in Table 3 shows that the system maintains the energy consumption under traction optimization but retains the original timeline. Combined with optimized operation, low energy consumption and high regenerative braking, transformer energy consumption can be reduced by 38.6%.

Y.V. Bocharnikov et al. [33] also used a genetic algorithm (GA) research procedure in optimization Figure 7. They have shown that up to 40% energy savings can be achieved for only a 10% increase in travel. Storing energy in order to minimize energy consumption is among the studies carried out. Miyatake and Matsuda [34] have formulated the optimal control problem of train operation in order to find the least amount of consumed energy, suggest how to solve it, discuss the optimized results, and find notch and charge / discharge commands with knowledge of the optimal operation. As a result of the studies, the total energy consumption decreased by 0.36-5.67% compared to the train without energy storage device (Table 4). Using optimum speed profiles, Ahmadi et al. [35] found that the energy of the optimum energy storage systems (ESS) was reduced from 68.1 to 41.5 kWh at optimum loss per period, which could lead to a decrease in network losses. With optimized ESS distribution, their maximum capacity has been seen to increase by about 100%.

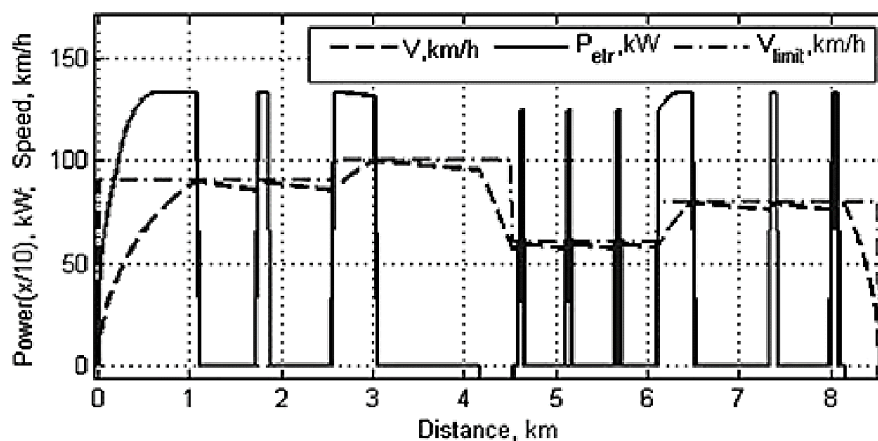


Figure 7. Optimized train route with run-time-critical priority [33].

Table 4. Evaluation of energy consumption [34].

	Total energy consumption [MJ]	Energy saving in %
Case 1	27.55	—
Case 2	27.45	0.36
Case 3	26.40	4.17

The energy consumption for railways is very large and it covers a large part of the railway transport. The goal of optimizing the energy-saving train operation is to reduce the total fuel consumption in the process of train operation with the aim of ensuring safety and punctuality. It is important both in theory and practice to examine the energy-saving train operation. Many studies have focused on optimization methods of energy-saving train operation. For example, Yinping and colleagues [36] have developed the energy-saving optimization algorithm by analyzing the running speed of the train, saving time and



controlling the target speed. Energy savings were achieved by 27.7% and 9.8%, respectively, for the time saving strategy and the target speed control strategy (Figure 8a and Figure 8b).

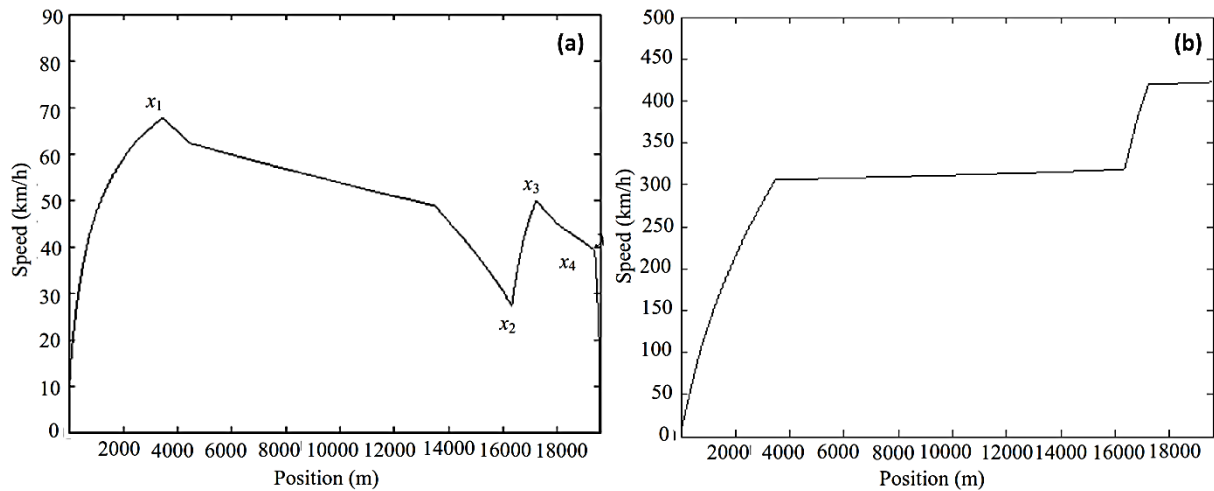


Figure 8. a) Speed position diagram, b) energy position diagram [36].

With Dynamic Programming, optimization results can be easily used for online control. Compared to tight time control, energy consumption is greatly reduced and almost reaches the value of multi-train optimization. For this purpose, Albrecht [37] suggests a new approach to the study period of the train. The initial timeline was compared to a timetable that was optimized using a genetic algorithm with a 15-minute average power as a cost function. The last time table shows that 4% energy savings and 15% average power of all 17% substations (Figure 9). Quaglietta et al. [11] dealt with the service system to understand how the energy consumption of train delays affected. They used a microscopic simulation model for all combinations of input parameters. From a mathematical point of view, they have found that the platform strongly identifies train delays. They recommend effective solutions to reduce the variability of station waiting times by improving the order of the platforms.

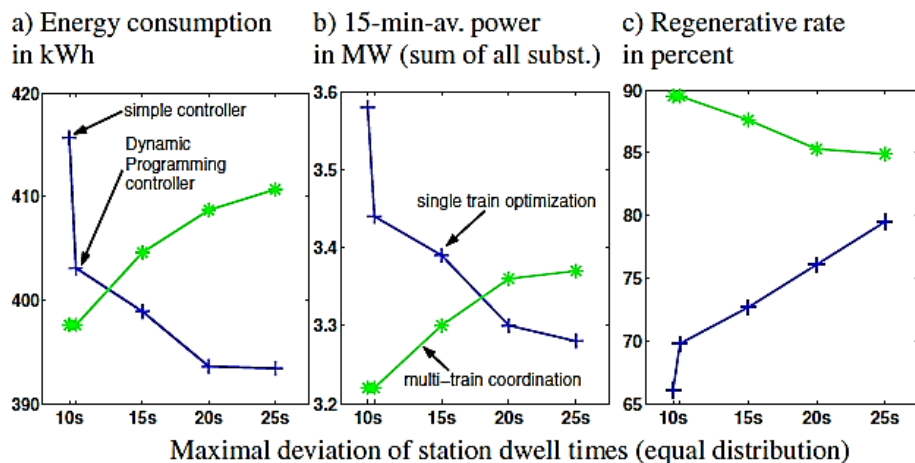


Figure 9. Energy consumption for different periods of consumption, 15-minute average power and regenerative rates [37].

With the application of timetable optimization techniques, it is possible to determine what will reduce energy consumption. For this purpose, González-Gil [38] and his colleagues have proven that they can significantly improve the renewed energy exchange between vehicles. Reported that between 3% and 14% energy savings were achieved. The contribution of the work of Yang et al. [39] could create a new timetable optimization model that could maximize the use of recuperation energy and reduce passenger waiting time to a minimum (Figure. 10). The proposed model achieved 8.86% energy savings and reduced passenger waiting time by 3.22% compared to the current timeline. In addition, Nasri et al. [40]

investigated the effects of travel time and duration on energy consumption (Table 5). Genetic algorithms have proposed motion charts. The optimization results show that this method can reduce the total electric energy required for the electric railway system by up to 14%. Gao et al. [41] investigated the relationship between energy consumption, travel time and timeline in an express subway line. Based on the analysis of energy consumption in different OD cases, they have developed two objective linear programming models that take into account energy consumption and travel time at the same time. Compared to the conventional standard stop mode, the express mode has shown that it can cause both energy consumption and travel time decline. In the case of minimum travel time, energy consumption decreased by about 9.4% and travel time decreased by 5.4%.

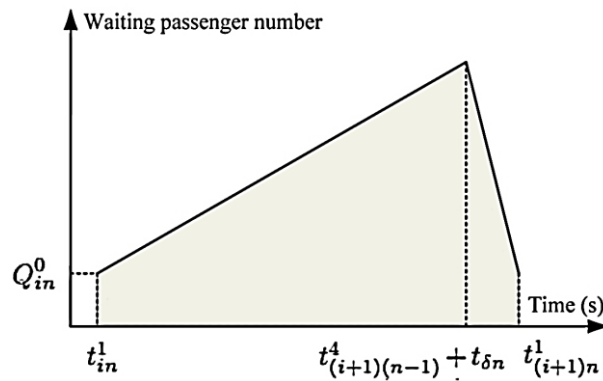


Figure 10. Passenger waiting time [39].

Table 5. Summary of results optimized energy consumption [40].

Consumed Energy	Headway time =2 min	Headway time =4 min
Optimized stop time	772 kWh	766.6 kWh
Stop time = 40 s	883.3 kWh	850 kWh
Stop time = 20 s	819.4 kWh	850 kWh
Percent of energy saving	14 %	10 %

In recent years, air pollution has become a serious environmental problem. As the problem of air pollution grows more and more, many countries are looking for effective ways to reduce carbon emissions. The transportation sector is big among the sources of air pollution. For this reason, optimizing the structure of the railway network to reduce carbon emissions by directing the flow of freight from the highway to the railway is a scientific question that must be urgently addressed both in theory and practice. For this purpose, Lin et al. [42] analyzed the carbon emissions of road and rail transport. Based on the data, they have proven that a railway transport system has less carbon emissions than other transport types.

## 2.4. Airway

Aviation is one of the fastest growing industries of the global economy. Over the past 20 years, the industry has grown by an average of around 5%. Aviation is a significant contributor to global gross domestic product and creates significant employment among all nations. In recent years, the rapid development of the world economy and the improvement of the level of household consumption have widened the gap between energy demand and supply. The total energy cost of all airlines in the world has exceeded 160 billion dollars and the carbon dioxide emission volume is more than 0.676 billion Turkish Liras. The airline industry is one of the few sectors where energy consumption has increased by more than 6% in the last 10 years. For this purpose, Amizadeh et al. [43], developed a traffic model with an increase in traffic efficiency parameter (-3.5%), by providing a more significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions (- 4.3%) for both passengers and cargoes (about -0.8% they achieved a small reduction. The distribution of CO<sub>2</sub> emissions per aircraft type and distance band is shown in Table 6. As expected, most of the CO<sub>2</sub> emissions (73%) correspond to long-haul flights (longer than 2500 km).

Table 6. CO<sub>2</sub> emissions in 6 major aviation markets in 2013 are classified per distance band and aircraft type [43].

Distance band (km)	Aircraft type (MTOW in tons)				Total band
	<7	7–136		>136	
		Turboprop	Jet		
<500	–	0.5	4.6	0.2	5.2
500–1000	–	0.2	10.7	0.4	11.4
1000–1500	–	–	10.0	0.5	10.5
1500–2000	–	–	9.0	0.5	9.5
2000–2500	–	–	6.1	0.5	6.6
>2500	–	–	10.7	106.7	117.4
Total type	–	0.7	51.1	108.7	160.8

Liu and colleagues [44] developed a new generalized production theoretical decomposition analysis (PDA) method under the variant turnaround (VRS) framework to analyze the trends in CO<sub>2</sub> emissions of Chinese airlines and their underlying factors. CO<sub>2</sub> emissions from central airways increased by 53.07 percent from 26.52 million mt in 2007 to 40.61 million tons in 2013. Among them, CSN generated the most CO<sub>2</sub> emissions with a strong growth during the working period (Figure 11).

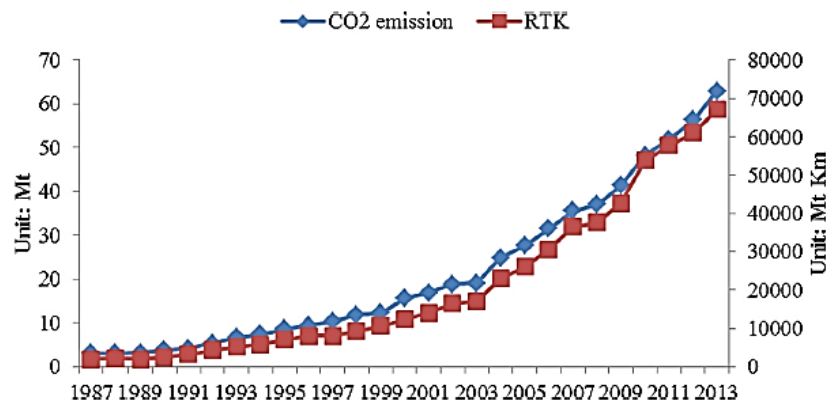


Figure 11. Income tonnage kilometer (RTK) and CO<sub>2</sub> emissions from civil aviation in China between 1987 and 2013 [44].

Energy plays a critical role in the economic and social development of a country. For this reason, the identification and analysis of energy issues and the development of energy policy options are crucial. For this purpose, Utlu and Hepbasli [45] conducted an analysis of their energy and exergy productivity changes between 2000 and 2020. Turkey weighted average for all energy and transport sectors in 2020 Exergy efficiency values are calculated as Tables 7 and 8, respectively 28.75% and 28.85%.

Table 7. CO<sub>2</sub> emissions in 6 major aviation markets in 2013 are classified per distance band and aircraft type [45].

Energy carrier		2000		2020	
		Input (PJ)	Sector (%)	Input (PJ)	Sector (%)
Hard coal	Energy	0.03	0.01	0.50	0.04
	Exergy	0.03	0.01	0.50	0.04
	Energy	499.38	99.48	1379.64	98.52
Petroleum	Exergy	494.39	99.47	1365.84	98.56
	Energy	0.15	0.03	0.60	0.04
Natural gas	Exergy	0.14	0.03	0.55	0.04
	Energy	2.39	0.48	19.59	1.4
Electricity	Exergy	2.39	0.49	19.59	1.41
	Energy	501.01	100.00	1400.33	100.00
Total	Exergy	497.01	100.00	1385.73	100.00

Table 8. Energy and exergy efficiency in the Turkish transportation sector in 2000 and 2020 [45].

Modes	Energy terms <sup>a</sup>		Exergy terms		Efficiencies <sup>b</sup>	
	2000	2020	2000	2020	2000	2020
Bus and truck (Diesel)	25.33	31.59	25.64	32.79	28	35
Autom. and truck (Gasoline)	62.33	44.67	61.44	43.32	20	22
Airplane	8.54	14.11	8.55	13.83	15	25
Ship	1.61	2.29	1.66	2.27	40	45
Train	2.19	7.34	2.18	7.49	40	45
Overall energy and exergy efficiencies (%)	23.71	28.75	23.65	28.85		

Cui and Li [46] have modeled energy efficiency through MATLAB programming in their work. According to the results, high capital efficiency has a significant effect on the energy efficiency of airlines (Table 9).

Table 9. Energy and exergy efficiency in the Turkish transportation sector in 2000 and 2020 [46].

Airlines	2008	2009	2010	2011	2012	Average	Order
China Eastern Airlines	0.660	0.569	0.803	0.802	0.894	0.746	4
China Southern Airlines	0.613	0.514	0.663	0.668	0.768	0.645	10
Korean Air	0.594	0.516	0.792	0.789	0.803	0.699	7
Qantas Airways	0.707	0.510	0.812	0.805	0.826	0.732	5
Air France-KLM	0.779	0.586	0.907	0.906	0.816	0.799	3
Lufthansa Airlines	0.640	0.563	0.785	0.788	0.803	0.716	6
Scandinavian Airlines	0.856	0.854	0.852	0.874	0.835	0.854	2
Delta Air Lines	0.913	0.841	0.893	0.891	0.884	0.884	1
Alaska Airlines	0.580	0.486	0.754	0.753	0.763	0.667	9
Air China	0.694	0.485	0.685	0.692	0.785	0.668	8
Hainan Airlines	0.651	0.536	0.561	0.563	0.773	0.617	11

The research done by Vespermann and Wald [47] also aims to measure the economic and ecological impact of incorporating the air transport industry into an Emission Trading Scheme (ETS) system. With the model they have developed, air transport will bring about 2.7% emissions reductions in 2012 and 7.5% in 2020. (Figure 12).

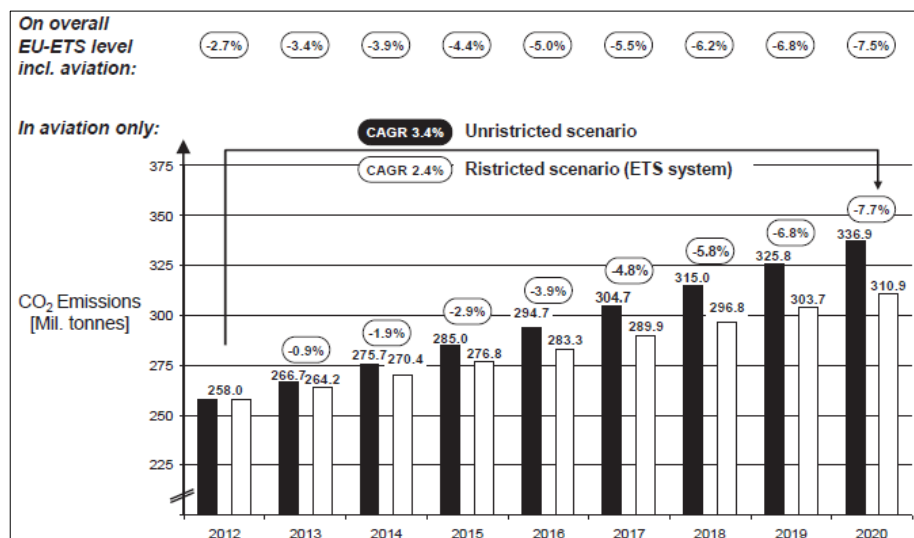


Figure 12. Estimated CO<sub>2</sub> emission reduction from 2012-2020 [47].

### 3. Conclusions

In this study, provides a general review about the relation of energy and all transportation modes in detail. Transport is an important part of the economy and functions as one of the foundation, the support and the service provider. In addition, modern mobile communities consume significant amounts of energy to maintain passenger and freight transport. In emerging economies, increased economic activity has a significant share in per capita income. In addition, as the transport and living standards increase, the demand for personal transportation is increasing. In other words, the magnitude of the movement of people and freights and the wide travel distances that arise such hypermobility make transport the fastest growing energy consumer and greenhouse gas generator. Hence, efficient usage of energy in transport sectors and decreasing transport originated emissions became a major focused study area by many researchers. By this way several methods were discovered both theoretically and experimental in order to satisfy the requirements mentioned above for transportation. Here, some methods developed in recent years and theoretical fundamentals of optimization and simulation methods were supplied and state of the art in transportation sector were expressed in general. As a result, it's possible to save energy and fuel and decrease emissions in high levels up to 35% with an affective energy management system successfully. We hope that the study will provide a major source to researchers about energy efficiency, management and optimization areas in highway, seaway, railway and airway transportation methods.

### 4. References

- [1] S. Watanabe and T. Koseki, "Energy-saving train scheduling diagram for automatically operated electric railway," *J. Rail Transp. Plan. Manag.*, vol. 5, no. 3, pp. 183–193, 2015.
- [2] A. Gautam, S. De, A. Dhar, J. G. Gupta, and A. Pandey, *Sustainable Energy and Transportation: Technologies and Policy*. Singapore: Springer Nature, 2018.
- [3] Z. Samaras and I. Vouitsis, "Transportation and Energy," in *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*, vol. 3, Elsevier, 2013, pp. 183–205.
- [4] E. Kayabasi and H. Kurt, "Simulation of heat exchangers and heat exchanger networks with an economic aspect," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, 2018.
- [5] E. Kayabasi, H. Kurt, and E. Celik, "Determination of micro sized texturing and nano sized etching procedure to enhance optical properties of n-type single crystalline silicon wafer," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 18, 2017.
- [6] A. García-Olivares, J. Solé, and O. Osychenko, "Transportation in a 100% renewable energy system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 158, no. January, pp. 266–285, 2018.
- [7] R. Gerboni, D. Grosso, A. Carpignano, and B. Dalla Chiara, "Linking energy and transport models to support policy making," *Energy Policy*, vol. 111, no. February, pp. 336–345, 2017.
- [8] REN21, "Renewables 2017 Global Status Report," 2017.
- [9] I. Dincer, J. Hogerwaard, and C. Zamfirescu, *Clean Rail Transportation Options*. Springer International Publishing, 2016.
- [10] M. Yang and X. Yu, *Energy Efficiency: Benefits for Environment and Society*. LONDON: Springer-Verlag, 2015.
- [11] S. Soylu, "Estimation of Turkish road transport emissions," *Energy Policy*, vol. 35, no. 8, pp. 4088–4094, 2007.
- [12] Y. Zu, C. Liu, R. Dai, A. Sharma, and J. Dong, "Real-time energy-efficient traffic control via convex optimization," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 92, no. May, pp. 119–136, 2018.
- [13] J. Kühlwein and R. Friedrich, "Traffic measurements and high-performance modelling of motorway emission rates," *Atmos. Environ.*, vol. 39, no. 31 SPEC. ISS., pp. 5722–5736, 2005.
- [14] B. Beltran, S. Carrese, E. Cipriani, and M. Petrelli, "Transit network design with allocation of green vehicles: A genetic algorithm approach," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 17, no. 5, pp. 475–483, 2009.
- [15] S. Haldenbilen and H. Ceylan, "Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey," *Energy Policy*, vol. 33, no. 1, pp. 89–98, 2005.
- [16] P. J. Pérez-Martínez and I. A. Sorba, "Refereed Papers: Energy Consumption of Passenger Land Transport Modes," *Energy Environ.*, vol. 21, no. 6, pp. 577–600, 2010.
- [17] F. A. N. Li, T. Xiao-xue, and W. Sheng-chang, "Study on the Factors of Energy Consumption of Highway Transport Passenger Station," no. Rsete, pp. 225–227, 2013.
- [18] R. Saidur, M. A. Sattar, H. H. Masjuki, S. Ahmed, and U. Hashim, "An estimation of the energy and exergy efficiencies for the energy resources consumption in the transportation sector in

- Malaysia," *Energy Policy*, vol. 35, no. 8, pp. 4018–4026, 2007.
- [19] J. Chai, Q. Y. Lu, S. Y. Wang, and K. K. Lai, "Analysis of road transportation energy consumption demand in China," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 48, pp. 112–124, 2016.
- [20] M. Kalikatzarakis, R. D. Geertsma, E. J. Boonen, K. Visser, and R. R. Negenborn, "Ship energy management for hybrid propulsion and power supply with shore charging," *Control Eng. Pract.*, vol. 76, no. November 2017, pp. 133–154, 2018.
- [21] K. Wang, X. Yan, Y. Yuan, X. Jiang, X. Lin, and R. R. Negenborn, "Dynamic optimization of ship energy efficiency considering time-varying environmental factors," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 62, pp. 685–698, 2018.
- [22] K. Yigit and B. Acarkan, "A new electrical energy management approach for ships using mixed energy sources to ensure sustainable port cities," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 40, no. January, pp. 126–135, 2018.
- [23] Y. Zhu, S. Zhou, Y. Feng, Z. Hu, and L. Yuan, "Influences of solar energy on the energy efficiency design index for new building ships," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 30, pp. 19389–19394, 2017.
- [24] International Energy Agency, "World Energy Outlook 2016," 2016.
- [25] F. D. Kanellos, A. Anvari-Moghaddam, and J. M. Guerrero, "A cost-effective and emission-aware power management system for ships with integrated full electric propulsion," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 150, pp. 63–75, 2017.
- [26] J. Gong, C. yu Guo, T. cheng Wu, and D. gang Zhao, "Particle image velocimetry measurement of velocity distribution at inlet duct of waterjet self-propelled ship model," *J. Hydrodyn.*, vol. 29, no. 5, pp. 879–893, 2017.
- [27] V. Durán-Grados, J. Mejías, L. Musina, and J. Moreno-Gutiérrez, "The influence of the waterjet propulsion system on the ships' energy consumption and emissions inventories," *Sci. Total Environ.*, vol. 631–632, pp. 496–509, 2018.
- [28] H. Douglas, C. Roberts, S. Hillmansen, and F. Schmid, "An assessment of available measures to reduce traction energy use in railway networks," *Energy Convers. Manag.*, vol. 106, pp. 1149–1165, 2015.
- [29] E. Khmel'nitsky, "On an Optimal Control Problem of Train Operation," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 45, no. 7, pp. 1257–1266, 2000.
- [30] S. Song, Q. Wang, and J. Wu, "Simulation of multi-train operation and energy consumption calculation considering regenerative braking," *Proc. 33rd Chinese Control Conf. CCC 2014*, pp. 3387–3392, 2014.
- [31] X. Yang, A. Chen, X. Li, B. Ning, and T. Tang, "An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 57, pp. 13–29, 2015.
- [32] Z. Tian, P. Weston, N. Zhao, S. Hillmansen, C. Roberts, and L. Chen, "System energy optimisation strategies for metros with regeneration," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 75, pp. 120–135, 2017.
- [33] Y. V. Bocharnikov, A. M. Tobias, C. Roberts, S. Hillmansen, and C. J. Goodman, "Optimal driving strategy for traction energy saving on DC suburban railways," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 1, no. 5, pp. 675–682, 2007.
- [34] M. Miyatake and K. Matsuda, "Energy saving speed and charge/discharge control of a railway vehicle with on-board energy storage by means of an optimization model," *IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 6, pp. 771–778, 2009.
- [35] S. Ahmadi, A. Dastfan, and M. Assili, "Energy saving in metro systems: Simultaneous optimization of stationary energy storage systems and speed profiles," *J. Rail Transp. Plan. Manag.*, no. October 2017, pp. 0–1, 2018.
- [36] Y. FU, Z. GAO, and K. LI, "Optimization Method of Energy Saving Train Operation for Railway Network," *J. Transp. Syst. Eng. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 90–96, 2009.
- [37] T. Albrecht, "Reducing power peaks and energy consumption in rail transit systems by simultaneous train running time control," *Trans. State Art Sci. Eng.*, vol. 39, pp. 1–25, 2002.
- [38] A. González-Gil, R. Palacin, and P. Batty, "Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy," *Energy Convers. Manag.*, vol. 75, pp. 374–388, 2013.
- [39] X. Yang, B. Ning, X. Li, and T. Tang, "A two-objective timetable optimization model in subway systems," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 15, no. 5, pp. 1913–1921, 2014.
- [40] A. Nasri, M. Fekri Moghadam, and H. Mokhtari, "Timetable optimization for maximum usage of regenerative energy of braking in electrical railway systems," *SPEEDAM 2010 - Int. Symp. Power*

- Electron. Electr. Drives, Autom. Motion*, pp. 1218–1221, 2010.
- [41] Y. Gao, L. Yang, and Z. Gao, “Energy consumption and travel time analysis for metro lines with express/local mode,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 60, pp. 7–27, 2018.
- [42] B. Lin, C. Liu, H. Wang, and R. Lin, “Modeling the railway network design problem: A novel approach to considering carbon emissions reduction,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 56, pp. 95–109, 2017.
- [43] F. Amizadeh, G. Alonso, A. Benito, and G. Morales-Alonso, “Analysis of the recent evolution of commercial air traffic CO<sub>2</sub>emissions and fleet utilization in the six largest national markets of the European Union,” *J. Air Transp. Manag.*, vol. 55, no. December 1997, pp. 9–19, 2016.
- [44] X. Liu, D. Zhou, P. Zhou, and Q. Wang, “What drives CO<sub>2</sub>emissions from China’s civil aviation? An exploration using a new generalized PDA method,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 99, pp. 30–45, 2017.
- [45] Z. Utlu and A. Hepbasli, “Assessment of the energy utilization efficiency in the Turkish transportation sector between 2000 and 2020 using energy and exergy analysis method,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 13, pp. 1611–1618, 2006.
- [46] Q. Cui and Y. Li, “Evaluating energy efficiency for airlines: An application of VFB-DEA,” *J. Air Transp. Manag.*, vol. 44–45, pp. 34–41, 2015.
- [47] J. Vespermann and A. Wald, “Much ado about nothing? - An analysis of economic impacts and ecologic effects of the EU-emission trading scheme in the aviation industry,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 45, no. 10, pp. 1066–1076, 2011.

# RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA HAVA YAYININ MODELLENMESİ

R. Merve BÜYÜKAKYOL <sup>1\*</sup>, Engin YILDIRIM <sup>2</sup>, M. Hüseyin ÇETİN <sup>3</sup>  
<sup>1\*</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye, e-mail: rabiamervebuyukakyol@gmail.com  
<sup>2</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye, e-mail: enginyildirim@karabuk.edu.tr  
<sup>3</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye, e-mail: hccetin@karabuk.edu.tr

## Özet

Ulaşımında raylı sistemlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak bu araçlardaki yol tutuşu ve konfor ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada çeyrek araç modellemesi yapılarak raylı sistem aracının pasif süspansiyon sistemi ele alınmıştır. Süspansiyon sisteminde havalı yay modellemeleri incelenerek Nishimura hava yayı modeli kullanılmıştır. Havalı yayların uzunluğu kullanımına göre yeni (234 mm), 6 aylık (231 mm) ve sınır değeri (226 mm) olmak üzere 3 farklı kategoride ele alınmıştır. Her bir kategoride farklı çap değerleri kullanılarak vagon, boji ve tekerleğe ait konum, hız ve ivme grafikleri elde edilmiştir. Bu çalışmada modelleme ve grafikler için MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır. Elde edilen grafik sonuçlarına göre, hava yayının çapı arttıkça konum, hız ve ivme grafiklerinin genliklerinde azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava yayı, Süspansiyon, Çeyrek Araç, Nishimura Modeli

## Abstract

The use of rail system for transportation is increasing day by day. Therefore handling and comfort have been prominent in these vehicles. In this study the passive suspension system of the rail system vehicles is discussed by using the quarter car modelling. Air spring modellings for the suspension system have been examined and Nishimura air spring model has been used. The length of air springs is addressed in three categories when are new (234 mm), 6 month old (231 mm) and the limit value (226 mm) by usage. The graphers for displacement, velocity and acceleration of the wagon, bogie and wheel have been obtained by using different diameter values in every category. In this study, MATLAB/Simulink program has been used for the modelling and graphics. It is been observed that as the diameter of the air spring increases, the amplitude of the displacement, velocity and acceleration graphics decreases the graphic results obtained.

**Keywords:** Air spring, Suspension, Quarter Car, Nishimura Model

## 1. GİRİŞ

Ulaşım, toplumların sosyalleşmesi açısından hayatın her boyutunda yer alan, insanların veya eşyaların yer değiştirmesini ve böylece hayatta aktif bir rol oynamasını sağlayan vazgeçilmez bir olgudur. Yer değiştiren her şey ise gezindiği ortamların etkisini muhakkak üzerlerine alır, kendi etkisini de bu çevreye yayarlar. Bu etkileşim, kapalı ekonomiden açık ekonomiye geçişi göstermektedir. Bu geçişin hızlı olması iyi bir ulaşımın en önemli göstergelerindendir [1].

Raylı sistemle ulaşımında konfor ve güvenlik ön plana çıkmaktadır. Raylı sistemle ulaşım diğer ulaşım sistemlerine göre daha hızlı, güvenilir, konforlu olması; çevreye karşı duyarlılığı; daha fazla yolcu ve yük taşıma kabiliyeti; enerji kaynaklarının çeşitliliği ile ulaşım sistemleri arasındaki yeri ve önemi gün geçtikçe artmaktadır. Beraberinde endüstrideki yeniliklerin uygulanabilirliği, konfor ve güvenliğin artırılması sektörü mühendislik alanında yeniliklere yöneltmiştir. Bu çalışmada ise raylı araçlarla ulaşımında konfor üzerine mühendislik tasarımı ve analizleri yapılmıştır.



Raylı sistem araçlarında meydana gelen titreşimler, süspansiyonlar üzerinde yapılabilen iyileştirmeler ile geliştirilen boji tasarımlarıyla en aza indirilerek araç konforu artırılmaktadır. Değişen yol, yük, taşıt hızına bağlı olarak tasarlanan süspansiyonlar, tekerleğin yol tutuşunu ve konforu etkilemektedir. Yol tutuşu ve güvenliğin yanı sıra yolcuların konforu için yumuşak bir sönümlenme gerekmektedir. Üç tip süspansiyon sistemi vardır; pasif sistemler, yarı aktif sistemler ve aktif sistemler. Süspansiyon sistemlerinin her biri farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Pasif süspansiyon sistemleri, büyük bir frekans bant genişliği boyunca titreşime maruz kaldıklarında çeşitli dezavantajlar gerçekleşmektedir [2]. Yarı aktif bir süspansiyonun dezavantajı, sistemin yalnızca bir yönde kontrol edilebilmesidir [3]. Aktif süspansiyon sisteminin kontrolü ise karmaşıklık ve yüksek enerji tüketimi gibi dezavantajlara sahiptir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için hava yay (süspansiyon) sistemleri kullanılabilir.

Hava yay sistemi, düşük geçirgenlik katsayıları ve yük kapasitesine göre gaz basıncını değiştirme kabiliyeti ile ünlüdür. Hava yaylarının bir avantajı, havanın enerji depolama kapasitesinin, çelik gibi mekanik yay malzemelerine göre çok daha büyük olmasıdır. Bu tür yaylar etkin potansiyel enerjiyi depolamak için, bir titreşim izolasyon sisteminde ki kullanımı; çelik yayların titreşim izolasyon sisteminde ki kullanımından yaklaşık 10 kat daha düşük bir sistem için doğal frekans oluşturabilir [4]. Hava yayları sadece rezonans frekanslarını düşürmekle kalmaz aynı zamanda eşdeğer özelliklere sahip mekanik yaylara göre daha küçüktür [5]. Hava basıncını değiştirerek yük taşıma kapasitesini değiştirme kabiliyeti, çelik yaylara göre büyük bir avantaj sağlar.

Hava yayı süspansiyon sistem tasarımı, aktif kontrolsüz kullanıldığında pasif bir süspansiyon sistemine dönüşür. Aktif kontrol sistemi ile kullanıldığında daha etkili bir süspansiyon sistemi elde edilmiş olur. Süspansiyon sistemlerinin matematiksel modellenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu sayede tüm sistemin matematiksel modellenmesi yapılarak, sistem girdileri cevaplanmıştır. Hava yayı süspansiyon sistemi için de birçok matematiksel modelleme yapılmış olup; Nishimura [5], Vampire [7], Simpac [8] ve Gensys [9,10] gibi birçok farklı hava yayı modeli vardır. Bu çalışmada Nishimura hava yayı süspansiyon modeli kullanılarak, matematiksel sistem modellenmesi yapılmıştır.

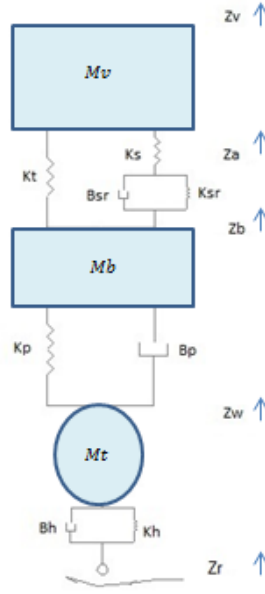
Havali yaylar raylı taşıtlarda ikincil(sekonder) süspansiyonlar olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Havali yaylar, taşıtın yüküne bakılmaksızın sabit süspansiyon frekansı ve seyir yüksekliği sağlar. Hava basıncının kaybolması ile süspansiyonun işlevini yitirmesi gibi durumların üstesinden gelebilmek için çoğu havali yay lastik acil durum yayı ile desteklenir. Bazı tasarımlarda bu acil durum yayı, sadece havali yayın(körüğün) havası boşaldığında devreye girer. Diğerlerinde ise bu iki yay seri bağlanmış şekilde çalışır [12]. Bu çalışmadaki yükseklik parametreleri de acil durum yayı esas alınarak, yeni (234 mm), 6 aylık (231 mm) ve sınır değer (226 mm) olmak üzere 3 farklı kategoride hesaplanmıştır.

## 2. 5 Serbestlik Dereceli Çeyrek Raylı Araç Dinamik Modeli

Modellemeye vagon gövdesi, süspansiyon sistemi, boji ve tekerlek dâhil edilmiştir. Çeyrek raylı taşıt fiziksel modelinin diğer modellerden farkı; tekerlek ray etkileşimi, Hertz yayı ile traverslerden raya gelen düşey yöndeki kuvvetlerin sönümlenmesi ve Nishimura hava yayı modellenmesine ait  $Z_a$  bağımsız koordinatı dikkate alınmasıdır. Raylı taşıtın deplasmanları, hızları ve ivmelenmesi için zamana bağlı grafik sonuçları elde edilmiştir.

Bu modelde  $V$ , taşıt hızını;  $M_v$ , vagona ait kütle;  $M_b$ , boji kütle;  $M_t$ , tekerlek kütle;  $K_s$ ,  $K_{sr}$ ,  $K_t$  ve  $B_{sr}$  Nishimura havali yay süspansiyon sisteminin yay ve sönüm katsayılarını  $K_p$  ve  $B_p$  sırasıyla birincil (primer) süspansiyonun yay ve sönüm katsayısını;  $K_h$  ve  $B_h$  tekerlek ray temasını temsil eden Hertz yayı katsayısını göstermektedir.  $Z_v$ ,  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_w$  bağımsız koordinatları;  $Z_r$  yol girişini ifade etmektedir.

Bu model, bozucu bir yol girişi karşısında raylı araca ait titreşimlerin yolcu konforu ve araç stabilizasyonu incelenmesi için kullanılan beş serbestlik dereceli raylı sistem aracının çeyrek araç modelidir. Bu modelde, sisteme bozucu giriş olarak Amerika Ulusal Demiryolu Kurumu'na (FRA) göre dikey yöndeki ray pürüzlülüğü 1.sınıf yol pürüzlülüğü kullanılmıştır.



Şekil 1 Beş Serbestlik dereceli raylı sistem aracının çeyrek araç modeli

Şekil 1' de raylı araca ait fiziksel modele ait enerji denklemleri şu şekildedir:

$$Ek = \frac{1}{2}M_v \cdot \dot{Z}_v^2 + \frac{1}{2}M_b \cdot \dot{Z}_b^2 + \frac{1}{2}M_t \cdot \dot{Z}_w^2 \quad (1)$$

$$Es = \frac{1}{2}B_{sr}(\dot{Z}_a - \dot{Z}_b) + \frac{1}{2}B_p(\dot{Z}_b - \dot{Z}_w) + \frac{1}{2}B_h(\dot{Z}_w - \dot{Z}_r) \quad (2)$$

$$Ep = \frac{1}{2}K_s(Z_a - Z_b) + \frac{1}{2}K_{sr}(Z_a - Z_b)^2 + \frac{1}{2}K_t(Z_v - Z_b)^2 + \frac{1}{2}K_p(Z_b - Z_w)^2 + \frac{1}{2}K_h(Z_w - Z_r)^2 \quad (3)$$

Newton denklemleri ile matematiksel modelin çıkartılmasının için gerekli sistemin bağımsız koordinatları cinsinden hareket denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$M_v$ ; kütleğine ait dikey yöndeki hareket denklemi;

$$F_{mv}^a = -F_{Ks} - F_{Kt} \quad (4)$$

$$M_v \ddot{Z}_v = -K_s(Z_v - Z_a) - K_t(Z_v - Z_b) \quad (5)$$

Nishimura hava yayı modeline ait dikey yöndeki hareket denklemi;

$$0 = B_{sr}(\dot{Z}_a - \dot{Z}_b) + K_s(Z_a - Z_v) + K_{sr}(Z_a - Z_b) \quad (6)$$

$M_b$ ; kütleğine ait dikey yöndeki hareket denklemi;

$$F_{mb}^a = F_{Kt} + F_{Ksr} + F_{Bsr} - F_{Kp} - F_{Bp} \quad (7)$$

$$Mb\ddot{Z}b = Kt(Zv - Zb) + Ksr(Za - Zb) + Bsr(\dot{Z}a - \dot{Z}b) - Kp(Zb - Zw) - Bp(\dot{Z}b - \dot{Z}w) \quad (8)$$

$M_w$ ; kütlelerine ait dikey yöndeki hareket denklemleri;

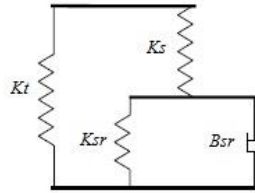
$$F_{mb}^a = F_{Kp} + F_{Bp} - F_{Kh} - F_{Bh} \quad (9)$$

$$Mw\ddot{Z}w = Kp(Zb - Zw) + Bp(\dot{Z}b - \dot{Z}w) - Kh(Zw - Zr) - Bh(\dot{w} - \dot{Z}r) \quad (10)$$

### 3. Nishimura Hava Yayı Modeli

Hava yay süspansiyon sistemi parametrelerinin performansı üzerindeki etkisini analiz etmek için dinamik bir model oluşturulmuştur. Matematiksel model, çok fazla parametrenin deneysel olarak belirlenmesine gerek olmadan, sistemin dinamik davranış simülasyonunu mümkün kılar.

Nishimura havalı yay modelinde bulunan;  $Ks$  havalı yay rijitlik(yay) katsayısı,  $Ksr$  haznenin yay katsayısı,  $Kt$  alan değişiminin yay katsayısı,  $Bsr$  havalı yayın sönüm katsayısı ifade etmektedir. Bu çalışmada kurulan modeldeki değişkenler; pistonun geometrisi düz silindir, sabit sıcaklık, düşük titreşim frekansı, ideal gaz, hava yayının rijitlik(yay) katsayısı nonlineer kabul edilerek sistem üzerinde çözümlenmiştir.



Şekil 2 Nishimura Hava Yayı Modeli [11]

Bir hava yayının klasik modellenmesi için literatürde rijitlik karakteristiği şu şekilde sunulmuştur;

$$k = n \cdot (Ae)^2 \cdot \frac{Po}{Vo} \quad (\text{Ns/m}) \quad (10)$$

Burada;  $k$ , hava yayı katsayısını;  $Ae$ , hava yayı etkin alanını;  $Po$ , başlangıç basıncını;  $Vo$ , başlangıç hacmini ve  $n$  ise polytropik oranı temsil etmektedirler. Polytropik oran  $n$ , 1-1,4 arasında seçilir.

$$Ks = n \cdot (Ae)^2 \cdot \frac{Po}{Vr} \quad (11)$$

$$Ksr = n \cdot (Ae)^2 \cdot \frac{p_o}{V_b} \quad (12)$$

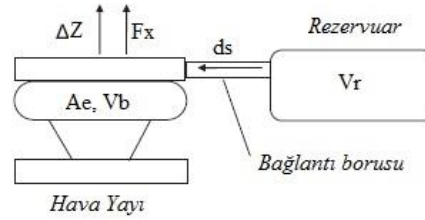
$$Kt = p_{go} \cdot \frac{dAe}{dz} = (p_o - p_a) \cdot \frac{dAe}{dz} \quad (13)$$

$$Bsr = R_f \cdot (Ae)^2 \cdot \rho_o \cdot g = \frac{126}{ds^3} \cdot (Ae)^2 \cdot \rho_o \cdot g \quad (14)$$

$$A_e = \pi D^2 / 4 \quad (15)$$

$$V_b = \pi D^2 / 4 \cdot L \quad (16)$$

$A_e$ , hava yayı etki alanı;  $p_o$ , başlangıç mutlak basıncı;  $V_r$ , rezervuarın başlangıç hacmi;  $V_b$ , hava yayının (körüğü) hacmi;  $p_{go}$ , ölçülen başlangıç hacim basıncı;  $p_a$ , başlangıç atmosfer basıncı;  $R_f$ , akış direnç katsayısı,  $\rho_o$ , havanın yoğunluğu;  $ds$ , boru hattının çapı;  $g$ , yer çekim ivmesidir.



Şekil 3 Hava Yayı Termodinamik Modeli [6]

Çizelge 1 Hava yayına ait değişkenler [6]

Rezarvuar hacmi ( $dm^3$ )	60
Bağlantı boru uzunluğu ( $m$ )	2.5/9
Bağlantı boru çapı ( $mm$ )	38
Başlangıç mutlak basınç ( $Pa$ )	759990
Ölçülen başlangıç hacmi basıncı ( $atm$ )	6.5
Havanın yoğunluğu ( $Kg/m^3$ )	1.225
Polytropik oran ( $n$ )	1-1.4

Çizelge 1' de bulunan değişkenler, Nishimura hava yayına ait yay ve sönüm katsayı denklemlerinde yerine konularak çözümlenmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Tabloda belirtildiği üzere; hazneye ait yay katsayısı  $Ksr$ , hava yayı(körüğü) hacmine bağlı olarak değişimi diğer katsayılar arasında, çap ve uzunluk değerlerine göre değişiklik göstermiştir. Havalı yaylarda alan değişimi katılığı, yüksekliğin değişmesi ile etkin alanın değişmesi ve bunun, hava basıncı sabit olsa bile kuvvetin değişimine neden olmasını ifade eder. Bazı yay tasarımlarında alan değişimi katılığı negatif olabilir [12].

Tablo 1 Değişen hava yayına ait yay katsayısının silindir çapına göre değişimi

Silindir Çapı(m)	Yeni Ksr Katsayısı(N/m)	6 Aylık Ksr Katsayısı(N/m)	Sınır Ksr Katsayısı(N/m)
0,06	12849,68	13016,56	13304,53
0,16	91375,48	92562,18	94610,01
0,26	241288,4	244422	249829,6
0,36	462588,4	468596	478963,2
0,46	755275,5	765084,2	782010,9
0,56	1119350	1133887	1158973
0,66	1554811	1575003	1609848
0,76	2061659	2088434	2134638
0,86	2639895	2674179	2733342
0,96	3289517	3332238	3405960

#### 4. Sonuç

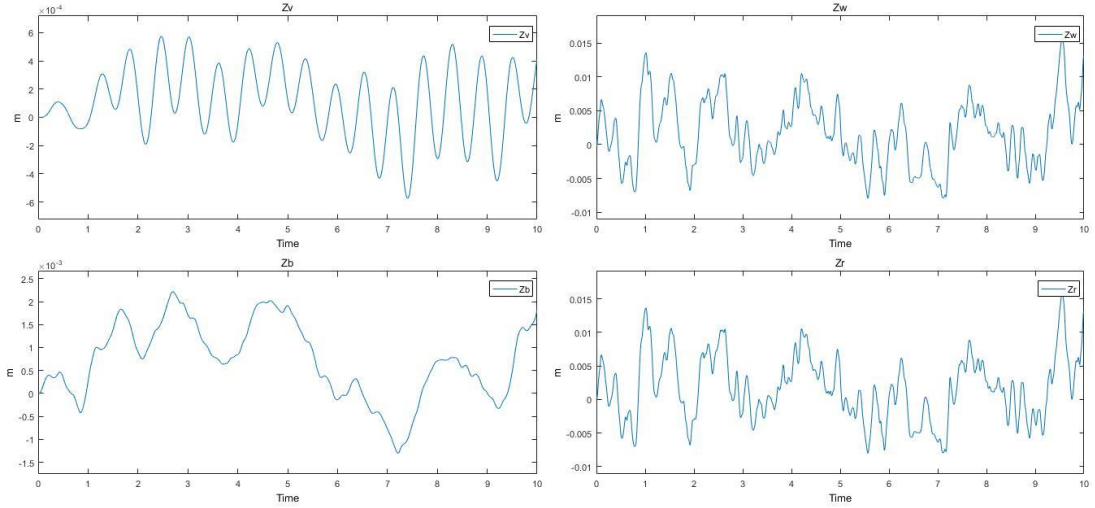
Yapılan nümerik analizlerde hava yayının yükseklik ve çap değerleri değiştirilerek, deplasman, hız ve ivmelerinin zamana göre değişimi gözlemlenmiştir. Çizelge 2' de bulunan değerler sabit alınarak, hava yayının katsayılarındaki değişim ve bu katsayılarındaki değişimlerin grafik sonuçlarına bakılarak, uygun konfor ve uygulanabilir bir hava yayı tasarımı yapılması hedef alınmıştır.

Çizelge 2 Matematiksel modelde kullanılan sabit parametreler [1, 12]

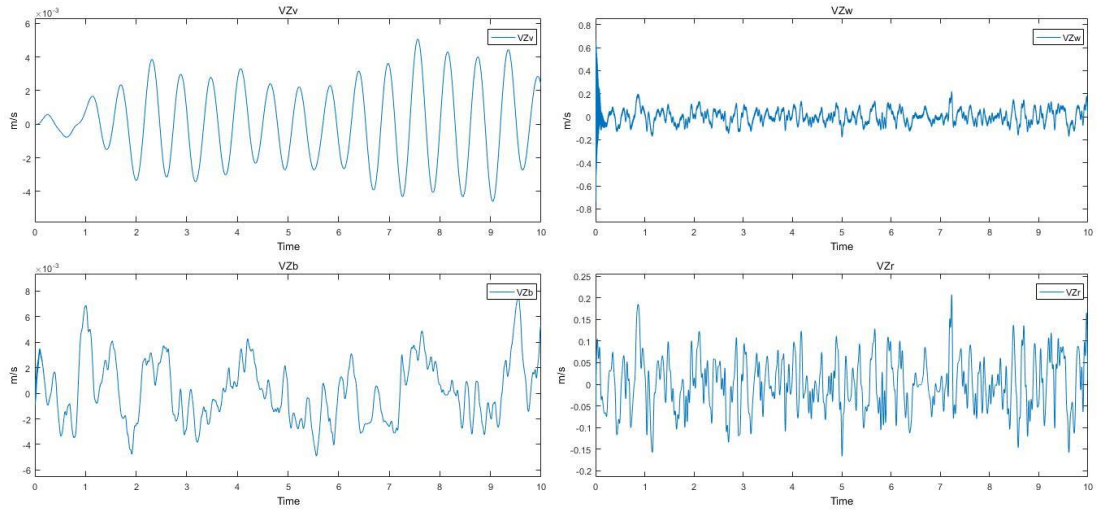
Vagon Kütlesi, $M_v$ (Kg)	38000
Boji Kütlesi, $M_b$ (Kg)	2500
Tekerlek Kütlesi, $M_t$ (Kg)	275
Primer süspansiyon yay katsayısı, $K_p$ (N/m)	3000000
Primer süspansiyon sönüm katsayısı, $B_p$ (Ns/m)	10800
Hertz yay katsayısı, $K_h$ (N/m)	1015549009
Hertz sönüm katsayısı, $B_h$ (Ns/m)	100

Hava yayı uzunluk değerleri yeni 0.234 (m); 6 ay 0,231 (m) ve sınır 0,226 (m) olarak öngörülmüştür. Uzunluk değerleri belirtildiği gibi,  $V_b$  hava yayı hacim değişimini ve  $K_{sr}$  haznenin yay katsayısını etkilemektedir. Çap değeri sabit tutularak, öngörülen değerler değiştirilmiş bunun sonucunda grafiklerde değişiklik gözlenmemiştir.

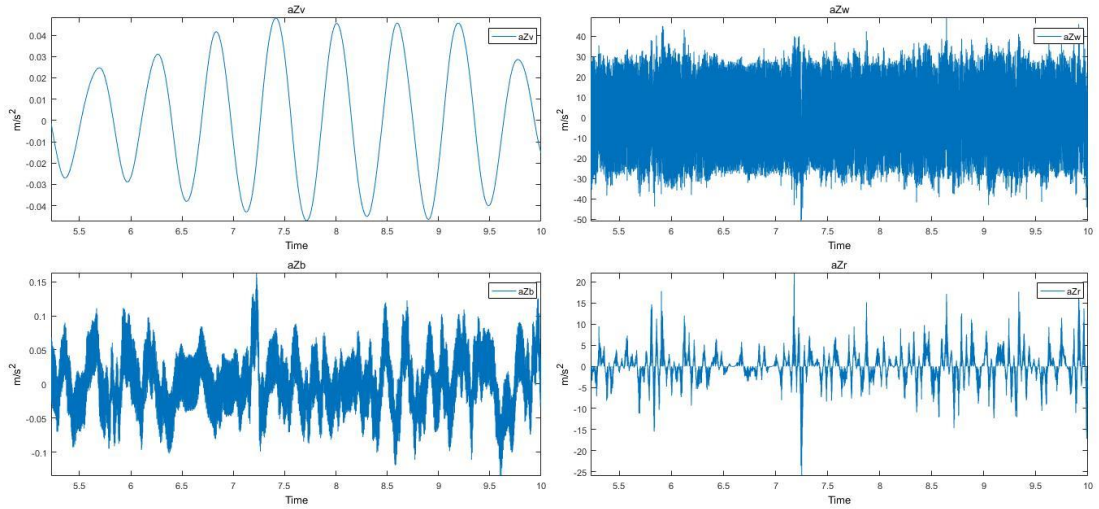
Hava yayı çap değeri arttırıldıkça; vagon, hava yayı, boji ve tekerleğe ait deplasman, hız ve ivmelenme grafiklerinde genlik değerleri azalmıştır. 0.06 (m) çaptan 0.76 (m) çap değerine arttırıldığında vagonun gövdesinde meydana gelen deplasman değeri düşmektedir. 0.76 (m) çaptan 0.96 (m) çap değerine arttırıldığında frekans artışı söz konusudur. Dalga boyunda küçülmeler gözlemlenmiştir. ISO 2631-1 değer tablosu esas alınarak, çap arttırıldıkça vagon gövdesi ivmelenme değerlerine ait konfor seviyeleri şu şekildedir. 0.06 (m) çap, oldukça konforsuz; 0.26 (m) çap, oldukça konforsuz; 0.66 (m) çap, konforlu; 0.76 (m) çap, konforlu; 0.86 (m) çap, konforlu; 0.96 (m) çap, konforlu seviyesinde sınıflandırılmıştır. Yapılan bu çalışmada en uygun hava yayı çap değeri 0,96 (m) olarak değerlendirilmiştir fakat araç tasarımı da göz önüne alınarak en uygun hava yayı çap değeri 0.76 (m) olarak seçilmiştir. Aşağıda belirtilen grafiklerde yoldan alınan girdinin primer, sekonder süspansiyonlar ve damperler yardımıyla sönümlendiği görülmektedir. Yol ( $Z_r$ ) ve tekerlek ( $Z_w$ ) arasındaki hertz yayından kaynaklı çok küçük bir değişim gözlemlenmiştir. Sönümlenen bu girdi vagon deplasmanında en küçük değerini almıştır. Hız grafiklerinde yoldan alınan girdinin sönümlenerek, zamanla değişen deplasmanla birlikte dikey hızın kademeli olarak azaldığını göstermektedir. İvme, hızın zaman içerisindeki değişimini ifade etmektedir ve buna bağlı olarak deplasman da ivmeyi etkilemektedir. Yapılan çalışmada ivme grafikleri, hız grafiklerine paralel olarak değişim göstermiştir. Vagona ait ivmelenme grafiğinde zaman içerisindeki hız değişimi, uygun bir ivmelenme sergilemektedir. Bunun da araç konforunu uygun hale getirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4 0,76m çaptaki yeni hava yayının vagon, boji, tekerlek ve yola ait deplasman grafikleri



Şekil 5 0,76m çaptaki yeni hava yayının vagon, boji, tekerlek ve yola ait hız grafikleri



Şekil 6 0,76m çaptaki yeni hava yayının vagon, boji, tekerlek ve yola ait ivmelenme grafikleri

Tablo 2 Grafik bağımsız koordinatları

$Zv$	Vagon deplasmanı
$Zb$	Boji deplasmanı
$Zw$	Tekerlek deplasmanı
$Zr$	Yol girdisi
$VZv$	Vagon hızı
$VZb$	Boji hızı
$VZw$	Tekerlek hızı
$VZr$	Yola ait hız girdisi
$aZv$	Vagon ivmelenmesi
$aZb$	Boji ivmelenmesi
$aZw$	Tekerlek ivmelenmesi
$aZr$	Yola ait ivmelenme girdisi

## Kaynaklar

- [1] Metin M., *Raylı Sistem Araçlarının Modellenmesi ve Titreşim Kontrolü*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2007).
- [2] Chandekar B., Lagdive H. D. Design of electro-hydraulic active suspension system for four wheel vehicles. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2014;4(4):885–889.
- [3] Krishnasamy D. P., Jayaraj J., John D. Experimental investigation on road vehicle active suspension. *Journal of Mechanical Engineering*. 2013;59(10):620–625. doi: 10.5545/sv-jme.2012.925.
- [4] Harris C. M., Piersol A. G., editors. *Harris' Shock and Vibration Handbook*. 5th. New York, NY, USA: McGraw-Hill; 2002.
- [5] Presthus M. *Derivation of air spring model parameters for train simulation [M.S. thesis]* Lulea University of Technology; 2002.
- [6] Facchinetti A., Mazzola L., Alfi S., Bruni S. ;Mathematical modelling of the secondary airspring suspension in railway vehicles and its effect on safety and ride comfort, *Vehicle System Dynamics*, 2010; 48:S1, 429-449, DOI: 10.1080/00423114.2010.486036
- [7] Eaton S., *A Mathematical Model of a Nonlinear Pneumatic Suspension System*. Berlin, Germany: ABB Daimler-Benz Transportation (Rolling Stock); 1997.
- [8] Vannucci D., Saporito G., Romani M. Wheel rail dynamic of DMU IC4 car for DSB: modelling of the effect of secondary air spring on calculation results and advanced analysis for controlling car body angle. Proceedings of the SIMPACK User Meeting; March 2006; [http://www.simpack.com/fileadmin/simpack/doc/usermeeting06/um06\\_ansaldob-saporito.pdf](http://www.simpack.com/fileadmin/simpack/doc/usermeeting06/um06_ansaldob-saporito.pdf).
- [9] Berg M., A three-dimensional air spring model with friction and orifice damping. Proceedings of the 16th IA VSD Symposium, the Dynamics of Vehicles on Roads and on Tracks; 1999; Pretoria, South Africa.
- [10] Berg M., *TRITA-FKT Report*. 1999:32. Stockholm, Sweden: Division of Railway Technology, Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology; 1999. An air spring model for dynamic analysis of rail vehicles.
- [11] Berg M: Modelling of springs and dampers for dynamic analysis of rail vehicles- a pilot study, KTH, Stockholm 1994, ISBN KTH/FKT/FR-94/51-SE
- [12] Gürsel A., *Raylı Taşıtların Aktif Süspansiyon Kontrolü*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,2003.

# RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ DİNAMİK PERFORMANSLARININ İZLENMESİ

Zafer Hüseyin ERGAN

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma MYO, Eskişehir, Türkiye, e-mail: zhergan@anadolu.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada raylı sistem araçlarının seyir halindeki dinamik performansların izlenmesine olanak veren sistem ele alınmaktadır. Söz konusu sistem vasıtasıyla raylı sistem araçlarının seyir halindeki kararlılıkları, performansları, konfora ve deraymana yönelik şartları doğru ve güvenilir olmanın yanı sıra hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Sistem ilgili uluslararası standartlara uygun olarak testlerin ve ölçümlerin gerçekleştirilebildiği ve elde edilen sonuçların değerlendirilebildiği bir yapıda verilmektedir. Bu kapsamda öncelikle sistemin bileşenleri ifade edilmektedir. Daha sonra sistem ile direkt veya dolaylı olarak ilgili olan uluslararası standartlara kısaca değinilmektedir. Son olarak ise sistemin teknik özellikleri ve bu sistem kullanılarak ölçülebilen parametreler açıklanmaktadır. Böyle bir sistemin tasarlanması ve kurulumu, raylı sistem araçlarına yönelik farklı sertifikasyon testleri ve AR-GE faaliyetleri açısından büyük önem arz etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Strengeli tekerlek seti, işletme parametreleri, test koşulları, kuvvet algılayıcı sensörler.

## Abstract

This study addresses the system, which allows monitoring dynamical performances of moving railway vehicles. The stabilities, performances, conditions for comfort and derailment of the railway vehicles under operation can be determined accurately, reliably and fast via mentioned system. System is given in a way in which the tests and measurements can be performed and can be evaluated in accordance with the international standards. In this context, at first the system components are stated. Then, the international standards, which are directly or indirectly related to the system, are mentioned briefly. Finally, the technical specifications of the system and measurable parameters are explained. Design and installation of such a system is very important for certification tests for railway vehicles and R&D activities.

**Keywords:** Instrumented wheel set, operational parameters, test conditions, force sensors.



## 1. Giriş

Raylı sistemler gerek yurt dışında gerekse ülkemizde önemini giderek artırmaktadır. Raylı sistem taşımacılığının güvenli bir şekilde sürdürülebilmesi için gerek raylı sistem araçlarına gerekse raylı sistem araçlarında yer alan bileşenlere yönelik test sistemlerinin oluşturulması ve bu test sistemlerinde de uygun testlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Raylı sistemlere yönelik test sistemleri farklı sınıflandırmalar altında ele alınmaktadır. Bu sınıflandırmalardan birisi testin uygulandığı alt sisteme yönelik olarak yapılan sınıflandırmadır. Test sistemleri bu kapsamda elektronik, mekanik, çevre vb. farklı gruplarda ele alınmaktadır. Diğer bir sınıflandırma ise testlerin uygulanma şekline göre yapılmaktadır. Eğer uygulanan test raylı sistem araçları hareket etmiyorken uygulanıyorsa ilgili test statik test olarak sınıflandırılmaktadır. Öte yandan eğer uygulanan test raylı sistem araçları seyir halindeyken uygulanıyorsa bu durumda ilgili test dinamik test olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan sistem raylı sistem araçlarının seyir halindeki dinamik performanslarının izlenmesine olanak verdiğinden bahsedilen ikinci sınıfa dâhil olmaktadır.

Ele alınan sistem vasıtasıyla raylı sistem araçlarının seyir halindeki kararlılıkları, performansları, konfora ve deraymana yönelik şartları belirlenebilmektedir. Ölçümler uluslararası standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bununla birlikte ölçümler doğru ve güvenilir olmalıdır. Sistemde bahsedilen konulara yönelik ölçüm ve değerlendirmelerin yapılması sonucu hem seyir esnasında karşılaşılan hata ve arızaların tespit edilmesi hem de seyir koşullarının iyileştirilmesine yönelik yeni ve modern sistemlerin geliştirilmesi için AR-GE çalışmalarının yürütülmesi planlanmaktadır.

Çalışmada öncelikle söz konusu sistemin bileşenleri ifade edilmektedir. Daha sonra direkt veya dolaylı olarak sistem ile ilgili olan uluslararası standartlara kısaca değinilmektedir. Son olarak ise sistemin teknik özellikleriyle bu sistem kullanılarak ölçülebilen farklı parametreler açıklanmaktadır.

## 2. Sistem Bileşenleri

Sistem kapsam olarak, AR-GE çalışmalarının yürütüldüğü bir eğitim-öğretim laboratuvarında yer alan çok sayıda mekanik, elektriksel, termal vb. ölçüm cihazını barındırmalıdır. Bunların yanında sistemde özel olarak aşağıda ifade edilen bileşenler ve donanımlar yer almalıdır [1]:

- Strengelerle, sensörlerle, hızlı kamera ve navigasyon ile donatılmış ve sinyalleri veri toplama sistemine telemetri sistemi ile aktaran sensörlü, strengeli tekerlek seti (Instrumented Wheel Set) ve bu sistemden kaydedilecek verilerin değerlendirilmesi, analiz edilmesi, grafiklenmesi gibi işlemleri gerçekleştirecek bilgisayar yazılımı,
- Aracın seyir sırasında hızını süreli ölçerek veri toplama sistemine aktaran ölçüm modülü,
- Konum bilgilerini algılayarak veri toplama sistemine aktaran GPS modülü ve gerekli aksesuarlar,
- Aracın seyir sırasında 3 eksen etrafındaki açısal hareketlerini, açısal hızlarını, ölçerek veri toplama sistemine aktaran Cayro (Gyro) sistemi,
- Araç geçiş gürültü ölçümleri sırasında, aracın geçiş konumunu tanımlayan ve veri toplama sistemine sinyal gönderen Kodlayıcı (Encoder) modülü,

- Hızlı kamera sistemi,
- Fren performansına yönelik testler için kullanılacak test sisteminin özel hazırlanmış beton blok kütle üzerindeki T-slot plaka üzerine yerleştirilmesinin projelendirilmesi düşünülmelidir. Test sistemi sürücü motor, volan seti, tork sensörü, çeşitli aktüatör ve yük hücreleri gibi temel elemanlardan oluşacaktır. Sistemde sürücü motor ayarlanabilir hızlarda olmalıdır. Sürücü motorda hız/tork kontrolü gerçekleştirilebilmelidir. Ayrıca, sistem sürtünmeden kaynaklanan sıcaklık değişimini ve tekerlek üzerindeki dağılımını ölçüp, analiz eden donanımlara sahip olmalıdır.

Sistem kapsamında bahsedilen önemli bileşenlerden biri olan strengeli tekerlek setine yönelik olarak farklı uygulamalar mevcuttur. Bu uygulamalarda kullanılan iki farklı strengeli tekerlek seti örneği Şekil 1'de ve Şekil 2'de gösterilmektedir [2,3].



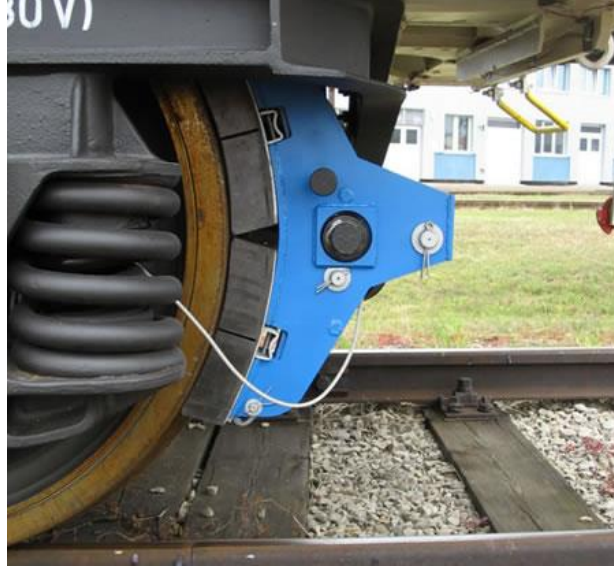
Şekil 1. Örnek bir strengeli tekerlek seti uygulaması



Şekil 2. Örnek bir strengeli tekerlek seti uygulaması

Strengeli tekerlek setine yönelik olarak strengelerin seçimi ve doğru bir şekilde uygulanması son derece önemlidir.

Fren performansına yönelik testlerde kullanılmak üzere tasarlanmış, hat üzerinde ölçümlerin alındığı örnek bir hat üstü fren testi sistemine yönelik görsel ise Şekil 3'te verilmektedir [4].



Şekil 3. Örnek bir hat üstü fren testi sistemi

Öte yandan raylı sistem araçlarının seyirleri esnasında hat durumunu izlemeye ve hatta meydana gelen belirsizlikleri tespit etmeye yönelik örnek bir sisteme ait bileşenler de Şekil 4'te verilmektedir. Bu şekilde yer alan bileşenler sırasıyla işlemci ünitesi, dingil kutusu üzerine yerleştirilmiş olan ivmeölçerler, GPS alıcısı ve araç gövdesine yerleştirilmiş olan sensör olarak ifade edilmektedir [5].



Şekil 4. İvme sinyalleri vasıtasıyla hat durumunu izlemeye yönelik sistemin bileşenleri

### 3. Sistem ile İlgili Uluslararası Standartlar

Gerçekleştirilen taramalar sonucunda aşağıda yer alan uluslararası standartların seyir halindeki demiryolu araçlarının izlenmesine yönelik sistem ile direkt veya dolaylı olarak bağlantılı olduğu görülmüştür. Bu nedenle raylı sistem araçlarının dinamik performanslarının izlenmesi amacıyla planlanan test ve ölçüm sistemine yönelik olarak söz konusu standartların detaylı bir şekilde incelenmesinin doğru olacağı düşünülmektedir [6,7]:

- **EN 14363: 2016:** Bu Avrupa Standardı, Avrupa standart ray aralığı için (nominal olarak 1435 mm) demiryolu taşıtlarının çalışma karakteristiklerini değerlendirme sürecini tanımlamaktadır. Kabul prosedürleri için araçların çalışma özelliklerinin değerlendirilmesine ek olarak, bu standart aynı zamanda doğrudan kabul amaçları için kullanılmayan miktarları ve bağımlılıkları da tanımlar. Bu bilgi örneğin simülasyon modellerinin doğrulanması için kullanılabilir. Ayrıca, onay için kullanılacak referans koşullarının dışındaki çalışma koşullarını tanımlamak için de kullanılabilir. Çalışma karakterlerinin değerlendirilmesi süreci şu araçlara uygulanabilir: - yeni geliştirilen araçlar; - ilgili tasarım değişikliklerine sahip mevcut araçlar veya - çalışma koşullarında değişiklik yapılan araçlar.
- **EN 14535-2: 2011:** Bu standart fren disklerinin tasarımı, boyutları, performansı ve deneyi ile ilgili karşılanacak gerekleri kapsar. Bu standart demiryolu araçlarının göbek gövdesi veya tekerlek göbeği de dâhil olmak üzere tekerlek üzerine sabitlenen fren disklerine uygulanır. Yerleştirilen her bir ayrı ünite için, her biri bir sürtünme yüzeyine sahip olan bir veya daha fazla fren disk halkası kullanılabilir. Bu standart ana ulusal ağlarda, şehir içi ağlarda, yeraltı demiryollarında, tramvaylarda, özel ağlarda (bölgesel demiryolları, şirket demiryolları vb.) kullanılan demiryolu taşıtlarına yerleştirilmek için tasarlanan disklerle uygulanır.
- **UIC 518: 2005:** Raylı Sistem Araçlarının Dinamik Davranış Açısından Teste Tabi Tutulması ve Onaylanması – Güvenlik – Hat Yorulması – Sürüş Davranışı. UIC 518 Fişi, uluslararası trafik onaylama amaçlarına ilişkin güvenlik, yol yorulması ve çalışma davranışı ile bağlantılı olarak dinamik davranış açısından hat boyu çalışma testleri ile demiryolu aracı onaylanmasına yönelik (konvansiyonel araçlar, yeni teknoloji araçlar ve özel araçlar) sonuçların analizi ile ilgili tüm hükümleri içermektedir.

- **UIC 540: 2006:** Yük trenleri ve yolcu trenleri için hava frenleri. UIC 540 fişi, raylı sistem aracı yerinde duruyorken ve seyir halindeyken fren sistemiyle alakalı test ve ölçümlere yönelik süreçleri tanımlamaktadır.

#### 4. Sistemin Teknik Özellikleri ve Sistemde Ölçülebilecek Parametreler

Sistemde raylı sistem araçlarının seyir koşullarına yönelik olarak bu bölümde ifade edilen farklı parametrelerin ölçümleri ile bu parametrelerle ilgili farklı analizler gerçekleştirilebilmelidir. Bu kapsamda raylı sistem araçlarının seyir halindeki kararlılıkları, performansları, konfora ve deraymana yönelik şartları kapsamında aşağıda yer alan parametrelerin ve özelliklerin ölçülebilmesi mümkün olmalıdır [8-11]:

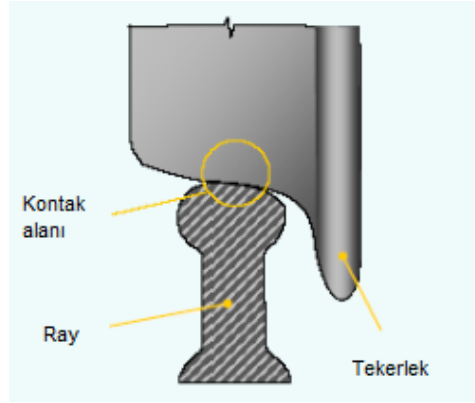
- Tekerlek ile rayın temas noktasında oluşan düşey kuvvet bileşeni (Q)
- Tekerlek ile rayın temas noktasında oluşan yanal kuvvet bileşeni (Y)
- Derayman faktörü (Y/Q oranı): Bu oran buden tırmanması (flange climbing) ve buna bağlı derayman riskini belirlemektedir.
- Tekerlek-ray temasının karakteristiğini belirleyen eşdeğer koniklik (equivalent conicity) parametresi
- Teker hasarları
- Tekerlek-ray sürtünme düzeyinin belirlenmesi
- Ray deformasyonunun belirlenmesi
- Seyir halindeki davranış ve gürültü değerleri
- Demiryolu aracına yönelik yük dağılımının belirlenmesi
- Kurblara uygunluk
- Bojiye etki eden dönme kuvvetlerinin ölçümü
- Planlanan maksimum dever bozukluğu (cant deficiency)

Öte yandan sistemde gerçekleştirilmesi planlanan fren performansına yönelik testler dâhilinde ise aşağıda yer alan özellik ve parametrelerin elde edilmesi ve bunlara yönelik analizlerin yapılması gerekmektedir:

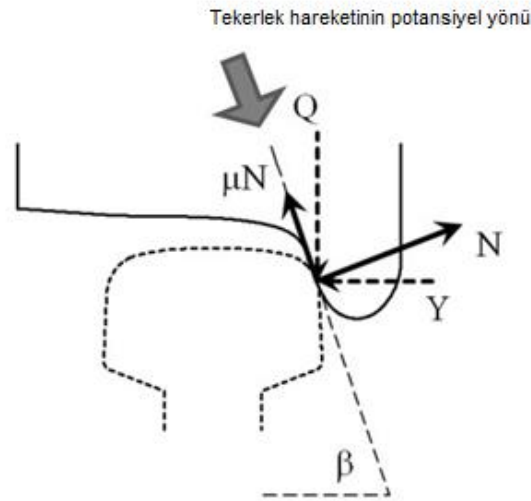
- Raylı sistem araçlarının fren karakteristikleri
- Statik sürtünme katsayısı
- Kinetik sürtünme katsayısı
- Moment sürtünme katsayısı
- Frenlemeye bağlı olarak bileşenlerde meydana gelen aşınma oranları

- Yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı ve ısınma noktasının belirlenmesi
- Hava deposundaki basınç değeri
- Raylı sistem araçlarının durma mesafeleri
- Raylı sistem araçlarının boylamasına ivmeleri
- Sabo ve çarklardaki kuvvet değerleri
- Fren silindirlerinin strok değerleri

Tekerlek-ray ilişkisini ve bu ikisi arasındaki teması gösteren tekerlek-ray profili Şekil 5'te gösterilmektedir [12]. Tekerlek-ray temas noktasında oluşan Q ve Y kuvvetleri ise Şekil 6'da yer almaktadır [13].



Şekil 5. Tekerlek-ray profili



Şekil 6. Tekerlek-ray temas noktasındaki Q ve Y kuvvetleri

Testler 4 ayrı bölümde gerçekleştirilmelidir. Birinci test bölümü aliymana (düz hatta) ve çok büyük yarıçaplı kurba karşılık gelmektedir. İkinci test bölümü büyük yarıçaplı kurbların yer aldığı kesimdir. Üçüncü test bölümü yarıçapı 400 m – 600 m arasında yer alan küçük yarıçaplı kurblara karşılık gelen hat kesimleridir. Dördüncü ve son test bölümü ise yarıçapı 250 m – 400 m arasında yer alan çok küçük yarıçaplı kurbların yer aldığı hat kesimini tanımlar. Her bir test bölümünde hat kısımlarının test koşullarına yönelik farklı gereksinimler mevcuttur. Bu gereksinimler Çizelge 1’de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Farklı hat kısımları için test koşulları

Test Bölümü	Hat Kısımının Uzunluğu	Hat Kısımlarının Minimal Sayısı	Tüm Hat Kısımlarının Toplamının Minimal Uzunluğu	Tüm Hat Kısımlarının Ortalama Kurb Yarıçapı Değeri
1	250 m	25	10 km	-
2	100 m	25	10 km	-
3	100 m	50	-	500 m ± 50 m
4	70 m	25	-	300 m, + 50 m,- 20 m

Hat üzerinde test edilecek araçlar için uyulması gereken eşdeğer koniklik değerleri Çizelge 2’de verilmektedir. Testler için önerilen işletme parametreleri ise Çizelge 3’te yer almaktadır. Bu çizelgede aşağıda yer alan özellikler için mm cinsinden izin verilen dever bozukluğu (cant deficiency) değerlerine yer verilmektedir:

- Tren tipleri
- Araç çeşidi
- Altyapı tipi
- İzin verilen maksimum hız

Çizelge 2. Hat üzerinde test edilecek araçlar için eşdeğer koniklik değerleri

Lokal Olarak İzin Verilen Hız	Eşdeğer Koniklik Değeri
$V \leq 140 \text{ km/h}$	$\leq 0,5$
$140 \text{ km/h} \leq V \leq 200 \text{ km/h}$	$\leq 0,4$
$200 \text{ km/h} \leq V \leq 230 \text{ km/h}$	$\leq 0,35$
$230 \text{ km/h} \leq V \leq 250 \text{ km/h}$	$\leq 0,3$

250 km/h $\leq$ V $\leq$ 280 km/h	$\leq$ 0,25
280 km/h $\leq$ V $\leq$ 350 km/h	$\leq$ 0,15

Çizelge 3. Testler için önerilen işletme parametreleri

Tren Tipi	Araçlar	Altyapı	İzin verilen Maksimum Hız (km/h)	İzin verilen deyer bozukluğu (mm)	
Yük Treni	Konvansiyonel Yük Vagonları	Konvansiyonel altyapı	$\leq$ 120	130	
	Uygun (Suitable) Konvansiyonel Yük Vagonları		$120 \leq V \leq 140$		
	Özel Yük Vagonları		$140 \leq V \leq 160$	150	
Yolcu Treni	Konvansiyonel yolcu vagonları ve motrisler		$V \leq 230$		165
	Özel motrisler ve çoklu diziler		Yenilenen yüksek-hızlı hatlar	$160 \leq V \leq 250$	150
				$200 \leq V \leq 250$	130
		Balastsız yüksek-hızlı hat	$250 \leq V \leq 300$	150	
Kurblar için özel ekipmana sahip araçlar		$V \leq 300$	Özel tanımlamalara göre belirlenir.		

Demiryolu araçlarının deraymanının farklı nedenleri mevcuttur. Araç şartlarından ve aracın hızından kaynaklı meydana gelen deray durumu yerel ölçüm istasyonunda seyir halinde ölçüm yapılarak tespit edilebilir. Bu şekilde deray şartlarını tespit etmek için ray tekerlek temas noktasındaki kuvvet bileşenleri sürekli ölçülür ve bu ölçümlerden alınan verilerin değerlendirilmesi ile yapılan analizlerin sonucunda değişik hızlar ve kurb yarıçapları oluşturulabilir. Kuvvet ölçümleri, traversler üzerine monte edilmiş metal elemanlar üzerine yerleştirilen özel kuvvet algılayıcı sensörler ile gerçekleştirilir. Bu ekipmanlar, normal işletmede bir aksamaya neden olmaz ve sistemin bakımı basittir. Traverslerin üzerine monte edilen kuvvet algılayıcı sensörlere yönelik farklı uygulamalar Şekil 7'de gösterilmektedir [14,15].





Şekil 7. Traverslerin üzerine monte edilen kuvvet algılayıcı sensörler

Sistemin bahsedilen testlerin ve ölçümlerin aynı anda yapılabileceği şekilde, farklı seyir senaryolarının, çekiş sistemine yönelik farklı senaryoların, farklı frenleme senaryolarının uygulanabileceği bir bilgisayar yazılımına sahip olması gerekmektedir. Bilgisayar yazılımında, test parçasının özellikleri, kontrol sisteminin ve benzeri gerekli işlemler tanımlanabilmeli ve ayrıca ölçülerek, kaydedilen verilerin ilgili test özelliklerine göre değerlendirilmesi, grafiklenmesi, raporlanması gibi çoklu fonksiyonlar gerçekleştirilebilmelidir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada ele alınan test ve ölçüm sistemi, demiryolu araçlarının seyir koşullarının kararlılık, performans, konfor ve deray şartları, fren performansı, itiş ve çekiş sisteminin performansı vb. konular açısından araştırılmasına olanak veren bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizde hâlihazırda bahsedilen test ve ölçümlerin bazıları farklı kurum ve kuruluşlarda gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte raylı sistem araçlarının dinamik performanslarının izlenmesine yönelik olarak bu çalışmada bahsedilen daha kapsamlı bir test sisteminin oluşturulmasının aşağıda ifade edilen konularda büyük faydalar sağlayacağı düşünülmektedir:

- Sistemde bahsedilen ölçüm ve değerlendirmeler yapılarak seyir esnasındaki ve frenleme performansına yönelik olarak karşılaşılan hata ve arızaların tespit edilmesi ve giderilmesine yönelik çalışmaların yapılması
- Seyir koşulları, itiş ve çekiş gücünün kalitesi ile fren performansının iyileştirilmesine yönelik yeni ve modern sistemlerin geliştirilmesi için AR-GE çalışmalarının yürütülmesi
- Üniversitelerle birlikte yürütülecek yüksek lisans ve doktora çalışmaları neticesinde raylı sistemlere yönelik olarak literatür ve dokümantasyon eksikliğinin giderilmesi
- Yurt içinde üretilen raylı sistem araçları ve bu araçların bileşenlerine yönelik testlerin, oluşturulması planlanan bu ve benzeri test ve ölçüm merkezlerince yürütülmesi ve bu sayede zamandan kazanılması ve ayrıca yurt dışındaki test merkezlerine aktarılan yüksek meblağların yurt içinde kalması

## Kaynaklar

- [1] Ergan, Z.H., Seyir Halindeki Demiryolu Araçlarının İzlenmesinin Araştırılması, Araştırma Raporu, Anadolu Üniversitesi, 2015.
- [2] <https://www.db-systemtechnik.de/dbst-de/kompetenzen/knowhow-a-z/fahrtechnik-1674204> (26.07.2018)
- [3] <https://www.railway-technology.com/contractors/testing/cetest/cetest4.html> (27.07.2018)
- [4] <https://www.vukv.cz/brake> (24.07.2018)
- [5] Chudzikiewicz, A., Bogacz, R., Kostrzewski, M. and Konowrocki, R., Condition Monitoring of Railway Track System by Using Acceleration Signals on Wheelset Axle-Boxes, Transport, 33(2), 555-566, 2018.
- [6] <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/standardara.aspx> (26.07.2018)
- [7] <https://uic.org/recherche-fiches-uic-annexes> (25.07.2018)
- [8] TS EN 14363: Demiryolu uygulamaları - Demiryolu taşıtları seyir niteliklerinin kabul deneyleri - Seyir davranışlarının denenmesi ve durağan deneyler
- [9] TS EN 14535: Demiryolu Uygulamaları – Demiryolu dönen aksamları için fren diskleri
- [10] UIC 518: Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Running behaviour
- [11] UIC 540: Air brakes for freight trains and passenger trains
- [12] Metin, M., Raylı Sistem Araçlarının Modellenmesi ve Titreşimlerinin Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [13] Kuo, C.-M. and Lin, C.-C., Analysis of Derailment Criteria, Journal of Rail and Rapid Transit, 230(4), 1158-1163, 2015.
- [14] Toprak, T., 2011, Titreşim Analizi Semineri, TCDD Genel Müdürlüğü, Ankara, 12.01.2011.
- [15] <https://www.hbm.com/en/0469/rail-transport/> (28.07.2018)

# Tren Setlerinde Fren Dinamiği ve Fren Pedlerinde Oluşan Aşınmaların Haritalandırılmış Basınç Sensörü Yardımıyla İncelenmesi

Abdülkadir ÜNAL<sup>1</sup>, İlhan KOCAARSLAN<sup>2</sup>, Nihat AKKUŞ<sup>3</sup>, Yakup KARABAĞ<sup>4</sup> ve S. Tolga KANDİL<sup>5</sup>

<sup>1</sup>TÜVASAŞ, Sakarya, e-mail: [aunal@tuvasas.com.tr](mailto:aunal@tuvasas.com.tr)

<sup>2</sup>TÜVASAŞ, Sakarya, e-mail: [ilhankocaarslan@tuvasas.com.tr](mailto:ilhankocaarslan@tuvasas.com.tr)

<sup>3</sup> Marmara Üniversitesi, İstanbul, e-mail: [nihat.akkus@marmara.edu.tr](mailto:nihat.akkus@marmara.edu.tr)

<sup>4</sup>TÜVASAŞ, Sakarya, e-mail: [yk@tuvasas.com.tr](mailto:yk@tuvasas.com.tr)

<sup>5</sup> TÜVASAŞ, Sakarya, e-mail: [stkandil@tuvasas.com.tr](mailto:stkandil@tuvasas.com.tr)

## Özet

Bu alışmada TÜVASAŞ tarafından üretilen dizel tren setlerinin fren dinamiği incelenmiştir. Bu tren setleri dört adet araçtan oluşmaktadır. Raylı sistemlerde fren sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılması ve araçların güvenli bir şekilde durdurulması büyük önem taşımaktadır. Çünkü trenlerin hızlarının arttırılması demek frenleme kuvveti ve etkisinin de misliyle arttırılması anlamına gelmektedir. Her bir frenleme işleminde termal, elektriksel ve mekaniksel kavramlar devreye girer. Frenleme işleminin kolay anlaşılması için fiziksel olayların teorik olarak incelenmesinde yarar vardır. Bu amaçla öncelikle disk başına fren balatası kuvveti, boji başına yavaşlama kuvveti gibi fiziksel olaylar teorik olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçları teyit etmek amacıyla haritalandırılmış basınç sensörünün bulunduğu bir kaliper test ünitesi oluşturulmuştur. Teorik hesaplamalar ve deney sonuçları karşılaştırılmış ve örtüştüğu gözlemlenmiştir. Teyit edilen kuvvetlerle trenin durma mesafeleri teorik olarak incelenmiştir. Bu sonuçları doğrulamak amacıyla da tren setine yol testleri yapılarak durma mesafeleri ölçülmüştür. Durma mesafelerini ölçmek için Takometre, Doppler Radar ve GPS kullanılmıştır. Durma mesafeleri 100 km/h, 120km/h ve 140 km/h hızlarda ayrı ayrı yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:**Kaliper, Fren Pedi, Fren Dinamiği, Basınç sensörü

## Abstract

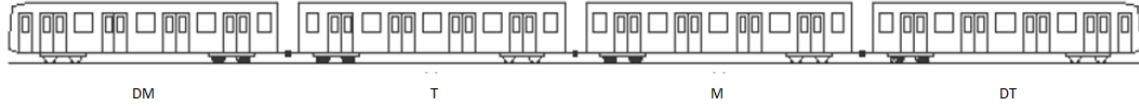
In this study, the brake dynamics of the diesel train sets produced by TÜVASAŞ were examined. These train sets consist of four vehicles. It is very important to use brake systems in railway systems and to safely stop vehicles. Because increasing the speed of the trains means increasing the braking force and the effect twice. Thermal, electrical and mechanical concepts are activated in each braking process. For easy understanding of the braking process, it is useful to examine the physical phenomena theoretically. For this purpose, physical phenomena such as brake pad force per disc, deceleration force per bogie are theoretically calculated. A caliper test unit with a mapped pressure sensor was built to verify the calculated results. Theoretical calculations and experimental results are compared and there are observed to be accurate. The train sets stopping distances were examined theoretically with confirmed forces. In order to verify these results, the stopping distance to the train was measured by using road tests. Tachometer, Doppler Radar and GPS will be used to measure stopping distances. Stop distances will be made separately at speeds of 100 km / h, 120 km / h and 140 km / h.

**Keywords:** Brake, Caliper, Pad, Pressure Sensor

## 1. Giriş

Tren setlerinde frenleme işlemi çok karmaşık bir süreçtir ve trafik güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu karmaşıklık frenleme esnasında mekanik, termal, pnömatik, elektriksel vb. gibi birçok farklı olgu meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır. Frenlemede temel sorun etkin, doğru ve güvenli frenleme eyleminin nasıl sağlanacağıdır.

Bu çalışmada örnek tren seti olarak Şekil 1'de konfigürasyonu gösterilen ve Türkiye de üretimi gerçekleştirilen Dizel çoklu tren setleri (**Diesel Multi Unit (DMU)**) incelenmiştir. Bu çoklu setlerin her biri 4 adet vagon dan meydana gelmektedir ve her birinin farklı görevleri vardır.



Şekil 1: DMU Setlerinin Konfigürasyonu

Birinci vagon DM olarak adlandırılmaktadır. Sürücü kabini ve ana motor bulundurmaz. Klima sistemleri, aydınlatma vb. sistemler için **Auxiliary Power Unit (APU)** olarak adlandırılan yardımcı güç ünitesi bulunmaktadır. **Brake Control Unit (BCU)** olarak adlandırılan kendi fren kontrol ünitesine sahiptir. İkinci vagon T olarak adlandırılmaktadır. Sürücü kabini ve ana motor bulundurmaz. Yardımcı güç ünitesi bulundurmaz. Kendine ait fren kontrol ünitesine sahiptir. Üçüncü vagon M aracı olarak adlandırılır. Sürücü kabini bulundurmaz ancak ana motor bulundurmaz. Ana motor DM aracında bulunan ana motor ile birlikte çekme işlemini gerçekleştirir. Bunların yanı sıra yardımcı güç ünitesi ve fren kontrol ünitesi bulundurmaz. Dördüncü vagon DT aracı olarak adlandırılır. Sürücü kabini bulundurmaz. DM aracında bulunan sürücü kabini ile birlikte set her iki yönde de rahatlıkla kullanılabilir. Ana motor bulundurmaz ama kendisine ait yardımcı güç ünitesi ve fren kontrol ünitesine sahiptir.

DMU setlerinde fren kontrolünü yapmak ve tekerlekteki kaymayı önlemek için Fren Elektronik Kontrol ünitesi (BECU) kullanılmaktadır. BECU ünitesi dört vagon da bulunmaktadır. Bunun yanında fren kontrolünü çevirmek için vagon başına bir pnömatik fren kontrol ünitesi (BCU) bulunmaktadır. Hava bir kompresör vasıtasıyla sağlanmaktadır.

DMU fren sisteminde servis freni elektro pnömatik fren ve hidrodinamik fren ile birlikte çalışır. Servis freni fren talep sinyaline ve dinamik fren performansına bağlı olarak mikro işlemci kumandalıdır. Hidrodinamik fren temel olarak şaftın ucuna yerleştirilen rotor ve stator denilen iki çark ile çalışan hidrodinamik basınçlı bir sistemdir. Bu fren sistemi tekerleklerdeki fren sisteminden bağımsız olarak çalışır. Rotor aracın şaftına bağlıdır. Stator ise rotorun karşısına retarder gövdesine sabitlenmiştir. Şanzımandan gelen şaft hareketiyle rotor döner. Retarder devreye girdiğinde rotor ve stator arasına yağ pompalanır. Rotorun dönüşüyle hareketlenen yağ statorun kanatçıklarına çarpar ve yavaşlar. Bu da roturu yavaşlatır ve frenleme gerçekleşir.

Dinamik fren sistemleri ile pnömatik frene destek verilerek ped ve tekerlek aşınmalarının azalması ve bunun tabii sonucu olarak gerek malzeme ve gerekse işçilik yönünden önemli ölçüde bir ekonomi sağlanır [1].

Elektro pnömatik fren sisteminde fren pedi fren diskine sürtünerek aracın kinetik enerjisini boşaltır. Oluşan sürtünme kuvveti fren kaliperlerinde oluşan kuvvete bağlıdır. Çok fazla parametre olsa da sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve yoğunluk bir fren pedi tasarımında odaklanan üç önemli faktördür. Daha spesifik olarak korozyona karşı direnç, nem direnci, yeterli mukavemet, fren sırasında düşük gürültü, titreşime karşı düşük eğilim, insan sağlığına uygun, kabul edilebilir maliyet vb. gibi özellikler gereklidir [2].

Fren pedinin iyi bir sürtünme çifti oluşturması, karşı malzemeye hasar vermemesi, zor termal ve mekanik etkiler altında sabit ve yüksek sürtünme katsayısı sergilemesi istenir [3]. Fren diskleri kullanım sırasında çeşitli yüklere maruz kalırlar. Diske frenleme işlemi yapılmadığı zaman sadece santrifüj kuvveti etki eder. Frenleme işlemi başladığında iki ek kuvvet daha etki eder. Bu kuvvetler, fren kaliperinden gelen kuvvetler ve sürtünme sonucu yükten gelen kuvvetlerdir [4].

Demiryolu araçlarının fren disklerinin yapısal dizaynları ve ömürlerini belirlemek için termal analizler yapılır. Analizler fren yüklerinin, fren yöntemlerinin ve ortam sıcaklığının geçici fren disk sıcaklıkları üzerindeki etkilerini değerlendirir [5].

Tablo1: Tren setinin temel fiziksel karakteristiği ve özellikleri

Maksimum işletme hızı	140km/s (Yarı aşınmış tekerlekte)
DM (dolu)	65800 kg (Deneysel olarak ölçülmüştür.)
M (dolu)	63615 kg (Deneysel olarak ölçülmüştür.)
T (dolu)	54440 kg (Deneysel olarak ölçülmüştür.)
DT (dolu)	55775 kg (Deneysel olarak ölçülmüştür.)
Yolcu kapasitesi	Yolcu başına ağırlık 80kg alınacaktır.
Koltuk sayıları	
DM	68
M	60
T	70
DT	68
Tekerlek takımı arası mesafe	2500mm
Tekerlek çapı	920mm/840mm (yeni/aşınmış tekerlekler için)
Efektif ped alanı	800 cm <sup>2</sup>
Sürtünme yarı çapı	260 mm
Fren pedi dinamik sürtünme katsayısı	0.37
Fren pedi statik sürtünme katsayısı	0.33
Toplam Dinamik Fren Kuvveti	52.334 N
Kuvvet Basınç Oranı $i_D$	19556,6 N/Bar
Katkı Değeri $J_D$	-6973 N
DM Kaliperlerinde ki Basınç (pc)	2.11 Bar
T Kaliperlerinde ki Basınç (pc)	2.40 Bar
M Kaliperlerinde ki Basınç (pc)	2.03 Bar
DT Kaliperlerinde ki Basınç (pc)	2.48 Bar

## 2. Teorik Yaklaşımlar ve Deneysel Çalışmalar

Dinamik hesaplamalarda kullanılan formüller Knorr-Bremse'nin BrakeCalculation dokümanından yararlanılarak yapılmıştır [6].

Disk başına fren balatası kuvvetini ( $F_B$ ) hesaplamak için kuvvet basınç oranı ( $i_D$ ) ile kaliperlerde oluşan basınç (pc) çarpılır. Bulunan sonuç ile katkı değeri ( $J_D$ ) toplanır.

$$F_B = i_D \times p_c + J_D$$

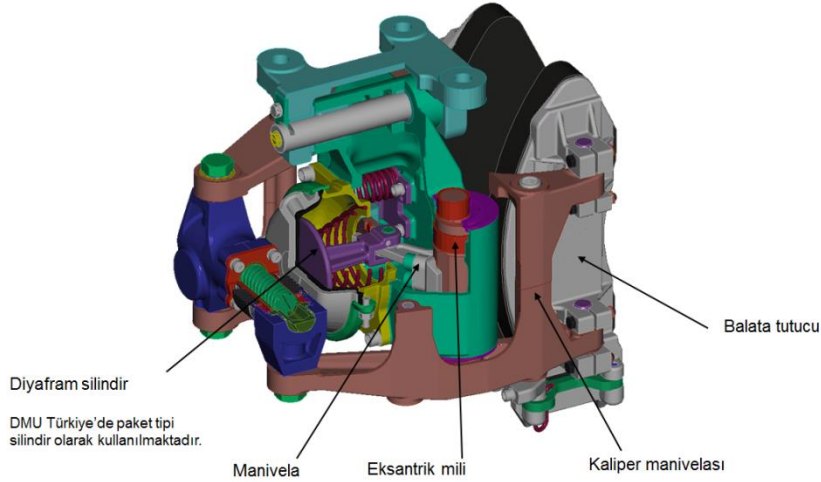
Hesaplanan fren balata kuvvetini teyit etmek için kaliper test ünitesi hazırlanmıştır. Bu test düzeneği Şekil 2'de görüldüğü gibi fren kaliperleri, fren pedleri, basınç haritalama sensörü, fren diski yerine kullanılacak bir takoz, kompresör ve bilgisayardan oluşmaktadır.

Basınç haritalama sistemi I-Scan adında ince ve esnek bir sensördür. İki yüzey arasındaki ara yüz basıncını doğru bir şekilde ölçen ve analiz eden güçlü bir araçtır. Sistem, veri toplama elektroniklerinden, sensörlerden ve yazılımdan oluşmaktadır. Hem kuvvet hem de basıncı ölçen ince dokunmatik sensör, ölçülen nesnelere arasında minimum düzeyde parazit oluşturarak gerçek ara yüz basınç verilerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Toplanan ara yüz basınç verilerini, ürün tasarımını, imalatını, kalitesini ve araştırmayı geliştirmek için hayati bilgi ve fikir sunmaktadır. Yüzey davranışının derinlemesine anlaşılmasını sağlamaktadır. Ölçülen cisimlerin fiziksel özelliklerini kavrayabilme ve iki yüzey arasındaki basınç dağılımını anlamayı sağlamaktadır [7].



Şekil 2: Fren Kaliper Test Cihazı

Fren kaliperi fren pedlerini tutan kollardan, diyafram silindirden, maniveladan ve eksantrik milden meydana gelir. Fren silindir piston gücünü fren pedlerine iletir.



Şekil 3: Fren Kaliper Ünitesi [8]

Boji başına yavaşlama kuvveti ( $F_{VEP}$ ) aşağıda verilen formüle göre hesaplanır.

$$F_{VEP} = F_B * \mu_{BD} * n_s * (2 * r_m / D_R) * (i_G / \eta_G) \quad (2)$$

Tüm araçta tekerleğe dayalı yavaşlama ivmesi dinamik fren kuvveti ile pnömomatik fren kuvvetinin toplanması ile bulunur.

$$F_{VG} = ED + EP \quad (3)$$

Toplam frenleme kütlesi ( $m_{fr}$ )

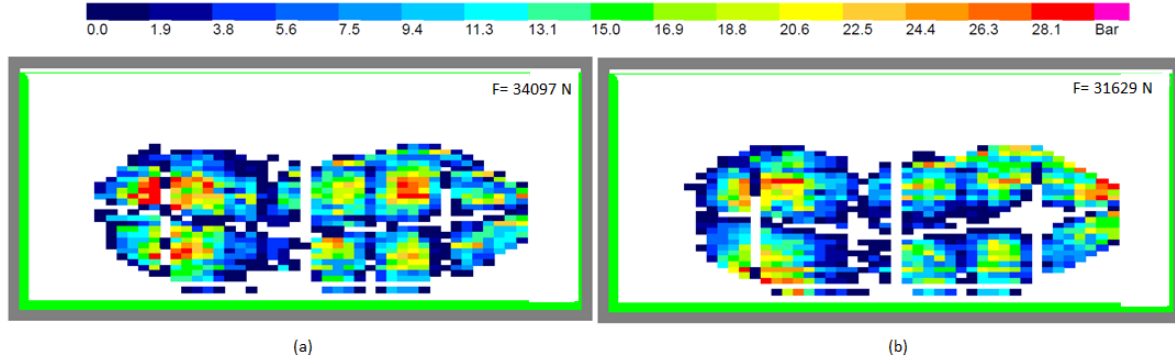
Fren yanıt süresi 0,89 ( $t_r$ ) saniyedir.

Buna göre aracın ortalama yavaşlama ivmesi ( $a_t$ ) aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir.

$$a_t = \frac{V * a}{V + 2 * a * t_r} \quad (4)$$

### 3. Sonuçlar

Haritalandırılmış basınç sensörü kullanılarak yapılan deney, sıfır kaliper ve 700.000 km'de ağır bakıma gelen kaliper olmak üzere 2 defa yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Sıfır kaliper 34.097 N baskı kuvveti uygularken Ağır bakım yapılan kaliper baskı kuvveti 31.629 N olarak bulunmuştur.



Şekil 4: Kaliper deney sonuçları (a) Sıfır Kaliper, (b) 700.000 km'deki Kaliper

Hesaplanan teorik sonuçlar ve deneysel sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçların yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 2: Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

	Teorik Hesaplamalar	Deneysel Hesaplamalar
Disk Başına Fren Balatası Kuvveti ( $F_B$ )	34291,4 N	34097 N
Sete Uygulanan Toplam Fren Kuvveti	301104 N	-
100 km/h için yavaşlama ivmesi	1.11 m/s <sup>2</sup>	-
120 km/h için yavaşlama ivmesi	1.12 m/s <sup>2</sup>	-
140 km/h için yavaşlama ivmesi	1.13 m/s <sup>2</sup>	-
100 km/h için Durma Mesafesi	349 m	353 m
120 km/h için Durma Mesafesi	496 m	498 m
140 km/h için Durma Mesafesi	670 m	642 m

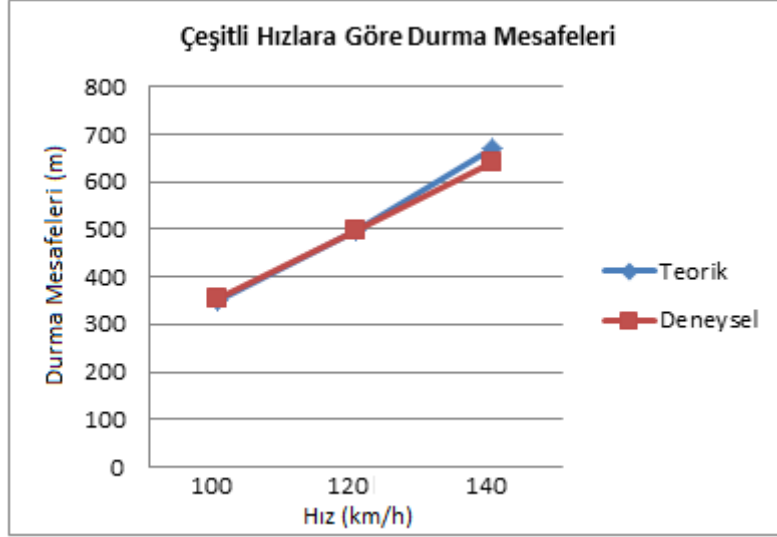
Bir frenin işlevi, araçların kinetik enerjisini kuru sürtünme ile ısı enerjisine dönüştürmektir. Isı enerjisi, frenlerin iki temas yüzeyi, yani fren balatası / fren balatası ve fren uygulaması sırasında disk / tambur tarafından üretilir. Bu ısı enerjisi, kaliperler, fren hidroliği ve çevresi gibi frenin temas eden parçalarına aktarılır [9].

Isı, bir kontak fren diski, fren hidroliği ve iletkenlik kullanan pedlerden parçalar üzerinden taşınır ve konveksiyon ve radyasyon kullanılarak çevreye yayılır [10]. Isı iletkenliği ped ömründe önemli bir rol oynar. Çok yüksek ısı iletkenliği, fren hidroliği üzerinde, yani süngersi frenleme üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir, diğer taraftan, çok düşük ısı iletkenliği, organik iç kısımların daha fazla parçalanmasını sağlar, böylece daha iyi performans için termal iletkenlik optimize edilmelidir. Termal stabilite durumunda stabilite ne kadar yüksek olursa, kilo kaybı o kadar düşük olur ve termal stabilite o kadar düşük olur ki, bu da bileşenlerin bozulmasına bağlı olarak daha fazla ENERJİ kaybı olacaktır. En uygun termal iletkenlik ve termal kararlılık gereklidir [11].

Fren sürtünme malzemesinde, tek bir bileşenle mümkün olmayan aşınma direnci, sürtünme katsayısı, hafif ağırlık ve düşük gürültü gibi çeşitli parametrelerin elde edilmesi zorunludur [6-8].

#### 4. Çıkarım

Bu çalışmada örnek tren seti olarak TÜVASAŞ tarafından üretilen Dizel Tren Setleri incelenmiştir. Teorik yaklaşımlar Knorr-Bremse'nin BrakeCalculation dokümanından yararlanılarak hesaplanmıştır. Balata kuvveti, yavaşlama ivmesi, durma mesafeleri hem teorik hem de deneysel olarak ölçülmüştür. Yapılan kıyaslamalarda teorik hesaplamaların ve deneysel sonuçların örtüştüğü gözlemlenmiştir. Aynı karşılaştırma işlemi durma mesafesi için yapılmış ve aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi sonuçların örtüştüğü görülmüştür.



Şekil 5: Çeşitli Hızlara Göre Durma Mesafeleri



## Kaynaklar

- [1] C. Urlu Demiryolu Araçlarının İleri Dinamiği, 149, 1999
- [2] BrakePropertiesandTheirRelevance. (n.d.) Retriwedfrom
- [3] Reinsch, E. W., 1970, Sintered metal brakeliningsforautomotiveapplications, Delco-Morainedivision, General motorscorpdayton, Ohio, cilt 2 sayfa 9-21.
- [4] Reibenschuh M, Oder G, Potrc̃ I, Stressanalysis of a brakedisconsideringcentrifugalandthermalload. AdvEng 2009; 3: 237–244
- [5] A. Akkuş, M. Yeğın, Demiryolu Araçlarında Kullanılan Fren Sabolarının (Pabuçlarının) Aşınma Miktarlarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Demiryolu Mühendisliği Dergisi Sayı:3 (2016)
- [6] Th. Giesen DMU Turkey New GenerationTrailer Car Option 2014 DM-T-M-DT
- [7]<https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/i-scan-system?tab=configurations>
- [8]Knorr-Bremse, 3 ve 4 Vagonlu Dizel Çoklu Ünitesi için elektro-pnömatik fren sistemi ve hava beslemesi
- [9] N. M. Kinkaid, O. M. O'Reilly, and P. Papadopoulos, "Au-tomotivediscbrakesqueal,"Journal of Sound andVibration,vol. 267, no. 1, pp. 105–166, 2003
- [10] S. Oberst,Analysis of BrakeSquealNoise, Ph.D. thesis, SchoolofEngineeringand Information Technology, UniversityCollege, University of New South Wales, Sydney NSW,Australia, 2011
- [11] H. Festjens, C. Gaël, R. Franck et al., "Effectiveness of multilayerviscoelasticinsulatorstopreventoccurrences of brakesqueal: a numericalstudy,"AppliedAcoustics, vol. 73, no. 11,pp. 1121–1128, 2012.

# DESIGN AND SIMULATION OF A MODEL MAGLEV VEHICLE

Selim Sivrioğlu<sup>1</sup>, Ali Suat Yıldız<sup>1\*</sup>, Sinan Başaran<sup>2</sup>, Fevzi akmak Bolat<sup>3</sup>

And Eren Kepenek<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Gebze Technical University, Kocaeli, Turkey, e-mail: <sup>1</sup> [s.selim@gtu.edu.tr](mailto:s.selim@gtu.edu.tr); \* [aliyildiz@gtu.edu.tr](mailto:aliyildiz@gtu.edu.tr)

<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebalı University, Bilecik, Turkey, e-mail: [sinan.basaran@bilecik.edu.tr](mailto:sinan.basaran@bilecik.edu.tr)

<sup>3</sup> Bayburt University, Bayburt, Turkey, e-mail: [fevzibolat@bayburt.edu.tr](mailto:fevzibolat@bayburt.edu.tr)

## Abstract

Magnetic levitation (Maglev) technology has potentials to create extensive changes, especially in railway transportation. One of the great advantages of this technology is the possibility of mechanically noncontact and high-speed operation. Maglev applications basically can be electromagnetic or superconducting levitation base. After high temperature superconductors (HTS) which become superconducting state inside liquid nitrogen were discovered in eighties, superconducting magnetic levitation became economically applicable in engineering systems. Superconducting magnetic levitation has potentials to be developed compared to electromagnetic levitation. Although superconducting levitation has an advantage of passive characteristic, it occurs at cryogenic temperatures and it has low levitation stiffness therefore load carrying capacity is lower compared to electromagnetic levitation.

In this study, a cryostat which cool the superconductors for a long period of time and carry the load was designed to increase stiffness or load capacity of the superconducting magnetic levitation in Maglev vehicles. Also, a conceptual design was tested in a simulation environment by using a laboratory scale single seater Maglev vehicle having a three-surface levitation structure. In conventional permanent magnet (PM) guideway structures there is only one levitation surface (floor surface) with HTS element. A new type of permanent magnet guideway which has three PM surfaces for levitation with HTS will be developed to increase the load carrying capacity of the Maglev vehicle.

**Keywords:** Maglev Cryostat, Superconductor levitation, Magnetic guideway, Maglev vehicle

## 1. Introduction

Superconductors are materials that conduct the electricity almost without any resistance. A high temperature superconductor can also levitate a permanent magnet in cryogenic temperature of liquid nitrogen without any contact as shown in (Figure 1(a)). As a superconducting material YBCO is the well-known and most widely used high temperature superconductor material turn into superconductivity state in liquid nitrogen. The levitation mechanism can be in the form of shielding the magnetic field or the Meissner effect (Figure 1 (b)) and flux pinning (Figure 1 (c)). In superconductive levitation system generally, two types of cooling process, zero field cooling (ZFC) and field cooling (FC) can be applied as a cooling method in the magnetic field. Both method provide different magnetic levitation stiffness.

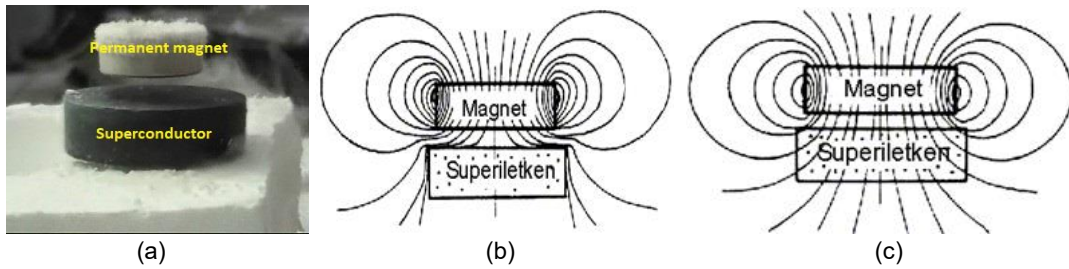


Figure 1. Basic features (a) Superconductive levitation (b) Flux exclusion (c) Flux pinning.

The developments in superconducting magnetic levitation technology are promising with new advancements in magnetic levitation transportation applications and flywheel energy storage systems. In this research study, a cryostat is developed to increase the stiffness or load capacity of the superconducting magnetic levitation in Maglev vehicles. A Maglev cryostat is a closed container which is insulated and unpressurized to maintain the superconductivity state of the superconductor inside liquid nitrogen [1]. A new type of permanent magnet guideway which has three PM surface for levitation with HTS is developed to increase the load carrying capacity of the Maglev vehicle. In conventional permanent magnet guideway structures there is only one levitation surface (floor surface) with HTS element [2]. In the proposed cryostat structure, the gap effect, polarization of the PMs and the levitation forces between PM rail and HTS cryostat is investigated to maximize the stiffness of the levitation [3].

## 2. Maglev Concepts

It is useful to briefly outline the current state and principles of the Maglev technologies available in the world. The well-known and ready to commercialize Japanese Maglev trains have superconducting electromagnets and do not use the principle of superconducting levitation. In these trains, electromagnets are made using Niobium-titanium (NbTi) superconductor wires (critical temperature 9.2 Kelvin) and superconductivity is obtained in liquid helium (4 Kelvin). The test line operation and the guideway structure are shown in Figure 2. The Japanese concept maglev trains use very advanced electrodynamic suspension principle and a very expensive construction and operation cost.

Another maglev concept is the superconducting levitation that also subject of this paper. A Brazilian group have presented a study named Cobra Maglev using HTS cryostats and PM guideway line of 1.0 km inside the campus of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ) with those of an LRV [4]. The German IFW group has also developed the large-scale HTS Maglev vehicle named Supra-Trans [5], The developed Cobra maglev vehicle with HTS cryostat and car structure with passengers are shown in Figure 3. The Cobra maglev project is a good example to realize superconducting maglev concept.

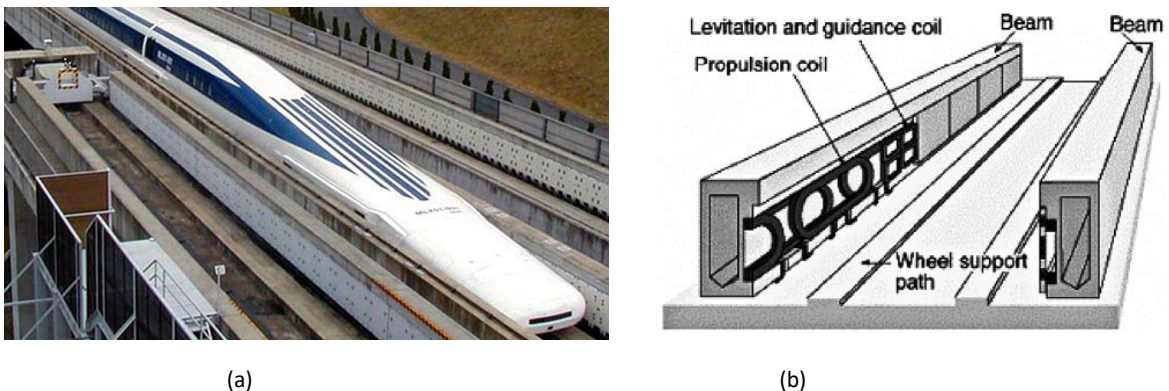


Figure 2. Japanese maglev train (a)Yamanashi test line (b) guideway structure

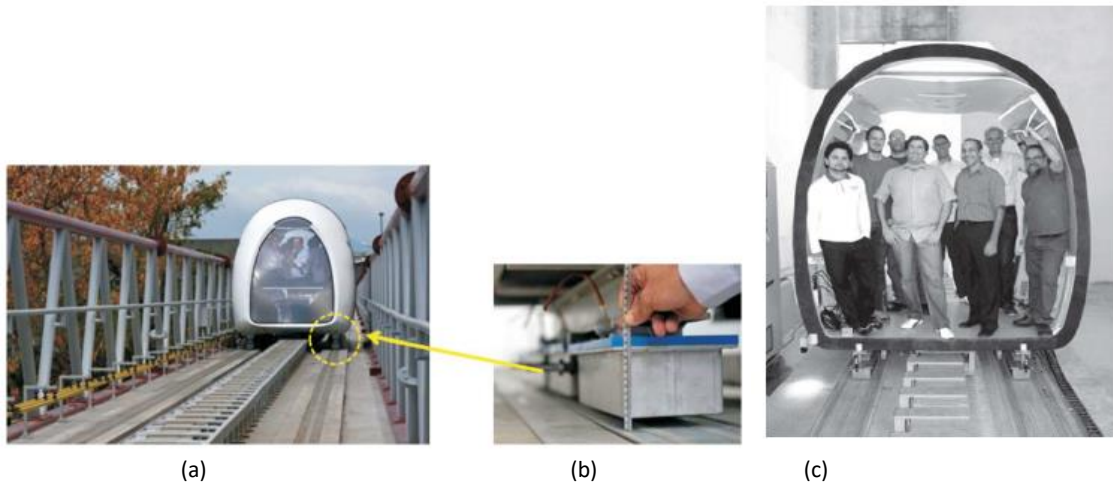


Figure 3. A real-scale HTS Maglev vehicle prototype, a) test line in Brazil [4], b) cryostat, c) levitated car with load.

### 3. Suggested Maglev Structure

Superconducting levitation occurs passively and does not require energy consumption for levitation. It is also important that the superconductors are cooled steadily to maintain the levitation. In this sense, the cryostat structure and the cooling capacity have great importance. On the other hand, the load carrying capacity of the cryostat should be high enough for application. The proposed Maglev system structure is schematically shown in Figure 4. It is aimed to increase the levitation force by creating levitation on the three surfaces of the superconductors in the cryostat. For this reason, it is named 3S-Maglev in the sense of "3-surface magnetic levitation".

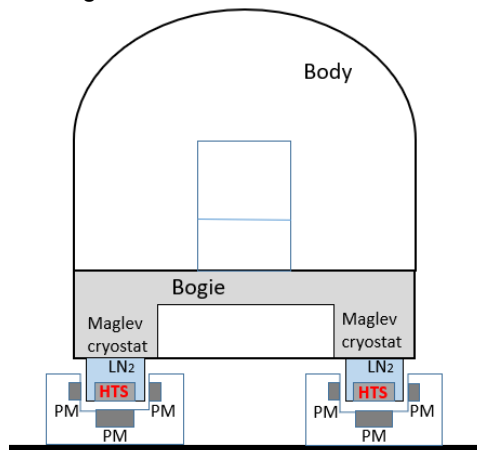


Figure 4. The proposed 3S-MAGLEV concept and cryostat structure.

The validity of the proposed three-surface levitation concept is demonstrated by a preliminary experimental study. A single HTS material is levitated on a PM guideway. Figure 5 (a)-(b) shows the guideway structure in this system with only the permanent magnet at the base and the permanent magnet at the base and side surfaces. Superconducting material (HTS) and guideway are separately shown in Figure 5(c). In this structure, the superconductor is only cooled from its upper surface. Based on these two conditions, experimental results were obtained for unloaded and additional load in the superconducting magnetic levitation system. The stiffness in the levitation produced by using the lower

and the two side surfaces of the superconductor is 40% higher than the levitation created using only the lower surface (Fig. 5(d)).

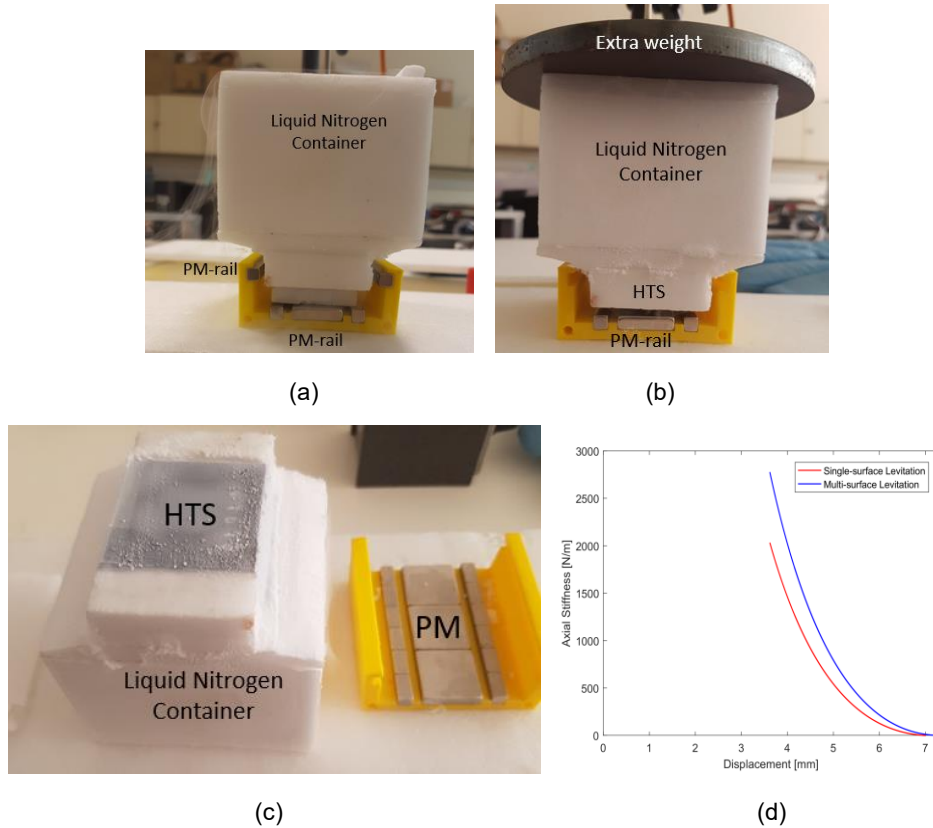


Figure 5. Experimental preliminary study (a) 3-surface levitation (b) Single surface levitation (c) Superconducting container structure (d) change of levitation forces.

### 3.1 Maglev Cryostat Design

A Maglev cryostat is a closed container which is insulated and unpressurized to maintain the superconductivity state of the superconductor inside liquid nitrogen. In the proposed cryostat structure, the gap effect, polarization of the PMs and the levitation forces between PM guideway and HTS cryostat is investigated to maximize the stiffness of the levitation. Different materials must be used together for the cryostat to cool the superconductors for a long period of time. The large liquid nitrogen reservoir extends the operation time for levitation, but the thermal expansion differences between the materials are not desirable because of the large radius of curvature caused by the side surfaces. The optimum design of the cryostat is intended to be close to the center of gravity of the magnetic stripe. In this way, the rolling motion of the vehicle in which the cryostat is fixed will be reduced and better guidance will be achieved.

In the proposed design (Figure 6), it is considered to combine the copper reservoir (red color) to provide heat transfer between the superconductor and liquid nitrogen, and the PEEK (Polyetheretherketone, green colored) material to reduce heat loss from the side surfaces. On the top surface of the liquid nitrogen reservoir, a steel plate and supporting elements that will mechanically transfer the load will be used.

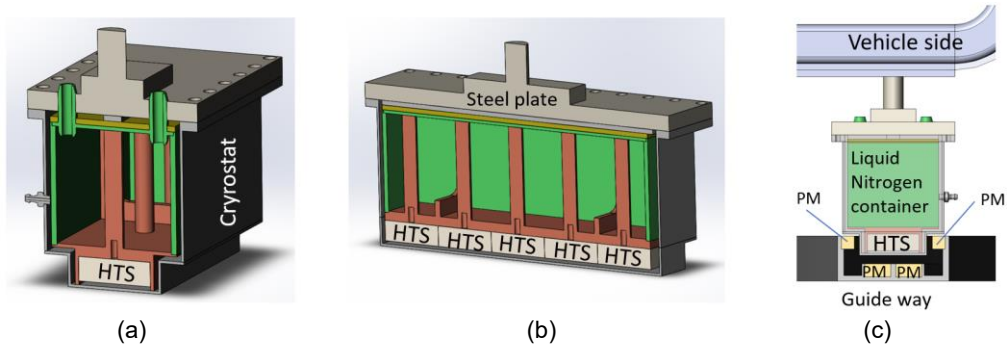


Figure 6. Cryostat cross-section views (a) front view (b) longitudinal view (c) guideway-cryostat-vehicle integration.

### 3.2 Magnetic Guideway Design

A mathematical model between the HTS and PMs should be constituted to calculate the levitation force variation. Many different magnetic guideway designs have been proposed in the literature. These designs aim to increase the magnetic flux density and flux gradients in the guideway. The variation of levitation forces also depends on the arrangement of the permanent magnet on the magnetic path. A new type of permanent magnet guideway which has three PM surface for levitation with HTS is developed to increase the load carrying capacity of the Maglev vehicle. The proposed 3-sided guideway structure shown in Figure 7 is used to calculate levitation forces using H-formulation. In this proposed structure(Figure 8), it is shown that the levitation stiffness increases and the total amount of HTS used in the cryostat is reduced, thus decreasing the total cost.

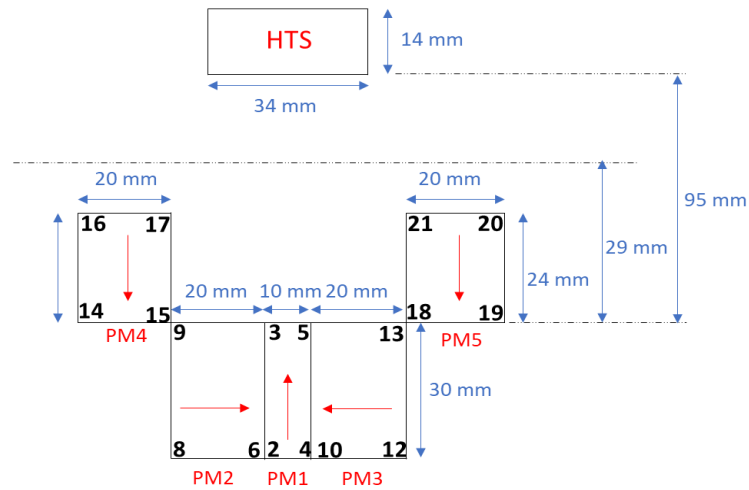


Figure 7. The model of magnetic path for a multi-surface levitation.

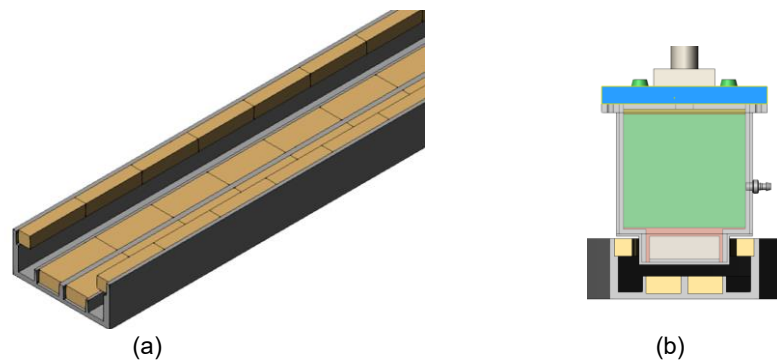


Figure 8. Three-surface levitation based magnetic rail structure: a) Rail design, b) Cryostat-rail placement.

Using the guideway model illustrated in Figure 7, the magnetic field produced by the PMs in the superconductor domain was modelled by the current model approach. In this approach, the vector potentials can be written as follows,

$$A_z - pm_1 = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ -\int_{y_2}^{y_3} \ln \left[ (x-x_3)^2 + (y-y')^2 \right] dy' + \int_{y_4}^{y_5} \ln \left[ (x-x_5)^2 + (y-y')^2 \right] dy' \right\} \quad (1)$$

$$A_z - pm_2 = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ -\int_{x_9}^{x_7} \ln \left[ (x-x')^2 + (y-y_9)^2 \right] dx' + \int_{x_8}^{x_6} \ln \left[ (x-x')^2 + (y-y_6)^2 \right] dx' \right\} \quad (2)$$

$$A_z - pm_3 = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ -\int_{x_{10}}^{x_{12}} \ln \left[ (x-x')^2 + (y-y_{10})^2 \right] dx' + \int_{x_{11}}^{x_{13}} \ln \left[ (x-x')^2 + (y-y_{13})^2 \right] dx' \right\} \quad (3)$$

$$A_z - pm_4 = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ -\int_{y_{15}}^{y_{17}} \ln \left[ (x-x_{15})^2 + (y-y')^2 \right] dy' + \int_{y_{14}}^{y_{16}} \ln \left[ (x-x_{14})^2 + (y-y')^2 \right] dy' \right\} \quad (4)$$

$$A_z - pm_5 = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left\{ -\int_{y_{19}}^{y_{20}} \ln \left[ (x-x_{19})^2 + (y-y')^2 \right] dy' + \int_{y_{18}}^{y_{21}} \ln \left[ (x-x_{18})^2 + (y-y')^2 \right] dy' \right\} \quad (5)$$

Total potential is obtained as

$$A_z = A_z - pm_1 + A_z - pm_2 + A_z - pm_3 + A_z - pm_4 + A_z - pm_5 \quad (6)$$

Then magnetic flux density can be calculated by

$$B = \mu_0 H = \nabla \times A = \frac{\partial A_z}{\partial y} \hat{x} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \hat{y} \quad (7)$$

Levitation forces can be calculated by the H-formulation combination with above obtained field intensities as defined in Referances [6,7,8]. The obtained maximum vertical stiffness is calculated as  $2.236 \times 10^4$  N/m and the guidance stiffness is the half of the vertical value. Analitic field intensities and the Femm results are compared in Figure 9. The stiffness variation of the proposed levitation system is also depicted in Figure 10.

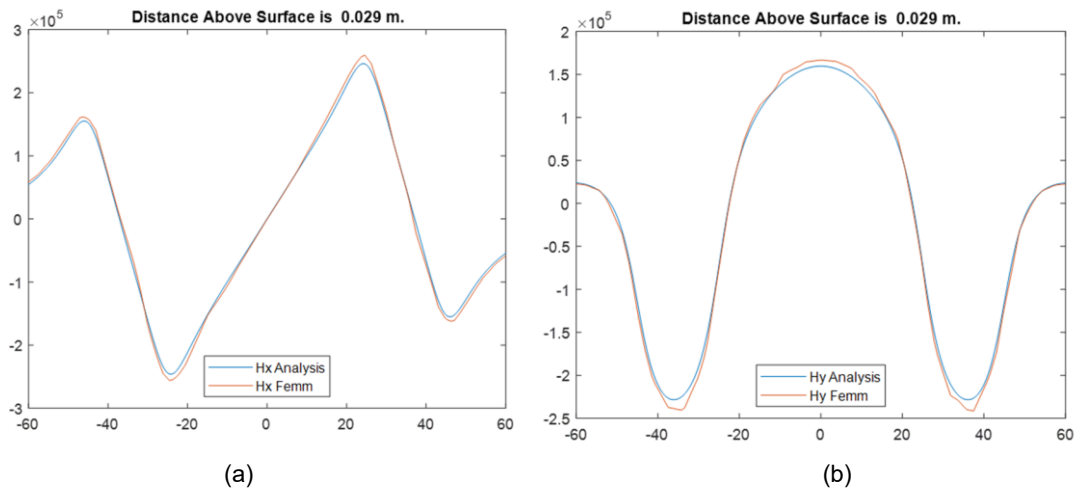


Figure 9: Two dimensional finite element analysis of PMG results: a) Tangential field intensity, b) Normal field intensity

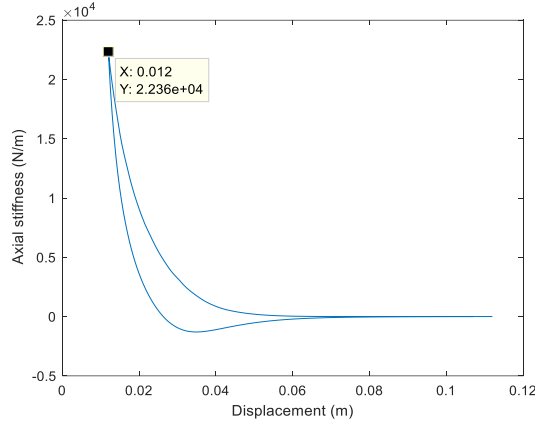


Figure 10: Vertical stiffness of the PMG.

#### 4. Maglev Vehicle Dynamic Analysis

The dynamics of a laboratory scale single seater Maglev vehicle having a three-surface levitation structure with the proposed cryostat is studied. In general, the conventional rail vehicle modeling and dynamic analysis are also applicable to Maglev vehicles. Here, it is important that the total levitation stiffness is accurately measured and used in the models, because there is no mechanical contact during the operation of the Maglev vehicle. Maglev systems are under external influences such as line slope effect, lateral pathway effect and centrifugal force during cornering. In cornering dynamics, the mathematical model of the vehicle and the external forces should be derived in all directions of the maglev vehicle.

Levitation forces can be modeled as spring and damping element forces in the horizontal and vertical directions for each cryostat [9,10]. Figure 11 show schematic representations of these forces. In the constructed model, it is assumed that the Maglev vehicle body and cryostat structures are rigid and the coordinate system is fixed on the center of mass G. The lateral displacement of the vehicle body is expressed by  $y$ . The roll movement is indicated by the  $\theta_{vx}$  variable. Similarly, the pitch and yaw movements are denoted by  $\theta_{vy}$  and  $\theta_{vz}$ , respectively. The vertical motion is denoted by  $z$ . Also,  $y_r$  represents the horizontal input to the cryostats from the road and is taken into account during cornering. The Lagrange equation is used to obtain the equation of motion of the maglev vehicle.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (8)$$

Here  $q_i$  represents general coordinates of each degree of freedom. Also  $Q_i$  represents external disruptive effects. The total kinetic and potential energy of the system are derived as follows.

$$T = \frac{1}{2} m \dot{y}^2 + \frac{1}{2} m \dot{z}^2 + \frac{1}{2} I_x \dot{\theta}_x^2 + \frac{1}{2} I_y \dot{\theta}_y^2 \quad (9)$$

$$U = \frac{1}{2} k_{y11} (y - L_{z1} \theta_x + L_{x1} \theta_z) + \frac{1}{2} k_{y12} (y - L_{z1} \theta_x + L_{x1} \theta_z) + \frac{1}{2} k_{y21} (y - L_{z1} \theta_x - L_{x2} \theta_z) + \frac{1}{2} k_{y22} (y - L_{z1} \theta_x - L_{x2} \theta_z) \\ + \frac{1}{2} k_{z11} (z + L_{y2} \theta_x + L_{x1} \theta_y) + \frac{1}{2} k_{z12} (z - L_{y1} \theta_x + L_{x1} \theta_y) + \frac{1}{2} k_{z21} (z + L_{y2} \theta_x - L_{x2} \theta_y) + \frac{1}{2} k_{z22} (z - L_{y1} \theta_x - L_{x2} \theta_y) \quad (10)$$

Damping potential is also written as



$$\begin{aligned}
U = & \frac{1}{2}c_{y11}(\dot{y} - L_{z1}\dot{\theta}_x + L_{x1}\dot{\theta}_z) + \frac{1}{2}c_{y12}(\dot{y} - L_{z1}\dot{\theta}_x + L_{x1}\dot{\theta}_z) + \frac{1}{2}c_{y21}(\dot{y} - L_{z1}\dot{\theta}_x - L_{x2}\dot{\theta}_z) + \frac{1}{2}c_{y22}(\dot{y} - L_{z1}\dot{\theta}_x - L_{x2}\dot{\theta}_z) \\
& + \frac{1}{2}c_{z11}(\dot{z} + L_{y2}\dot{\theta}_x + L_{x1}\dot{\theta}_y) + \frac{1}{2}c_{z12}(\dot{z} - L_{y1}\dot{\theta}_x + L_{x1}\dot{\theta}_y) + \frac{1}{2}c_{z21}(\dot{z} + L_{y2}\dot{\theta}_x - L_{x2}\dot{\theta}_y) + \frac{1}{2}c_{z22}(\dot{z} - L_{y1}\dot{\theta}_x - L_{x2}\dot{\theta}_y) \quad (11)
\end{aligned}$$

After the equations of motion were obtained, the vehicle was modeled in MATLAB/Simulink environment and a simulation study was performed based on the stiffness values obtained from the H-formulations analysis. It is assumed that a 700 N force (Figure 12) exerted on the vehicle in this simulation study. Figure 13 shows the variations of variables of the maglev vehicle in the effect of the load given in Figure 12.

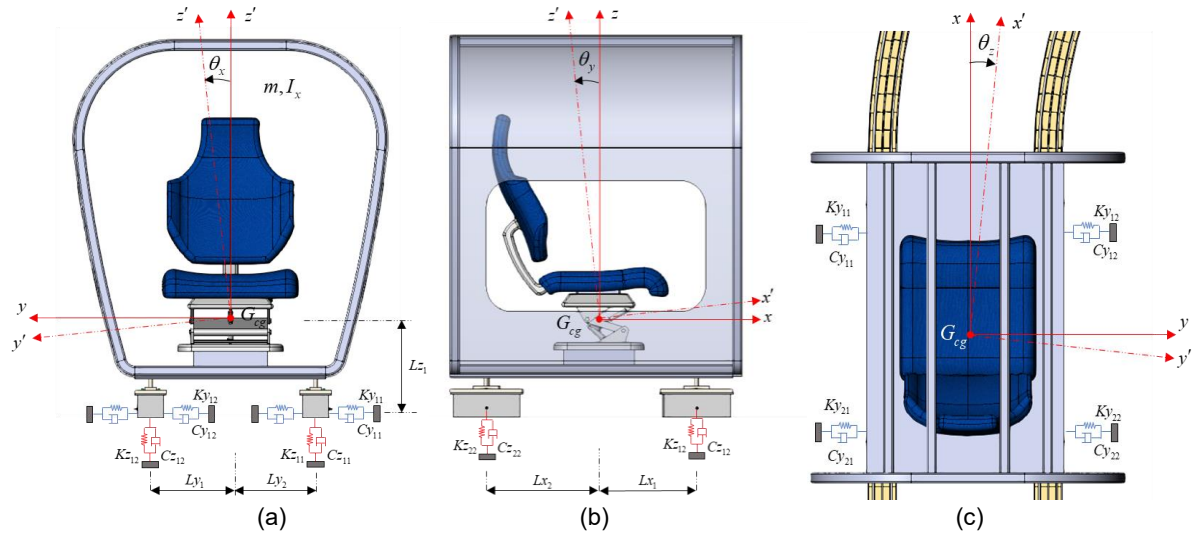


Figure 11. Maglev vehicle (a) pitching (b) yaw movement (c) movement of the vehicle body.

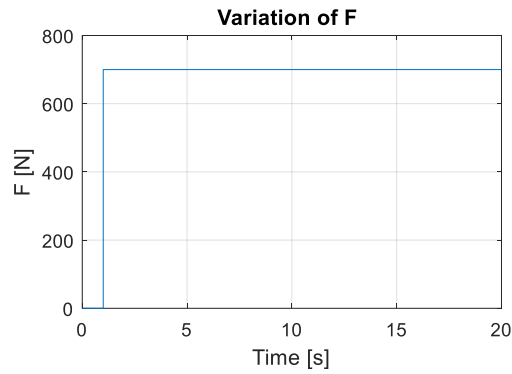


Figure 12. Force applied to the maglev vehicle.

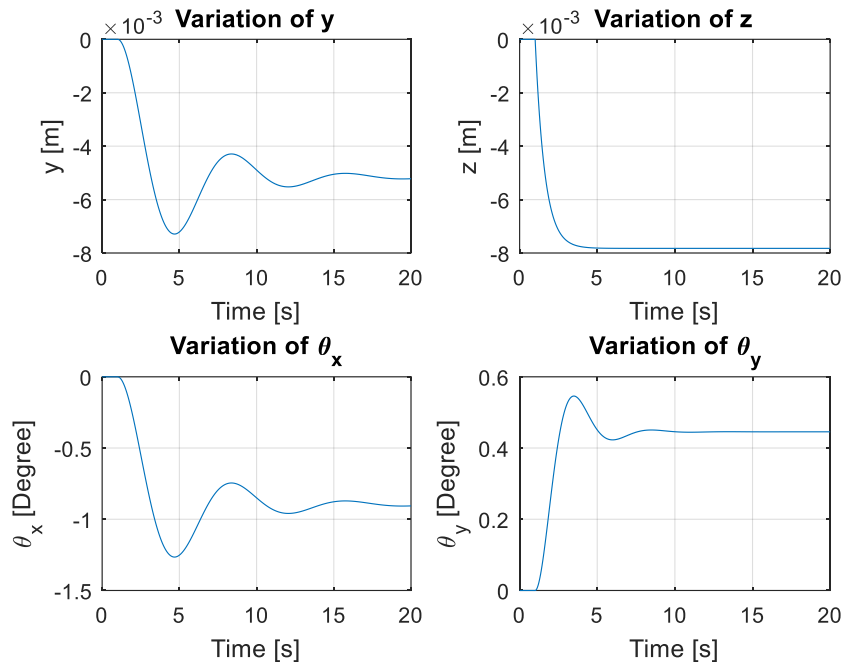


Figure 13. Variations of variables at each degrees of freedom.

## 5. Conclusions

In this research study, a cryostat is developed to increase the stiffness or load capacity of the superconducting magnetic levitation in Maglev vehicles. A new type of permanent magnet guideway with three PM surface for levitation is proposed and modeled. An H-formulation model is used to calculate the variation of the levitation forces of the proposed levitation system. The dynamics of a laboratory scale single seater Maglev vehicle having a three-surface levitation structure with the proposed cryostat is studied and some simulation results are obtained. The results are promising to realize the superconducting maglev with increased stiffness.

## 6. Acknowledgement

This work is supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey under the support program of 1001 with the Project 217M320.

## 7. References

- [1] Werfel, F. N., et.al., Superconductor bearings, flywheels and transportation. *Superconductor Science and Technology*, 2011, 25(1), 014007.
- [2] F. Werfel, U. et.al., Large-Scale HTS Bulk Fabrication for Magnetic Application, *Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials 2010*, PASREG Conference, Brasil.
- [3] Jing, H., et.al., A two-pole Halbach permanent magnet guideway for high temperature superconducting Maglev vehicle. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 2007, 463, 426-430.
- [4] Sotelo, G. G., et al. "Tests with one module of the Brazilian Maglev-Cobra vehicle." *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 23.3 (2013): 3601204-3601204.

- [5] Schultz, Ludwig, et al. "Superconductively levitated transport system-the SupraTrans project." *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 15.2 (2005): 2301-2305.
- [6] Sass, F., et al. "H-formulation for simulating levitation forces acting on HTS bulks and stacks of 2G coated conductors." *Superconductor Science and Technology* 28.12 (2015): 125012.
- [7] Quéval, Loïc, et al. "Superconducting magnetic bearings simulation using an H-formulation finite element model." *Superconductor Science and Technology* 31.8 (2018): 084001.
- [8] Zheng, Jun, et al. "A General Method to Simulate the Electromagnetic Characteristics of HTS Maglev Systems by Finite Element Software." *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 28.5 (2018).
- [9] Sivrioglu, Selim, Sinan Basaran, and Ali Suat Yildiz. "Multisurface HTS-PM Levitation for a Flywheel System." *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 26.8 (2016): 1-6.
- [10] Basaran, Sinan, and Selim Sivrioglu. "Radial stiffness improvement of a flywheel system using multi-surface superconducting levitation." *Superconductor Science and Technology* 30.3 (2017): 035008.

# RAYLI TAŞIT ARAÇLARININ GÖVDE YAPIMINDA KULLANILAN MODERN KAYNAK YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Erdiñç KALUÇ<sup>1,2</sup>, Emel TABAN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli University - Faculty of Engineering - Department of Mechanical Engineering,

41380 Kocaeli, Turkey, e-mail: [ekaluc@kocaeli.edu.tr](mailto:ekaluc@kocaeli.edu.tr)

<sup>2</sup> Kocaeli University- Welding Technology Research and Training, Education Center,

41380 Kocaeli, Turkey, e-mail: [emelt@kocaeli.edu.tr](mailto:emelt@kocaeli.edu.tr)

## Özet

Bu çalışmada, raylı araçların gövde yapımında kullanılan metalik malzemeler ve bu malzemelerin kaynağında kullanılan modern kaynak yöntemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Günümüzde, raylı taşıt araçlarının gövdelerinin üretiminde az alaşımlı çeliklerin bir çok türü kullanılmaktadır, kaplamasız veya kaplamalı olarak kullanılan alışımlı az alaşımlı çeliklerin alışımlı ince taneli türlerinin (HSLA) yanısıra son yıllarda geliştirilmiş termomekanik haddelenmiş (AHSS, UHSS vb) türleri de bulunmaktadır. Ayrıca, metro ve/veya şehirler arası yolcu vagonlarının gövdelerinde çeşitli tür paslanmaz çelik saclar kullanılmaktadır. Özellikle, şehirler arası hızlı tren gövdelerinin yapımında da alüminyum ve alüminyum alaşımı saclar yaygınlaşmaktadır. Bazı gövdelerde de alüminyum alaşımının çelik alaşımına ergitme esaslı bir kaynak yöntemi ile kaynağı gerekli olmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımların kaynağında sürtünme karıştırma ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı gibi bir katı faz kaynak yönteminin kullanılması ön plana çıkmaktadır. Dolayısı ile, bu bildiride günümüzde ve gelecekte raylı taşıt gövdelerinin yapımında kullanılan ve kullanılacak lazer ışın kaynağı (LBW), soğuk metal transferi ile gazaltı kaynağı olarak adlandırılan CMT-MAG kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) ve sürtünme karıştırma nokta nokta kaynağı (FSSW) gibi modern kaynak yöntemleri ve uygulamaları hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Raylı araç gövdesi, karbonlu ve az alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum ve alüminyum alaşımları, lazer kaynağı, CMT-MAG, sürtünme karıştırma kaynağı, sürtünme karıştırma nokta kaynağı.

## Abstract

In this study, it was aimed to investigation of modern welding processes are commonly used production on different metallic railway car bodies. Nowadays, different types of low alloyed steels are used for production railway car bodies such as uncoated or coated conventional HSLA steels, advanced thermomechanical processed steels (AHSS, UHSS, etc). In addition to these steels, different kind of stainless steels are also used of underground and/or intercity rail car bodies. Especially, some types of aluminum and aluminum alloys sheets were used to intercity high speed train bodies by rised ratio. In practice, aluminum alloy to steel sheets must be welded by using fusion welding processes at some joints. Today, Friction Stir Welding (FSW) and Friction Stir Spot Welding (FSSW) are coming popular solid state welding processes to weld aluminum and aluminum alloys of the car bodies production. Consequently, modern welding processes such as Laser Beam Welding

(LBW), Cold Metal Transfer MAG Welding, Friction Stir Welding and Friction Stir Spot Welding processes are investigated in this paper by details.

**Keywords:** Railway vehicle body, plain carbon and low alloyed steels, stainless steels, aluminum alloys, laser welding, CMT-MAG, Friction Stir Welding, Friction Stir Spot Welding.

# ELEKTRİKLİ RAYLI ULAŞIM ARAÇLARI PANTOGRAF-KATENER SİSTEMLERİNDE KARBON ŞERİT / BAKIR TEMAS TELİNİN SÜRTÜNME VE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ümit ER

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, e-mail: umiter@ogu.edu.tr

## Özet

Temas halinde bulunan iki cismin bir kuvvet etkisi altında birbirleriyle bağıl hareketleri sonucunda aşınmaları kaçınılmazdır. Tribolojik çift olarak adlandırılan bu tip sistemlerden biri de elektrik enerjisini havai hattan alan pantograf-katener sistemleridir. Belirli bir kuvvetle itilen pantograf (karbon şerit) ile onunla sürekli temas halinde olan bakır katener teli arasında gerçekleşen aşınma olayında; mekanik aşınmanın, elektriksel aşınmanın ve önlenemediği durumlarda elektrik arklarının da etkili olduğu bilinmektedir. Aşınma nedeni ile doğrudan veya dolaylı olarak hasar gören parçaların/sistemlerin tamiri için geçen süre, seferlerin aksaması ve bunların maliyetleri gibi istenmeyen durumlar elektrikli raylı sistem taşıtlarının pantograf-katener sistemlerindeki aşınmanın önemini ortaya koymaktadır. Pantograf-katener sistemlerinde aşınma kaynaklı karşılaşılabilecek olumsuzlukların azaltılabilmesi için dünya çapında araştırma-geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada, elektrikli raylı ulaşım araçlarının pantograf-katener sistemlerindeki aşınmanın karmaşık yapısı irdelenmiş, bu alandaki yeni uygulamalar derlenmiş ve aşınma üzerinde etkili olan parametreler önceki çalışmalar ışığında incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Pantograf-katener sistemi, elektriksel kayma aşınması, elektrik arki, sürtünme, aşınma

## Abstract

Preventing wear between two contacting bodies which are in relative motion with each other under the influence of a force is impossible. An example of these types of systems, called tribological pairs, is the pantograph-catenary systems that receive electrical energy from overhead line. It is known that the mechanical wear, electrical wear, and non-prevented electric arc formation have effects on the wear between the pantographs (carbon strip) which is pushed with a certain force and the copper catenary wire which is in contact with it. Undesirable situations such as the time and resources required for repair, delay of a train services and their costs of parts/systems that are directly or indirectly damaged by wear cause reveal the importance of wear on pantograph-catenary systems of electric rail vehicles. Research and development studies are continuing to reduce the negative effects caused by wear in pantograph-catenary systems. In this study, the complicated structure of the pantograph-catenary systems of electric railway vehicles was analyzed, the new applications in this field were compiled and the effective parameters of wear were examined in the lights of previous studies.

**Keywords:** Pantograph-catenary system, electrical sliding wear, electrical arc, friction, wear

## 1. Giriş

Günümüzde, elektrikli raylı ulaşım araçlarının hem şehir içi hem de şehirlerarası taşımacılıktaki payı gitgide artmaktadır. Bu artışta, sistemin daha çevre dostu olmasının, ulaşılabilen yüksek hızların, güvenliğin vb. gibi etkenlerin rolü büyüktür. Dünya genelinde, raylı sistem araçları ve bileşenlerine

yıllık 86 milyar Euro civarında yatırım yapılmakta olup bu pazarın her yıl % 8 oranında büyüyeceği ön görülmektedir [1]. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin genel olarak raylı sistemlerdeki yatırımlarının da giderek artmakta olduğu bir gerçektir. 2023 yılı hedefleri doğrultusunda mevcut raylı ulaşım ağının iki kattan daha fazla uzatılması planlanmaktadır. Günümüzde mevcut yaklaşık 12.000 km olan demiryolu ağının yapılan yatırımlarla 25.000 km uzunluğa ulaşması sağlanacaktır [2]. Yük ve yolcu taşımacılığı için Ulusal Demiryolu Ağı projesi içine katılacak toplam 13.000 km yolun, 3.500 km'si yüksek hızlı tren, 8.500 km'si hızlı demiryolu hattı ve 1.000 km'sinin konvansiyonel demiryolu hattı olması planlanmaktadır [1]. Nüfusu 350 bin ve üzeri olan kentler için planlanan metro, hafif metro ve tramvay projeleriyle, sinyalizasyon ve hat otomasyonu çalışmalarlarıyla birlikte sektör pazarının büyüyecek de bir gerçektir. Tüm bunlar raylı ve/veya elektrikli raylı ulaşım sistemlerine olan dünyadaki ve ülkemizdeki artan ilginin bir neticesi olarak değerlendirilebilir.

Elektrikli raylı sistem araçlarının hareket edebilmesi ve güvenli bir şekilde ilerleyebilmesi, iki kritik temasın tam ve mükemmel uyumunun birlikte sağlanabilmesi ile mümkündür. Bu kritik temas noktalarının ilki teker-ray etkileşiminin/temasının ikincisi ise pantograf-katener etkileşiminin/temasının sağlandığı noktalardır. Teker-ray çiftinin teması raylı sistem aracının güvenli bir şekilde ilerlemesinde hayati bir öneme sahip iken pantograf-katener çiftinin teması da elektrik enerjisinin raylı sistem aracına alınmasında zorunlu olan bir diğer sistemi meydana getirmektedir. Birbiri ile temas halinde bulunan iki cismin, üzerlerine etkiyen kuvvetlerin de tesiri ile aşınmaya maruz kalmaları kaçınılmaz bir gerçektir. Pantograf-katener sistemleri özelinde, temas dolayısıyla etkileşimde bulunan cisimler; bakır katener teli ve onun üzerine belirli bir kuvvetle itilen karbon pantograf şerit'tir. Bu tribolojik çiftte oluşacak bir problem hem sistemi oluşturan parçaların kendilerinde (katener teli ve/veya pantograf şeridi) hasara hem de elektrikli raylı sistem aracının elektrik/elektronik sistemlerinde arızaya neden olabileceğinden dolayı önemlidir. Yüksek hızlı trenlerde, aracın performansı üzerinde, bu iki kaçınılmaz genel mekanik etkileşime ilave olarak aerodinamik dirençler de eklenmektedir [3].

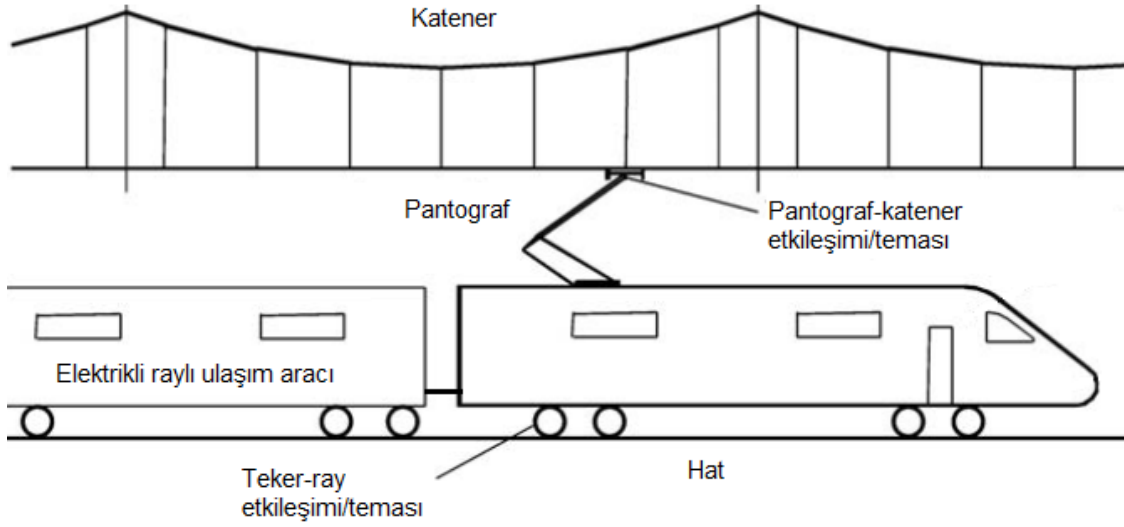
Pantograf-katener tribolojik çiftindeki aşınma genel olarak üç farklı aşınma mekanizması ile oluşmaktadır. Bunlar; mekanik (abrazif/adhezif) aşınma, elektriksel kayma aşınması ve elektrik arklarının neden olduğu eroziv aşınmadır. Pantograf-katener tribolojik çiftinin dış hava koşullarına açık olması sistemi etkileyen önemli etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle zorlu kış koşullarının (kar/buz oluşumu) elektrik arklarında artışa neden olması sistemin tribolojik açıdan daha da zorlanmasına neden olmaktadır. Tüm bu ve benzeri durumlar çalışmaya konu olan tribolojik sistemdeki aşınma olayının karmaşıklığını ortaya koymakta bu da araştırmacıların konuya olan ilgisini güncel kılmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde kullanım oranı gitgide artan, enerjisini havai hattan alan elektrikli raylı ulaşım araçlarının pantograf-katener sistemlerinde aşınma önemli bir sorundur. Bu sorun, araçların plansız tamir/bakım giderlerinin artmasına neden olduğu gibi aynı zamanda seferlerin/ulaşımın aksamasına da neden olabilmektedir. Bu çalışmada, bu soruna dikkat çekmek için yapılmış önceki çalışmalar ışığında pantograf-katener sistemlerindeki aşınma olayı incelenmiştir.

## 2. Pantograf-Katener Sistemi

Pantograf-katener sistemi, elektrikli raylı ulaşım araçlarının hareketi için gerekli elektrik enerjisinin araç içine alınmasını sağlayan sistemdir. Bu sistemde belirli bir gerilme kuvveti ile gerilen kol, gerilim taşıyan katener teline temas ederek hareket için gerekli olan enerjiyi almaktadır. Raylı sistem araçlarının çoğunda harici bir güç ünitesi bulunmamaktadır. Bu nedenle, araçların hareketi ancak pantograf ile katener temasının sürekli olmasına bağlıdır. Bu teması sağlamak için bir veya birden çok kollu pantograf sistemleri kullanılmaktadır. Pantograf sistemi hareket sırasında katener telini bir miktar kaldırmaktadır. Bu işlemin de düzenli yapılabilmesi için katener tellerinin belirli bir yükseklik toleransında konumlandırılması gereklidir. Bu yüksekliğin korunabilmesi için askı telleri kullanılmaktadır. Bu teller hattın geriliminin belirli bir bölümünü de taşımaktadır. Pantograf elemanı ise katener hattı ile teması sağlayan genellikle karbon grafit malzemeden yapılmış bir şerit'tir. Bu şerit aynı zamanda temas sırasında aşınmayı azaltıcı katı yağlayıcı görevi de görmektedir. Yüksek elektrik iletkenliği ve katener hattını fazla aşındırmaması karbon şeridin (veya pantograf kömürü) en önemli özelliklerindedir. Katener hatlarının, karbon şeritlerin yalnızca belirli bir kısmını aşındırmasının önüne geçebilmek için çapraz şekilde konumlandırılması arzu edilir. Fakat bu tip konumlandırmanın basit, düz katener hatlarına göre daha az yaygın oldukları da bir gerçektir. Bunun da nedeni, yapım

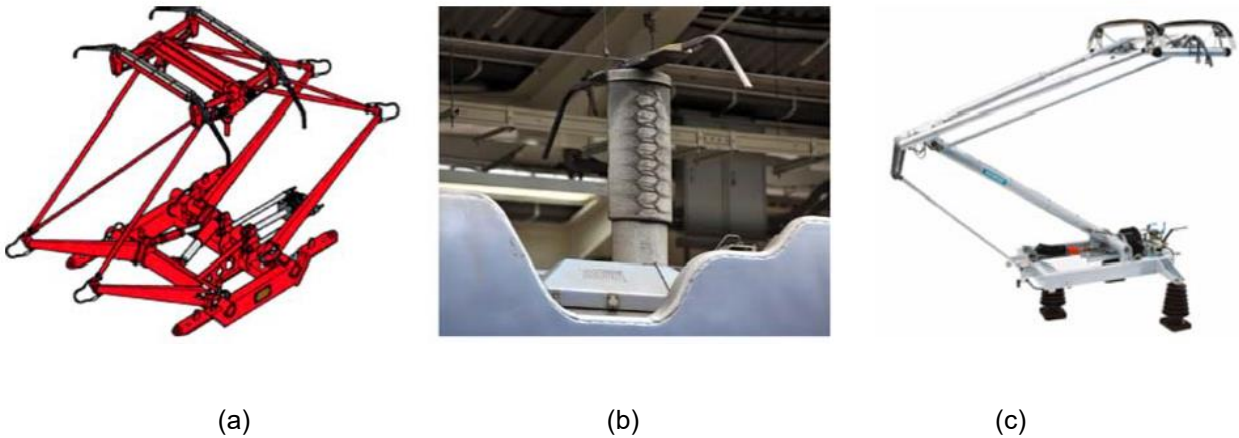
aşamalarındaki ve bakımlarındaki zorluklardır [3]. Şekil 1’de, elektrikli raylı ulaşım araçlarındaki kritik iki temas noktasını içeren genel bir pantograf-katener sistemi görülmektedir.



Şekil 1. Genel bir pantograf-katener sistemi ve kritik temas noktaları

Şehirlerarası elektrikli tren sistemlerinde gücün iletiminde yüksek voltajlı alternatif akım kullanılır. Bunun nedeni alternatif akımın, doğru akıma göre daha ekonomik, pratik ve uzun mesafeli iletme daha uygun olmasıdır [4]. Yüksek voltaj aynı zamanda ince tel kesiti anlamına gelmektedir. Kent içi ulaşımında elektriğini havai tellerden alan hafif raylı sistemlerde ise artan yaya ve taşıt güvenliği gereksinimlerinden dolayı daha düşük voltaj değerlerine sahip doğru akımın kullanım zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu zorunluluk da beraberinde artan tel kesit alanını getirmektedir.

Pantograflar üç farklı tipte sınıflandırılabilir, bunlar; elmas (diamond) tip, T-tipi ve dört-çubuk bağlantılı pantograflardır [3]. Elmas pantograf (Şekil 2-a) kullanım dışı olduğunda katener’e zarar verme potansiyeli olduğu için yaygın olarak kullanılmamaktadır. T-tipi pantograf (Şekil 2-b) iyi aerodinamik performansa sahip basit bir yapıya sahiptir ve ağırlıklı olarak düşük çalışma yüksekliğini tercih eden demiryolu hatlarında kullanılır. Dört-çubuk bağlantılı pantograflar, temel olarak bir dengeleme çubuğu ve bir akım kollektöründen oluşur (Şekil 2-c). Akım kollektörü ile dengeleme çubuğu arasında farklı şekillerde tasarlanabildiğinden dört-çubuk bağlantılı pantografların birçok varyasyonu olsa da dünya genelinde en yaygın kullanımı olan tip pantograflar bunlardır.



Şekil 2. Çeşitli pantograf tipleri (a) Elmas pantograf-ATR90, (b) T-tipi pantograf-Shinkansen Seri 500 ve (c) dört-çubuk bağlantılı pantograf-SSS400 [3]



Hangi tip olursa olsun, genel olarak pantograf, akım kollektörünü istenen çalışma yüksekliğine kaldırarak katener teli ile temas geçirmek ve akım iletimini elde etmek için kullanılan bir devre elemanıdır. Bir pantografda iki adet karbon grafit kömür (pantograf şerit) akım kollektörü üzerine monte edilmiştir ve bu iki kömürün pantografin her yüksekliğinde aynı yatay doğrultuda olması istenir. Aksi halde pantograf kömürlerinde dengesiz aşınma meydana gelir [5]. Pantograflarda aşınma ile ilgili dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da, pantograf baskı kuvvetinin düşük olması durumudur. Bu durum, pantograf kömürü ile katener teli arasında ark oluşmasına neden olur ki pantograf şeridi/katener teli tribolojik çifti açısından aşınmaların artışına neden olacağından dolayı istenmez. Arklanma aynı zamanda aracın elektrik/elektronik ekipmanları için de çok önemlidir. Pantograf-katener sistemlerinde önemli bir konu olan ark oluşumunun gözlemlenmesi, pantografin modellenmesi ve ark tespiti amaçlı pek çok çalışmanın literatürde bulunduğu bildirilmiştir [6].

### 3. Pantograf-Katener Sistemlerinde Sürtünme ve Aşınma

Akım toplayıcı/alıcı pantograf şeritleri ile katener temas tellerinin oluşturduğu tribolojik çiftte aşınma kaçınılmazdır ve yenilenmeleri veya bakım masrafları açısından bu durum kayda değer bir öneme sahiptir. Bahsi geçen tribolojik sistemde temel olarak mekanik ve elektriksel aşınmaların (elektriksel kayma aşınması ve önlenemediği durumlarda elektrik arklarından kaynaklanan erozif aşınmaların) etkili olduğu bilinmektedir [7-13]. Genel olarak katener teli-pantograf şeritlerinin aşınması ise; [8, 9, 14]

- (i) temas halindeki malzemelerin cinsine,
- (ii) kayma (tren) hızı, temas kuvveti ve akım türü (a.c./d.c.) gibi çalışma koşullarına,
- (iii) kıvılcım ve/veya ark oluşumu seviyesine ve,
- (iv) çevresel faktörlere (hava koşulları, açık/kapalı ortamlar, vb.) bağlıdır.

Pantograf-katener tipi akım alma/toplama sistemlerinde ana belirleyici özellik aşınma dayanımıdır, son derece sakıncalı olan temas telindeki aşınma ise temas telinin kesitindeki azalmaya göre tarif edilmektedir [8]. Temas telinin orijinal (enine) kesitinin %20 lik azalması telin aşındığı ve değiştirilmesi anlamına gelmektedir [9]. Ölçümler hat boyunca katener telindeki aşınma dağılımının düzgün olmadığını göstermiştir ve bu bölgesel aşınmalar, tüm hattın değiştirilmesini bile gerektirebilir [9]. Bu yüzden katener temas telinin servis ömrünün arttırılmasına odaklanılması tavsiye edilir [15]. Temas teli malzemesi olarak çekme ürünü bakır tel yaygın olarak kullanılır ancak sınırlı çekme dayanımı nedeni ile yüksek çekme gerilmelerinin söz konusu olduğu yüksek hızlı tren hatları için ne yazık ki tam uygun değildir. Düşük elektrik iletkenliklerine rağmen bakır ve alüminyum kaplanmış çelik tellerin bu tip uygulamalarda kullanıldığı bilinmektedir [9]. Yine bu tip uygulamalara dönük, yüksek çekme mukavemetini yüksek iletkenlikle birleştiren ve aynı zamanda sürtünmeden dolayı artan sıcaklıklarda da yüksek termal aşınma dayanımı gösteren özel bakır alaşımlarının çeşitli araştırmacılar tarafından çalışıldığı da literatür incelemesinde belirlenmiştir [9, 14].

Genel bakım maliyetleri göz önüne alındığında ve seferlerin aksamaması gibi nedenlerden dolayı katener teli yerine pantograf şeritlerinin değiştirilmesi tercih edilir. Elektriksel aşınmaların ve özellikle ark erozyonlarının pantograf şeritlerinin aşınmasında baskın aşınma mekanizmaları olduğu ve yüksek kayma hızlarında aşınma oranlarının belirgin bir şekilde arttığı bilinmektedir. Pantograf şerit malzemesi olarak; bakır, grafit, alüminyum, çelik gibi geleneksel malzemeler ve/veya yüksek hızlı sistemler için geliştirilen/araştırma aşamasında olan yeni nesil kompozit malzemeler kullanılmaktadır [9, 10, 16-18]. En bilinen pantograf şerit malzemesi karbon grafit, ancak bunlar iyi elektrik iletkenliği gösterebilir de özellikle yüksek sıcaklıklarda zayıf mekanik özellikler sergilediklerinden kullanımları sınırlı kalmıştır [9]. Grafitin katı yağlayıcı özelliği sayesinde bu tip şeritlerin karşıt malzeme olan temas telinde, çelik şeritlerin neden olduğundan daha az aşınmaya yol açtıkları da bilinmektedir [9].

Pantograf-katener sistemini oluşturan tribolojik çiftin malzemelerinden başka bu sistemdeki aşınmayı etkileyen diğer önemli faktörler ise; işletme/çalışma koşulları, kıvılcım ve/veya ark oluşumlarının yoğunluğu ve çevresel faktörlerdir. Bu faktörlerin ele alınan tribolojik sistem üzerindeki etkilerine ise literatür araştırması bölümü içinde yapılan önceki çalışmaların bulguları üzerinden değinilecektir. Burada belirtilmesi gereken bir ayrıntı ise, çevresel faktörler içinde sayılan zorlu hava koşullarının

(özellikle karlanma ve buzlanma) ark oluşumunu tüm elektrikli raylı ulaşım sistemlerinde arttırdığı gerçeğidir.

#### 4. Literatür Araştırması

Pantograf-katener sistemlerinde sürtünme ve aşınma olayını incelemiş önceki çalışmalar anahtar kelimeler yardımı ile araştırılmıştır. Literatür taraması sonucu bulunan çalışmaların bazıları artan yıl sıralamasına göre aşağıda irdelenmiştir.

Kragelsky'nin editörlüğünü yaptığı çalışmada (1982), elektriğin raylı ulaşım aracına alınmasında kullanılan iki ayrı sistemdeki (temas telinden akım toplama/alma şeridi veya üçüncü raydan elektriği almada kullanılan akım toplama/alma pabucu) sürtünme ve aşınma mekanizmalarının temel olarak birbirine benzediği ifade edilmiştir. Kitapta, pantograf şeritli sistemlerin elektriği üçüncü raydan alan sistemlerden farkının, dış ortam hava koşullarına açık olmaları (rüzgâr, kar, buz, yağmur) ve temas telinin rijit olmayıp baskı kuvvetinin değişkenlik gösterebilmesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, arklanmalar sonucu oluşan elektriksel erozif aşınmanın baskın tip aşınma mekanizması olduğu ifade edilmiştir. Sürtünme ve yüksek-akım kayma aşınmasının yüksek ve çok yüksek hızlarda ( $v^{180}$  km/h) belirgin bir şekilde arttığı, oluşan yüksek termal sıcaklıkların etkisi ile temas tellerinde erime/inceleme ve dolayısıyla sistemin kullanılamaz hale geldiği de belirtilmiş ve termal çevrimlerle temas telindeki (veya raydaki) yorulmaya da dikkat çekilmiştir [8].

Becker vd'ne göre (1996), genel sistem maliyetleri göz önüne alındığında temas telini değiştirmenin maliyeti pantograf akım toplama şeritlerini değiştirmekten daha yüksektir bu yüzden her durumda temas telinin servis ömrünü arttırmaya odaklanılmalıdır. Geliştirdikleri simülasyonun gerçek verilerle oldukça örtüştüğünü, özellikle yüksek hız koşullarında pantograf şeritlerinin 100.000 km (temas telinden 2 milyon pantograf geçişine denk) servis ömrü gösterdiğini bildirmişlerdir. Pantograf şeritlerindeki aşınma oranının artan temas kuvveti ile arttığını belirtmişler ve ayrıca temas telinde mekanik, pantograf şeritlerinde ise elektriksel aşınmanın baskın aşınma mekanizmaları olduğu sonucuna varmışlardır [15].

Collina vd, 2002, pantograf-katener etkileşiminin dinamik simülasyonunu ve temas telindeki aşınmayı modellemeyi temel alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elektrikli raylı sistem aracının akım toplayıcı şeritleri üzerinde aşınmanın önemi ve etkisi araç hızının artması ile artar. Bunda neden olarak pantograf ile katener arasındaki dinamik etkileşimin temas kuvvetlerinin pik değerlerinin ve temas kayıplarının 200-220 km/h'i aşan hızlarda olmasıdır. Geliştirdikleri modelin, mevcut 3 kV d.c. hattın gerçek değerleri ile kıyaslandığında niteliksel bir uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir [9].

Kiessling vd, 2009, artan yerel temas teli aşınmasının özel bir öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Yerel aşınmalar yüzünden temas teli ile pantograf arasında yetersiz veya hiç ol(a)mayan temas sonucu oluşan arklanmaların meydana geleceği bunun da önemli bir problem teşkil ettiğini belirtmişlerdir. Aynı probleme katener hattındaki titreşimlerin, temas teli boyunca olan kıvrılmaların/dalgalanmaların, yanlış hat kurulumlarının da neden olduğu ifade edilmiştir. Karşılıklı temas hattının ve pantografların istenmeyen kombinasyonlarından veya pantograf şeritlerinin geç yenilemesinden kaynaklanan şiddetli arkların, pürüzlü ve kısmen yumuşamış temas teli yüzeyine yol açacağını söylemişlerdir. Araştırmacılar, RENFE'nin tecrübesini aktarmışlar, buna göre, karbon grafit kontak şeritleri olan a.c. demiryollarında, 40.000 ila 100.000 km yolculuk mesafesi ve yaklaşık iki milyon pantograf geçişinin, pantograf temas şeritleri ve katener temas telleri için aşınma limitleri olduğu şeklindedir. Benzer olarak, ADIF bilgisine göre, ağır yüklü d.c. demiryolları için pantograf başına 2000 A'den fazla olan değerler sadece 20.000 ila 30.000 km ve 100.000 pantograf geçişinden daha azdır. Ancak, araştırmacılar, değişen işletme koşulları nedeni ile beklenen mutlak hizmet ömrü için istatistiksel olarak garantili kesin bir şey söylemenin ise mümkün olamayacağını vurgulamışlardır [19].

Tu vd, 2009, yeni bir pantograf şerit malzemesinin (polyimide reçinesi ile modifiye edilmiş polimer-matrisli pantograf temas şeridinin) bakır temas teli karşısında termal ve elektriksel kayma aşınma davranışlarını test etmişlerdir. Aşınma çifti üzerinde oksidasyon aşınmasının, adhezif aşınmanın ve ark erozyonunun baskın aşınma mekanizmaları olduğunu belirtmişlerdir [10].

Bucca ve Collina 2009 yılındaki çalışmalarında pantograf-katener sisteminin özellikle yüksek hızlar için tamir/bakım masrafları yönünden önemine dikkat çekerek aşınmaların azaltılmasının ve bunun sonucu olarak sistemin kullanım ömrü boyunca masrafların azaltılması anlamına geleceğini belirtmişlerdir. İki kısımda yaptıkları çalışmalarının ilkinde, d.c. akım hatları için bakır şeritler ile grafit şeritler karşısında temas tellerinin aşınmalarını karşılaştırmışlar ve ikinci olarak da temas teli gerginliğinin aşınmalar üzerindeki etkisini tahmin etmeye çalışmışlardır. Grafit şerit malzemenin, bakır şerit malzemesine göre aşınma anlamında çok iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir [16].

Kwok vd, 2010, saf bakır ve altı farklı bakır alaşımının aşınma ve korozyon dayanımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Elektrik akımı olup/olmaksızın pin-on-disk test cihazında deneyler yapmışlardır. Saf bakıra kıyasla önerilen diğer altı yeni bakır alaşımında aşınma miktarlarının akım değişimlerinden neredeyse hiç etkilenmediklerini bulmuşlardır. CuBeNi alaşımının inceledikleri tüm malzemeler içinde aşınma direnci en yüksek, CuCrZr alaşımının ise korozyon direnci en yüksek alaşım olduğunu bildirmişlerdir [14].

Massat vd, 2011, günümüzde havai hat temas tellerinin değiştirilmesinde ana kriterin aşınma olsa da yüksek hızlı hatlarda ölçülen aşınma oranının çok az olduğunu ve bu tip sistemlerde (yüksek hızlı tren hatlarında) temas teli ömrünün 50 yıldan fazla kullanılabileceğinin tahmin edildiğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, yorulma gibi risklerin esas olarak ele alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Yorulma kırılmalarının yüksek hızlı hatlarda en kritik, en önemli arıza nedenlerinin başında geldiği (önceden belirlenemediği için) ve temas teli üzerindeki çatlak oluşumlarında da sürtünmenin, elektriksel arkların ve korozyonun özellikle etkili olduğunu belirtmişlerdir [20].

Ding ve arkadaşları 2011 yılındaki makalelerinde, saf karbon pantograf şerit malzemesi/saf bakır temas teli çiftinde elektrik akımı (a.c.) var iken veya elektrik akımının olmadığı durumları içeren bir dizi test yapmışlardır. Elektrik akımı olmayan durum için sürtünme katsayılarını, elektrik akımı olan durumdan önemli ölçüde yüksek bulmuşlardır. Sürtünme katsayısının elektrik akımı ve normal kuvvetteki artışla azaldığını, ancak kayma hızındaki artışla hafifçe arttığını da belirtmişlerdir. Saf karbon şeritteki aşınma oranının; elektrik akımı olan durumda (240 A a.c.), elektrik akımı olmayan duruma göre 10 kat daha fazla olduğu da tespit edilmiştir. Temel aşınma mekanizmalarının; ark erozyonu, abrazyon ve adhezyon aşınmaları olduğu ifade edilmiştir [11].

Chen vd, 2013, günümüzde yüksek hızlı trenlerin işletme hızlarının 350 km/h'e ulaştığı ve bu durumda çekiş gücünün de 10.000 kW'a çıktığını bunun da 2 veya 4 adet pantograf şeridi vasıtası ile hareket halindeki trene aktarıldığını belirtmişlerdir. Bu sürtünme çiftinde hizmet ömrünün de çok kısa olduğu, örneğin, (350 km/h hız için) 1500 km'lik bir yolculukta pantograf şerit malzemesinin yaklaşık 4-5 mm kısaldığı belirtilmiştir. Yüksek hızlı elektrikli raylı ulaşım sistemlerinde bunun hala daha zor bir problem olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada, elektrikli yüksek hızlı raylı ulaşımlarda aşınmaların daha iyi anlaşılabilmesi için ark oluşumlarının kayıt edilmesi/gözlemlenmesi üzerine bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir [21].

Yaman ve arkadaşları, 2013, pantograf-katener sistemlerinde temas noktasının aşırı ısınmasını veya ark oluşumunu tespit etmek için histogram tabanlı termal görüntü işleme yöntemini önermişlerdir. Çalışmalarında pantograf-katener sistemlerinde genellikle katener teli ile pantografin temas ettiği noktalarda arızaların oluştuğunu bunda da hava şartlarının özellikle ark oluşumunda bir etken faktör olduğunu belirtmişlerdir [22].

Wang vd, 2013 yılındaki çalışmalarında elektrikli raylı ulaşım araçları için pantograf-katener sistemlerinin önemli bir tribolojik çift olduğunu ve temas basıncı, akım değeri ve kayma hızının bu çiftin aşınmasında en etkili faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri deney düzeneğinde farklı parametrelerde deneyler yapmışlar ve matematiksel modelleme üzerinde de çalışmışlardır [23].

Yin vd, 2014 yılındaki çalışmalarında karbon fiberleri ile güçlendirilmiş karbon ve bakır matrisli kompozitlerin karbon ve bakır esaslı kompozitlere göre olan avantajlarından bahsetmişler ve özellikle Japonya'da bu tip malzemelerin pantograf şeridi olarak kullanılmalarının giderek yaygınlaştığını bildirmişlerdir. Yaptıkları deneylerin sonucunda temel aşınma mekanizmalarının abrazyon aşınma ve ark erozyonu olduğu sonucuna varmışlardır [17].

Yang ve arkadaşları 2015 yılındaki çalışmalarında elektrik akımı içeren halka-üzerinde-blok test düzeneklerinde bir dizi yüksek hızlı elektriksel kayma sürtünmesi ve aşınma deneyleri yapmışlardır. Kayma hızının artmasıyla, elektrik akımının etkisiyle de birlikte şerit ile temas teli arasındaki temas yüzeyi sıcaklığının gitgide arttığını belirlemişlerdir. Arklanmaların (ark deşarjlarının) kayma hızıyla daha belirgin ve güçlü hale geldiği, bunun da pantograf şeridinin yüzeyindeki belirgin ark erozyonu aşınmalarına neden olduğunu tespit etmişlerdir. 250 A temas teli akımında ve kayma hızı 250 km/h'den daha büyük olduğu hızlarda, delaminasyon (kavkırma) tipi aşınma ve ark erozyonu tipi aşınma mekanizmalarının iki ana aşınma mekanizması olduğu sonucuna varmışlardır. Önemli bir bulguları da, elektrik akımı içeren yüksek kayma hızlarında şerit ile temas teli arasındaki sürtünme katsayısının azalırken, aşınma oranlarının ise belirgin bir şekilde artması olmuştur [12].

Wu vd, 2016, çalışmalarında pantograf ile katener arasındaki elektriksel teması elektrik iletkenliği ve sıcaklık artışının yanı sıra mikroyapı analizleri ile de birlikte incelemişlerdir. Kendi geliştirdikleri basit deney düzeneği ile yaptıkları deneyler sonucunda bakır temas telinden pantograf şeridine malzeme transferi olduğunu burada ise pantograf-katener sistemi arasında oluşan arklanmaların en önemli faktör olabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, pantograf-katener sisteminin hasar mekanizmasında mekanik (adhezif) ve elektriksel aşınmaların her ikisinin de birlikte etkili olduğunu, doğru aşınma sürecinin ise ileride yapılacak çoklu fiziksel çalışmalarla daha iyi anlaşılabilirliğini ifade etmişlerdir [13].

Tu ve arkadaşları, 2017, raylı sistemlerdeki gelişmeler doğrultusunda (artan yükler, yüksek hızlar gibi) akım toplayıcı pantograf şeritlerin malzemelerinden beklenen performansın da arttığını bildirmişler ve bu doğrultuda geliştirdikleri karbon/bakır fiberleri ile güçlendirilmiş bakır matrisli kompozit malzemeler üzerinde deneyler yapmışlardır [18].

Er ve Çakır, 2018, artan katener teli temas alanından dolayı şehir içi elektrikli raylı ulaşım araçlarının zorlu hava koşullarından (kar/buz oluşumundan) daha çok etkilendiklerini belirtmişler ve bu gibi istenmeyen durumların önlenememesi halinde aşınmaların da özellikle arklanmalar yüzünden artacağına dikkat çekmişlerdir. Geliştirdikleri deney düzeneği ile kar/buz oluşumunu önleyici/geciktirici özelliği olduğu bilinen ticari kimyasalların etkisini önce laboratuvar ortamında incelemişler ve sonra en iyi sonucu elde ettikleri oranı kullanarak gerçek saha testleri de yapmışlardır [24].

## 5. Sonuç

Hem dünyada hem de ülkemizde elektriğini havai hattan alan elektrikli raylı ulaşım araçlarının kullanımı giderek artmaktadır. Elektrikli raylı ulaşım araçlarında olmazsa olmaz etkileşimlerden biri de pantograf-katener etkileşimi/temasıdır. Burada sistemi oluşturan parçaların kullanım ömürleri üzerinde esas belirleyici olan da aşınma miktarlarıdır. Pantograf-katener sistemlerinde aşınma kaynaklı oluşacak arızalar; ulaşımı, aracın elektronik ekipmanlarını ve sürüş güvenliği gibi son derece önemli durumları doğrudan etkilemektedir. Demiryolu ulaşımında özellikle hızın artması aşınma kaynaklı problemlerde artışa neden olmaktadır. Bu yüzden, sürdürülebilir tamir/bakım maliyetlerinin pantograf-katener tribolojik çiftinde sağlanabilmesi, akım toplayıcı pantograf şeritler ile onunla temas halinde olan katener temas teli üzerindeki araştırmaları zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, pantograf-katener tribolojik çiftindeki aşınma problemi genel olarak tanıtilarak, konu üzerindeki son gelişmeler yapılmış önceki çalışmalar ile irdelenmiştir. Pantograf-katener temasındaki aşınma olayında genel olarak; mekanik aşınmaların (abrazif/adhezif), elektriksel kayma aşınmasının ve ark erozyonunun etkili olan aşınma mekanizmaları olduğu görülmektedir. Artan hızlar ve zorlu hava koşullarının ark oluşumlarını ve dolayısı ile aşınmayı (pantograf şeritlerinde) arttırdığı, son yıllarda yapılan çalışmaların da bu yüzden özellikle pantograf şerit malzemelerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaştığı yapılan literatür araştırması sonucunda anlaşılmaktadır. İlerideki çalışmalarda, farklı nedenlerden kaynaklanan (yüksek hızlar, artan elektrik yükleri, karlanma/buzlanma, yetersiz temas vb.) ark oluşumunun, pantograf-katener tribolojik çiftinin her bir elemanının sürtünme ve aşınmalarına olan etkisini farklı kombinasyonlarla test edebilecek cihazların geliştirilerek çalışmaların sürdürülmesi önerilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Demir, A., Raylı Sistem Araçlarında Milli Marka Oluşturma Yaklaşımı, Bahçeşehir Üniversitesi YL tezi, İstanbul, 2015.
- [2] Anonim, Türkiye demiryolları sektörünü kalite ve ileri teknoloji düzeyi ile geliştirmek istiyor, [www.ephy-mess.de/uploads/media/Interview\\_VDB\\_Vicepresident\\_Mr\\_Becker.pdf](http://www.ephy-mess.de/uploads/media/Interview_VDB_Vicepresident_Mr_Becker.pdf), erişim tarihi: Ağustos, 2018.
- [3] Zhang W., Zou D., Tan M., Zhou N., Li R. and Mei G., Review of pantograph and catenary interaction, *Front. Mech. Eng.*, 13(2), 311-322, 2018.
- [4] Baxter A., *Network Rail a Guide to Overhead Electrification*, London, 2015.
- [5] Anonim, Raylı Sistem Araçlarına Elektrik Enerjisinin Aktarılması, MEB Raylı Sistemler Teknolojisi, Ankara, 2013.
- [6] Yaman O., Karaköse E., Aydın İ., Karaköse M. ve Akın E., Pantograf-katener sistemler için bulanık mantık tabanlı belirlenen pantograf modeli kullanılarak ark tespiti yaklaşımı, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(4), 724-739, 2017.
- [7] Bucca G. and Collina A., Electromechanical interaction between carbon-based pantograph strip and copper contact wire: A heuristic wear model, *Tribology Int.*, 92, 47-56, 2015.
- [8] Kragelsky I.V. (Eds), *Friction Wear Lubrication – Tribology Handbook V.1*, Mir Publishers, 1982.
- [9] Collina A., Melzi S. and Facchinetti A., On the prediction of wear of contact wire in OHE lines: a proposed model, *Vehicle System Dynamics Supplement*, 37, 579-592, 2002.
- [10] Tu C., Chen Z. and Xia J., Thermal wear and electrical sliding wear behaviors of the polyimide modified polymer-matrix pantograph contact strip, *Tribology Int.*, 42, 995-1003, 2009.
- [11] Ding T., Chen G.X., Wang X., Zhu M.H., Zhang W.H. and Zhou W.X., Friction and wear behavior of pure carbon strip sliding against copper contact wire under AC passage at high speeds, *Tribology Int.*, 44, 437-444, 2011.
- [12] Yang H.J., Chen G.X., Gao G.Q., Wu G.N. and Zhang W.H., Experimental research on the friction and wear properties of a contact strip of a pantograph-catenary system at the sliding speed of 350 km/h with electric current, *Wear*, 332-333, 949-955, 2015.
- [13] Wu G., Wei W., Gao G., Wu J. and Zhou Y., Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph-catenary system, *J. Mod. Transport*, 24(2), 132-138, 2016.
- [14] Kwok C.T., Wong P.K., Man H.C. and Cheng F.T., Sliding wear and corrosion resistance of copper-based overhead catenary for traction systems, *IJR Int. Journal of Railway*, 3(1), 19-27, 2010.
- [15] Becker K., Rukwied A., Zweig W. and Resch U., Simulation of the wear behaviour of high-speed over-head current collection systems, *Trans. on the Built Environment*, 17, 281-290, 1996.
- [16] Bucca G. and Collina A., A procedure for the wear prediction of collector strip and contact wire in pantograph-catenary system, *Wear*, 266, 46-59, 2009.
- [17] Yin J., Zhang H., Tan C. and Xiong X., Effect of heta treatment temperature on sliding wear behaviour of C/C-Cu composites under electric current, *Wear*, 312, 91-95, 2014.
- [18] Tu, C.J., Deng L.P., Chen D., Xiong X.Z., Wang Y.F. and Zhu Y., Preparation of Cf/Cu-C contact strip and wear behaviour under electric current, *Materials Science and Tech.*, 33(1), 98-103, 2017.
- [19] Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A. and Schneider E., *Contact Lines for Electric Railways 2nd ed*, Publicis Publishing, Erlangen, 2009.
- [20] Massat J.P., Nguyen-Tajan T.M.L., Maitournam H., Balmes E. and Bobillot A., Fatigue analysis of catenary contact wires for high speed trains, 9th World Congress on Railway Research, 1-11, 2011.
- [21] Chen G.X., Yang H.J., Zhang W.H., Wang X., Zhang S.D. and Zhou Z.R., Experimental study on arc ablation occurring in a contact strip rubbing against a contact wire with electrical current, *Tribology Int.*, 61, 88-94, 2013.
- [22] Yaman O., Aydın İ., Karaköse M. ve Akın E., Pantograf katener sistemlerde oluşan sıcaklık değişimi ve arkın termal görüntü ile tespit edilmesi, TOK2013 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 1071-1075, 2013.
- [23] Wang Z., Guo F., Chen Z., Tang A. and Ren Z., Research on current-carrying wear characteristics of friction pair in pantograph catenary system, *IEEE 59th Holm Conference on Electrical Contacts*, 1-5, 2013.
- [24] Er, Ü. and Çakır, F.H., Urban light rail transportation systems catenary line anti-icing applications; laboratory and field experiments, *Anadolu Univ. Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 19(2), 433-442, 2018.

# ELEKTRİK MOTORLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ BELİRLEME METODLARI

Mine Sertsöz<sup>1\*</sup>, Mehmet Fidan<sup>2</sup> and Mehmet Kurban<sup>3</sup>

1\* Anadolu University, Eskişehir, Turkey, e-mail: msertsoz@anadolu.edu.tr

2 Anadolu University, Eskişehir, Turkey, e-mail: mfidan@anadolu.edu.tr

3 Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, Turkey, e-mail: mehmet.kurban@bilecik.edu.tr

## Özet

Elektrik motorlarında enerji verimliliği, tüm enerji verimliliği konularında olduğu gibi artan enerji ihtiyacını yeni kaynaklardan ziyade elde olan kaynakları verimli kullanarak yapılan tasarrufun; hem ekonomik hem çevresel katkılarından dolayı oldukça önemli bir konudur. Bu sebeple sanayinin her alanında kullanılan elektrik motorlarının verimliliğinin doğru belirlenmesi üzerinde çalışılan bir konudur.

Bu çalışmada raylı sistemlerde sıkça kullanılan sincap kafesli asenkron motorlarından bahsedilerek daha sonra da bu motorların enerji verimliliği belirleme yöntemleri anlatılacaktır. Yöntemlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte test düzeneklerinin kurulum maliyetleri de oldukça önemli bir konudur. Bu yöntemlerden hangisinin Tülomsaş'ta bulunan cer motorunda (bir çeşit sincap kafesli asenkron motor) kullanıldığı ve tip testi sonuçlarından elde edilen verimlilik sonuçları paylaşarak başka hangi yöntemlerin uygulanabilir olduğu konusunda önerilerde bulunulacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Cer Motoru, Sincap Kafesli Asenkron Motor, Raylı Sistemler, Enerji Verimliliği.

## Abstract

Energy efficiency in electric motors, as in all energy efficiency issues, saving energy by using efficiently the resources that are obtained from the new sources rather than the increasing energy needs; is a very important issue because of its economic and environmental contributions. For this reason, it is a matter of working on the accurate determination of the efficiency of electric motors used in every field of the industry.

In this study, induction motors with squirrel cage, which are frequently used in rail systems, are mentioned and then the methods of determining the energy efficiency of these motors will be explained. The advantages and disadvantages of the methods compared to each other, as well as the installation costs of the test equipment, is a very important issue. Which of these methods are used in the cer motor (a type of induction motor with squirrel cage) in Tülomsaş and the efficiency results obtained from the type test results will be shared and suggestions will be made about which other methods are applicable.

**Keywords:** Cer Motors, Induction Motor with Squirrel Cage, Rail Systems, Energy Efficiency.

## 1. ASENKRON MOTORLAR

Asenkron motorlar günümüzde en çok kullanılan motorlardır. Sabit devirli motor olup devir sayıları yüküle değişmez. Asenkron motorlar diğer motorlara göre daha çok kullanılmasının sebepleri daha ucuz olması ve bakıma ihtiyaç duymamasıdır. Asenkron motorlar iki kısımdan oluşur. Bunlar;

- 1) Stator, asenkron motorun sabit kısmıdır.
- 2) Rotor, asenkron motorun hareketli kısmına denir. İki çeşit rotor vardır, bunlar sincap kafesli rotor ve bilezikli rotordur.

Asenkron motorlar transformatörler gibi indüklenme yasasına göre çalışırlar. İndüklenme yasasına göre dönen bir manyetik alan içinde bulunan iletkenlerde gerilim indüklenir ve dönen bir manyetik alan içerisinde bulunan iletkenlerden akım geçerse, iletkenler manyetik alan tarafından itilirler. İşte bu yüzde asenkron motorlara endüksiyon motorları da denir.

Biz bu çalışmada sincap kafes rotorlu asenkron motorlar üzerinde duracağız. Sincap kafesli motorların ilk akım çekişi anma akımından çok yüksektir. Geçit momentleri ise çok küçüktür. Sincap kafesli motorların rotorları ilk devre bağlama anında yüksek etkin direnç gösterirler fakat motor yüksek devirlere ulaştınca bu etkin direnç küçük değerlere ulaşır. Bunun sebebi, sincap kafesli motorların kendinden yol verme dirençli gibi davranması, ilk devre anında statorun yüksek akım çekmesi ve ilk döndürme momentinin büyük olmasıdır. Bunun sonucunda motor daha yumuşak yol alır. Motor yüksek devire ulaştığında rotor direnci kendiliğinden düşer ve stator yüklenmelerinde devir sayısı kaybını önler. Bu sebepten dolayı sincap kafesli motorlar deri etkisi prensibine göre çalışır. Deri etkili rotorların saçları üstünde iki adet alt alta sincap kafesi bulunur. Alttaki kafes işletme kafesi üstteki kafes ise yol verme görevi görür. Çalışma anında hem işletme hem yol verme kafesinin çubuklarının üstünden alternatif akım geçer. Üzerinden akım geçiren çubukların oluşturduğu manyetik alan diğer çubukları da etkilediğinden çubuk direncinin yükselmesine neden olur. Rotor devir sayısı arttıkça motor frekansı düşer ve deri etkisi akım frekansı ile doğru orantılı olduğundan çubukların direnci küçülür. Sincap kafesli motorlar fırçasız oldukları için parazit oluşturmazlar. Sincap kafesli asenkron motorlar genelde, iş makinelerinde, raylı sistem araçlarında ve kaldırma düzeneklerinde kullanılırlar.

## 2. ASENKRON MOTORLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ BELİRLEME METODLARI

Literatürde asenkron motorların sahada yapılan testlerle ve yazılım temelli testlerle enerji tahmini için birçok yöntem vardır. Bunlar şu şekildedir:

### 2.1. Kayma Yöntemi

Kayma yöntemi motor hızının ölçülmesine dayanır [1]–[4], [6]–[9]. En temel avantajı basitliktir.

- Standart Kayma Yöntemi
- Ontario Hydro Modifiye Edilmiş Kayma Yöntemi
- Daha Üst Sınır Kayma Yöntemi

### 2.2. Akım Yöntemi

Kayma metotlarına benzer şekilde, akım metotları minimum ölçümleri ve üreticinin bilgilerini kullanarak verimliliği tahmin eder [1]–[4], [6]. En temel avantajı basitliğidir.

- Standart Akım Yöntemi

### 2.3. Devre Denklem Yöntemi [1]

Bir asenkron motorun verimliliği elektrik devre denkleminde hesaplanabilir. Bu yöntemler, ölçümlerin yapıldığı koşullar dışındaki yük koşullarında çalışan bir motor için bir verimlilik tahmini sağlayabilir.

- Standart Devre-Denklem Yöntemi (IEEE Std-112 Yöntemi F/F1)
- Ontario Hydro Modifiye Edilmiş Metod F (OHMF)
- Plaka Devre-Denklem Nameplate (ORMEL96) Yöntemi
- Rockwell Motor-Verimlilik Wizard (RMEW) Yöntemi
- Kilitli Rotor Yöntemi
- Durdurma Frekansı Cevap Yöntemi

### 2.4. Kayıpları Ayırma Yöntemi [2]

Bu metotlar en kolay metotlardır çünkü onlar her bir kayıp komponenti kolaylıkla tahmin eder ( $W_s$ ,  $W_r$ ,  $W_{core}$ ,  $W_{fw}$  ve  $W_{LL}$ ). Bu metotlar genellikle bazıları çok kompleks ve zor olmasına rağmen bazıları da kayıpların bir kısmını tahmin etmek için ampirik değerlere güvendiğinden oldukça kesindir.

- Standart Kayıp Ayırma Yöntemi (IEEE Std-112 Method E1)
- Ontario Hydro Modified Method E (OHME)



## 2.5. Tork Yöntemi [3]

- AGT Yöntemi
- Şaft Tork Yöntemi

## 2.6. Plaka Değeri Yöntemi

En kullanışsız alan değerlendirmesi yöntemi motor plaka değerlerinden motor bilgisini elde etmektir [1]–[3].

- Standart Plaka Yöntemi
- Volgelsang ve Benning (V&B) Yöntemi I, II

## 2.7. Optimizasyon Temelli Yöntemler [4]–[14].

Gerçek endüstriyel koşullardaki verimlilik tahmini için optimizasyona dayalı yöntemler bir başka alternatiftir. Bu yöntemlerde, makinenin verimliliği, optimizasyon tabanlı bir arama algoritması (genetik algoritma, bakteriyel besleme algoritması ve çok nesneli optimizasyon gibi) yardımı ile makinenin eşdeğer devresinin parametrelerinin tahmini temel alınarak hesaplanır.

Bir literatür taramasına dayanarak, bazıları dengeli kaynak koşullarında verimlilik tahmini için optimizasyona dayalı teknikleri sunar. Bazılarında dengesiz besleme koşullarında verimlilik tahmini problemi ile uğraşmak için eşdeğer devre yöntemi GA ile birleştirilir.

Özetlenecek olursa Motor akım yöntemi ve kayma yöntemi kolay fakat güvenilirliği nispeten az metodlardır. Tork ölçüm metodları, hava boşluk torku metodları ve kayıpların ayrılması metodları daha kesin sonuç verir ancak pratik ve alanda kullanıma uygun değildir. Devre denklem metodları işletmede çalışır haldeki motorların çıkarılması mümkün olmadığında kullanışlıdır. Devre denklem yöntemi ile her hangi bir yükteki asenkron motorun performansı devre denklemindeki stator sargısı, rotor sargısının yanı sıra çekirdek kaybı dirençleri ve stator, rotor kaçak ve manyetik reaktanslarından oluşan altı devre parametresi ile belirlenir [15].

## 3. MARMARAY CER MOTORU İÇİN DENEYSEL OLARAK TS EN 60349-2'E VE IEC 34-2'E GÖRE YAPILAN VERİMLİLİK TESTLERİ

Aşağıdaki tablolarda Marmaray Cer Motoruna ait iki adet deney sonucu yer almaktadır.

**Tablo 1.** Boşta Çalışma Deneş Sonuçları

Test Şartları: 1370 V, 66 Hz.

Gerilim(V)	Frekans(Hz)	Akım (A)	Güç(kW)
1376	66	54.7	7

**Tablo 2.** Kilitli Rotor (Kısa Devre) Deneş Sonuçları

Test Şartları: 106 A, 66 Hz.

Ayarlanan Akım (A)	Frekans(Hz)	Akım(A)	Gerilim (V)	Güç(kW)
106	66	106	207.5	8.4

*Kaçak yük kayıpları: 200 \* 0.05 = 10 kW*

Tam yükteki giriş gücü: 200 kW

$$\% \text{ Verimlilik} = \frac{(200 - 25.4)}{200} * 100 = \%87.3 \text{ (IEC 34 - 2)} \quad (1)$$

$$\% \text{ Verimlilik} = \frac{(200 - 15.4)}{200} * 100 = \%92.3 \text{ (TS EN 60349 - 2)} \quad (2)$$

Rotem firması motorun kabul edilebilmesi için verimlilik testinin başarılı olma koşulunu gerekli şartnamede belirtmiştir. Bu şartnamede [16] verimlilik testinin TS EN 60349-2'a göre yapılması ve en fazla kayıp değerinin % 9,2 olması gerektiği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen bu testte kayıp değerimiz TS EN 60349-2'a göre % 7,7 [17] bulunmuştur. Bu da testi yapılan motorun Marmaray'da kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

## SONUÇ

Bu çalışmada raylı sistemlerde sıkça kullanılan sincap kafesli asenkron motorlarından ve çalışma prensiplerinden bahsedilerek asenkron motorlar kısaca tanıtılmıştır. Daha sonra motorlarda, enerji verimliliği belirleme yöntemleri anlatılmıştır. Bu yöntemlerden Devre denklem metodu kullanılarak Tülomsaş'ta bulunan cer motorunda (bir çeşit sincap kafesli asenkron motor) test yapılmış ve sonuçlarından elde edilen, istenilen standart olan TS EN 60349-2'a göre kayıp % 7,7 olarak bulunmuştur. Bu da motorun kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

Burada değinilmeyen bir başka konu olan bu sonucun sahada yapılmadan, yazılım temelli bir testle de elde edilip edilmeyeceği konusudur. Ancak bunun için bir değil birçok test değerine ihtiyaç vardır. Ancak bu testlerden sonra bu testin yazılım temelli metotlarla yapıp yapılmayacağına karar verilebilir.

## REFERANSLAR

1. J. D. Kueck, M. Olszewski, D. A. Casada, J. Hsu, P. J. Otaduy, and L. M. Tolbert, "Assessment of Methods for Estimating Motor Efficiency, Load Under Field Conditions," Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, TN, Rep. ORNL/ TM-13165, 1996.
2. "In-plant electric motor loading and efficiency techniques," Ontario Hydro, Toronto, ON, Canada, Rep. TSDD-90-043, 1990.
3. B. Lu, T. G. Habetler, and R. G. Harley, "A nonintrusive and in-service motor-efficiency estimation method using air-gap torque with considerations of condition monitoring," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44, no. 6, pp. 1666–1674, Nov./Dec. 2008.
4. A. Charette, J. Xu, A. Ba-Razzouk, P. Pillay, and V. Rajagopalan, "The use of the genetic algorithm for in situ efficiency measurement of an induction motor," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet.*, 2000, pp. 392–397.
5. P. Phumiphak and C. Chat-uthai, "Nonintrusive method for estimating field efficiency of inverter-fed induction motor using measured values," in *Proc. IEEE Int. Conf. Sustainable Energy Technol.*, 2008, pp. 580–583.
6. M. S. Aspalli, S. B. Shetagar, and S. F. Kodad, "Estimation of induction motor field efficiency for energy audit and management using genetic algorithm," in *Proc. Int. Conf. Sens. Technol.*, 2008, pp. 440–445.
7. A. Siraki and P. Pillay, "An in situ efficiency estimation technique for induction machines working with unbalanced supplies," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 27, no. 1, pp. 85–95, Mar. 2012.
8. B. Lu, C. Wenping, I. French, K. J. Bradley, and T. G. Habetler, "Nonintrusive efficiency determination of in-service induction motors using genetic algorithm and air-gap torque methods," in *Conf. Rec. IEEE 42nd IAS Annual Meeting*, 2007, pp. 1186–1192.
9. T. Phumiphak and C. Chat-uthai, "Estimation of induction motor parameters based on field test coupled with genetic algorithm," in *Proc. Int. Conf. Power Syst. Technol.*, 2002, pp. 1199–1120.
10. P. Pillay, V. Levin, P. Otaduy, and J. Kueck, "In-situ induction motor efficiency determination using the genetic algorithm," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 13, no. 4, pp. 326–333, Dec. 1998.
11. T. Phumiphak and C. Chat-uthai, "An economical method for induction motor field efficiency estimation for use in on-field energy audit and management," in *Proc. Int. Conf. Power Syst. Technol.*, 2004, pp. 1250–1254.

12. J. R. Gomez, E. C. Quispe, M. A. de Armas, and P. R. Viego, "Estimation of induction motor efficiency in-situ under unbalanced voltages using genetic algorithms," in Proc. Int. Conf. Elect. Mach., 2008, pp. 1–4.
13. M. Cunkas and T. Sag, "Efficiency determination of induction motors using multi-objective evolutionary algorithms," Adv. Eng. Software, vol. 41, no. 2, pp. 255–261, Feb. 2010.
14. V. P. Sakthivel, R. Bhuvaneshwari, and S. Subramanian, "Non-intrusive efficiency estimation method for energy auditing and management of inservice induction motor using bacterial foraging algorithm," IET Elect. Power Appl., vol. 4, no. 8, pp. 579–590, Sep. 2010.
15. A. Siddique, G. S. Yadava, and B. Singh, "Effects of voltage unbalance on induction motors," in Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Elect. Insul., 2004, pp. 26–29.
16. [https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec60349-2%7Bed3.0%7Db.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60349-2%7Bed3.0%7Db.pdf)
17. M. Sertsöz and M. Kurban "Energy Efficiency of a Special Squirrel Cage Induction Motor" The Role of Exergy in Energy and the Environment, Springer, 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-89845-2.

# DEMİRYOLU ÜSTYAPI MONTAJINDA RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Sevdenur KARAKOÇ<sup>1</sup>, M. Hüseyin ÇETİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>\*Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: [sevdenurkarakoc38@gmail.com](mailto:sevdenurkarakoc38@gmail.com)

<sup>2</sup>\* Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: [hcetin@karabuk.edu.tr](mailto:hcetin@karabuk.edu.tr)

## Özet

Ülkemizde son 15 yıldan bu yana demiryolu ağlarında yüksek oranda artış meydana gelmektedir. Teknolojinin hızla ilerlemesi, lojistiğin gelişmesi, ülkeler arası oluşan rekabetler, nüfusun artması, zaman kavramının önem kazanması vs. gibi unsurlar demiryoluna olan ihtiyaca etki eden faktörlerdendir. Fakat bu ihtiyaçlarla beraber olası riskler ortaya çıkmaktadır.

Demiryolu üst yapısında, taşıtların hareket etmesini sağlayan rayların, transverslere ray bağlantı elemanları ile montajı yapılmaktadır. Montajın performansı; ulaşımda kalite, güvenlik, konfor için önemlidir.

Bu çalışmada üst yapı montajı esnasında uygulanan işlem adımları (platform üzeri balast serme, transvers yerleşimi, ray-transvers montajı, ray kaynağı, ray taşlama) belirlenerek, her bir aşamada olası riskler tahmini ve tecrübeye bağlı değerlendirilmeler ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Tespit edilen risklerin bertaraf edilebilmesi ve/veya risklerin minimize edilmesi için alınması gereken önlemler ve/veya yapılması gereken çalışmalar belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ray, transvers, montaj, risk

## Abstract

Since last 15 years, our country has been experiencing a high rate of increase in railway networks. The rapid progress of technology, the development of logistics, the rivalry between the countries, the increase of the population are the factors affecting needs of railway. But some risks come up with this needs.

On the upper structure of the railway; mounting of rails that allow vehicles to move with transverses are made rail fasteners. Performance of mounting ,quality in transportation and security is important for comfort.

In this working; process steps applied during upper structure mounting (laying ballast on platform, settle transverses, rail-traverse mounting, rail source, rail grinding ) have been taken And the possible risks at each stage have been tried to be determined by estimation and experiential evaluations. Measures to be taken and work to be done have been determine to remove the risks or reduce.

**Keywords:** Rail, traverse, mounting, risk

# BİR AĞIR HİZMET DİZEL MOTORUNUN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZLERİYLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Oğuzhan HOŞGÖR<sup>1\*</sup> and Doç. Dr. Mustafa Ertunç TAT<sup>2</sup>  
<sup>1\*</sup>TÜLOMSAŞ, Eskişehir, Türkiye, e-mail: oguzhanhosgor@gmail.com  
<sup>2</sup>ESOGÜ, Eskişehir, Türkiye, e-mail: tatertunc@gmail.com

## ÖZET

Sürdürülebilir kalkınma için gerekli olan doğal kaynakların korunması, enerjinin etkin ve verimli kullanılması, toplu taşımayı gerekli kılmıştır. Raylı sistemin, insan ve yük taşımacılığı için hem güvenli hem de ucuz olması sebebiyle, sektöre olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Sektör tarafından büyük miktarda enerji ve yakıt tüketilmekte, bu nedenle enerji sistemlerinin verimli kullanılması demiryolu sistemlerinde de oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Türkiyede ki raylı sistemler tarafından kullanılan ağır hizmet dizel motoru, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kapsamında incelenmiştir. Bu çalışmada, Türkiyede ki raylı sistemler tarafından kullanılan ağır hizmet dizel motoru, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kapsamında incelenmiştir. Aynı tipteki dört farklı motorun test verileri kullanılarak, ortalama termal ve ekserjetik verim değerleri rölanti devrinde (650 d/dk) %12,84 ve %11,92, 1000 d/dk'da %32,00 ve %29,70, 1200 d/dk'da ise bu değerler %31,35 ve %29,10 tam yük değeri için ise 1500 d/dk' da %31,35 ve %29,09 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dizel motor, enerji ve ekserji analizi, termodinamik, verimlilik

## ABSTRACT

The protection of natural resources required for sustainable development and the effective and efficient use of energy have made it necessary of public transportation. Since the railway system is both safe and inexpensive for public and goods transportation, attention on the sector is increasing day by day. Great amount of energy and fuel is consumed by the sector, therefore effective and efficient use of energy is very important at railway systems as well. In this study, a heavy duty diesel engine, used by railway systems in Turkey was investigated in the scope of the first and the second laws of thermodynamic. The same type of four engines were analyzed by using their test leafdata at in this study, heavy-duty diesel engine used by rail systems in Turkey, under the first and second laws of thermodynamics were investigated. Calculated mean thermal and exergetic efficiency values were 12,84% and 11,92% at idle speed (650 rpm), 32,00% and 29,70% at 1000 rpm, 31,35% and 29,10% 1200 rpm. The full load values, at 1500 rpm, were calculated as 31,35% and 29,09%, respectively.

**Keywords:** Diesel engine, energy and exergy analysis, thermodynamic, efficiency

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan dünya nüfusunun 20. yüzyılın başında 1,65 milyar olan 21. yüzyılın sonunda ise 11,2 milyar olması beklenmektedir. Günümüzde dünya genelindeki enerji ihtiyacının %80 civarındaki oranı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Diğer %20'lik kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş, hidrolik, jeotermal, nükleer ve bitki ve hayvan atıkları gibi kaynaklardan elde edilmektedir. Dünya nüfusunun %4,6'sına sahip olan ABD dünya enerjisinin %30'dan fazlasını tüketirken buna karşın dünyadaki nüfus oranı %15,3 olan Hindistan dünyada üretilen toplam enerjinin %3'ünden daha azını tüketmektedir. Fosil yakıtların bilinen rezervlerinin birkaç yüzyıl tamamen tükeneceği tahmin edilmektedir (Ablabekova, 2008).

Artan nüfusa bağlı olarak enerji talebindeki ve kullanımındaki hızlı artış sonrasında fosil yakıtların oranı geçtiğimiz yüzyıl da çok hızlı bir şekilde artmıştır. Fosil yakıtların neden olduğu CO<sub>2</sub> emisyonları sonucunda sera gazı etkisi oluşmaktadır. Enerjinin tasarruflu biçimde kullanılabilmesi için verimlilik ilkesini her alanda etkinleştirmek gerekmektedir.

Bu çalışmada yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan bir ana hat raylı sistem aracına ait, ağır hizmet tipi bir dizel motorun enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu analizler için termodinamiğin I. ve

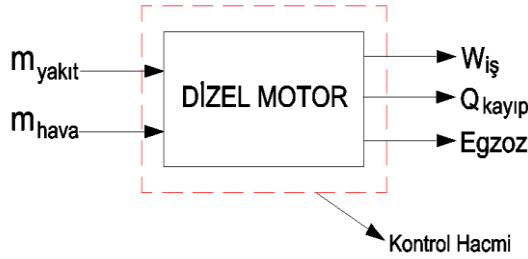
II. kanunları esas alınmıştır. Aynı tip dört ayrı motorun, 650 d/dk, 1000 d/dk, 1200 d/dk ve 1500 d/dk dört farklı devir sayısında test f6yü verileri üzerinden analizleri gerçekleştirilmiştir. S6z konusu motor 16 silindire ve 4 stroka sahiptir. Yapılan hesaplamalar ile;

Enerji analizi için: Efektif g6, Termal kayıp, Termal verim, Piston içi ortalama efektif basınç, 6zg6l yakıt t6knetimi

Ekserji analizi için: Yakıt ekserjisi, Ekserji yıkımı, Efektif g6 ekserjisi, Yanma 6r6nlerinin ekserjisi, Soğutma suyu ekserjisi, Ekserjetik verim, Motorda 6retilen toplam entropi

## 2. ANALİZ VE 6Z6MLEME

Yapılan t6m enerji ve ekserji analiz 6z6mlmeleri termodinamiğin I. ve II. kanunu kullanarak hesaplanmıştır. Ortam koşulları dizel motor frenleme at6lyesi için var olan 1 atm basınç altında 25 6C için sim6le edilmiştir.



şekil 1. 6z6mlmesi yapılan termodinamik sisteme ait kontrol hacmi

### 2.1. Motor parametreleri

6zg6l yakıt t6knetimi motorun 1 kWh saat başına t6kettiği yakıt miktarıdır.

$$b_e = B/N_e \text{ (g/kWh)} \quad (1)$$

B = Toplam yakıt t6knetimi (g/kWh),  $N_e$  = Efektif g6 (kW)

Otto motorlar için: 345 – 285 g/kWh, Dizel motorlar için: 285 – 190 g/kWh olarak genel bir kabul vardır.

Ortalama efektif basınç krank mili çıkışından 6l6len efektif g66n stroke hacmine ve silindir sayısına b6l6nmesiyle hesaplanır.

$$p_e = N_e/V_h \cdot z \cdot n \cdot i \quad (2)$$

$N_e$  = Efektif g6,  $p_e$  = Efektif basınç,  $V_h$  = Strok hacmin = Devir(1/s)

$i$  = 4 stroklu motorlar için 0.5 iken 2 stroklu motorlar için 1 kabul edilir.

Krank mili g66nden alınan motor g66ne efektif g6 ya da fren g66 denilmektedir (alışkan, 2009).

$$N_e = \dot{W} \text{ (kW)} \quad (3)$$

$$\dot{W} = \omega T, \quad \omega = \frac{\pi n}{30} \quad \omega: \text{Açısal hız (1/s), } T: \text{Tork (Nm)}$$

engel'e (1996) g6re ise ısıl verim bir ısı makinesine girilen ısıl enerjinin net işe d6n6şebilen b6l6m6, ısı makinesinin etkinliğinin bir 6l6s6 şeklinde ifade edilmektedir.

$$\eta_{ter} = W_{net}/Q_{giren} \quad (4)$$

$$W_{net} = W_g - W_{\dot{\chi}} \quad (5)$$

$$W_{net} = Q_g - Q_{\dot{\chi}} \quad (6)$$

## 2.2. Enerji ve Ekserji Analizi

### Enerji Analizi

Enerjinin korunumu ilkesi en temel doğa yasalarından biridir. Termodinamiğin I. Yasası veya enerjinin korunumu yasası olarak adlandırılır.

$$E_g = E_{\dot{\chi}} \quad (7)$$

Çok sayıda giriş ve çıkışı olan genel bir sürekli akışlı sistem için kütle korunumu:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_{\dot{\chi}} \quad (8)$$

Sürekli akışlı açık sistemlerde enerjinin korunumu:

$$\begin{aligned} \dot{E}_g &= \dot{E}_{\dot{\chi}} \\ \dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) &= \dot{Q}_{\dot{\chi}} + \dot{W}_{\dot{\chi}} + \sum_{\dot{\chi}} \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir.

Kontrol hacmi için enerji dengesi aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır. Burada  $\dot{E}_{yak}$  sisteme giren enerji,  $\dot{Q}_{kay}$  kontrol hacminde oluşan ısı kaybı,  $\dot{W}$  motor güç değerlerini ifade edilmektedir (Yıldırım, 2014).

$$\dot{E}_{yak} = \dot{Q}_{kay} + \dot{W} \quad (10)$$

Yakıttan yanması sonucu oluşan enerji girişinin miktarı, yakıtın alt ısı değeri ( $H_u$ ) ile kütleli debisinin ( $\dot{m}_{yakıt}$ ) çarpımı sonucu elde edilir:

$$\dot{E}_{yak} = \dot{m}_{yak} H_u \quad (11)$$

Yanma sonucunda işin elde edilmesinin dışında kalan ya da kaybettiğimiz enerji miktarı yakıttan elde edilen enerji ile işe dönüşen net gücün farkı şeklinde açıklanmıştır (Yıldırım, 2014).

$$\dot{Q}_{kay} = \dot{E}_{yak} - \dot{W} \quad (12)$$

Motorun termal verimi ise işe dönüşen net gücün yakıttan elde edilen enerji miktarına oranı olarak ifade edilmiştir.

$$\eta_{ter} = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{yak}} \quad (13)$$

### Ekserji Analizi

Ekserji analizi yapılırken sisteme giren ve çıkan ekserji akımlarının miktarı birbirine eşittir.

$$\dot{E}X_g = \dot{E}X_{\dot{\chi}} \quad (14)$$

Bir sistemin bir hal değişimi sırasındaki ekserji değişimi sisteme giren ekserjiler ile çıkan ekserjiler ve ekserji yıkımı arasındaki fark kadardır ve ekserji dengesi en genel haliyle,



$$\dot{E}X_g - \dot{E}X_c - \dot{E}X_{yık} = \Delta \dot{E}X_{sis} \quad (15)$$

Bir sistemin toplam ekserjisi, kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerinin toplamına eşittir.

$$E = E_k + E_{pt} + E_{fiz} + E_{kim} \quad (16)$$

E : Ekserji, E<sub>k</sub>: Kinetik ekserji, E<sub>pt</sub>: Potansiyel ekserji, E<sub>fiz</sub>: Fiziksel ekserji, E<sub>kim</sub>: Kimyasal ekserji

$$E_{fiz} = (\bar{h} - \bar{h}_o) - T_o(\bar{s} - \bar{s}_o) \text{ (kj/kmol)} \quad (17)$$

E<sub>fiz</sub>: Fiziksel ekserji akımı, h: Entalpi, s: Entropi,  
 $\bar{h}_o$ : Ölü hal entalpisi,  $\bar{s}_o$ : Ölü hal entropisi, T<sub>o</sub>: Ölü hal sıcaklığı (°K)

Kimyasal ekserji aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

$$E_{kim} = \bar{R}T_o \ln(y/y_x^e) \text{ (kj/kmol)} \quad (18)$$

Burada  $\bar{R}$  evrensel gaz sabiti (8,31447 kj/kmolK), T<sub>o</sub> ise çevre sıcaklığı, y ilgili egzoz gazının bileşeninin mol kesri,  $y_x^e$  referans çevredeki bileşenin mol kesridir.

Referans bileşenlerin mol kesirleri aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$N_2 = \%75,67000, O_2 = 20,35000, CO_2 = 0,034500, H_2O = 3,03000 \\ CO = 0,00070, SO_2 = 0,00020, H_2 = 0,00005, Diğer = 0,91455 \text{ (Çalışkan, 2009)}$$

Yakıtların kimyasal ekserjileri hesaplanırken yakıtı oluşturan bileşenler dikkate alınarak hesaplama yapılmaktadır. Bu sebeple Szargut ve Strylska; yakıt ekserjisinin yakıtın ısı değerine oranını ifade eden  $\varphi$  değerini geliştirmişlerdir (Durmuş, 2006).

$$\varphi = \frac{E_o}{H_u} \quad (19)$$

h: Hidrojenin kütleli oranı, o: Oksijenin kütleli oranı, n: Nitrojenin (azot) kütleli oran,  
H<sub>u</sub>: Yakıtın alt ısı değeri

Sıvı yakıtlar için kimyasal ekserji oranı  $\varphi$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\varphi = 1.04014 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{n}{c} \left(1 - 2.0628 \frac{h}{c}\right) \quad (21)$$

Yakıt ekserji akımı sadece yakıtın kimyasal ekserjisini ifade etmektedir (Çalışkan, 2009).

$$E_{yak} = H_u \varphi \quad (22)$$

$$\dot{E}X_g = \dot{m}_{yak} E_{yak} \quad (23)$$

Fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamı termal ekserjiye eşittir.

$$E_{ter} = E_{kim} + E_{fiz} \quad (24)$$

Efektif güç ekserji akımı motorun krankından alınan güce eşittir.

$$\dot{E}X_{i\dot{s}} = \dot{W} = N_e \quad (25)$$

Isı transferinin ekserjisi, motorun yanma işlemi sonucunda belirli bir derecedeki (T<sub>s</sub>) soğutma suyundan çevre sıcaklığındaki (T<sub>o</sub>) ortama olan ısı geçişi olarak ifade edilmektedir.

$$\dot{E}X_{ısı} = \sum \left(1 - \frac{T_o}{T_s}\right) \dot{Q} \quad (26)$$

Burada  $\dot{Q}$  motorun soğutma suyu tarafından soğutma süresince çevreye atılan ısı miktarı olarak ifade edilmektedir.

$$\dot{Q} = \dot{E}_{\text{yak}} - (\dot{W} + \dot{m}_c \Delta h_c) \quad (27)$$

$$\dot{E}_{\text{egz}} = \dot{m}_{\text{N}_2} \mathcal{E}_{\text{topN}_2} + \dot{m}_{\text{O}_2} \mathcal{E}_{\text{topO}_2} + \dot{m}_{\text{CO}_2} \mathcal{E}_{\text{topCO}_2} + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \mathcal{E}_{\text{topH}_2\text{O}} \quad (28)$$

Ekserji yıkımı akımı, sisteme giren sistemden çıkan iş, ısı kaybı, egzoz kaybı ve ekserji yıkımlarının toplamına eşittir.

$$\dot{E}_{x_{\text{iş}}} + \dot{E}_{x_{\text{yık}}} + \dot{E}_{x_{\text{ısı}}} + \dot{E}_{x_{\text{egz}}} = \dot{E}_{x_g} \quad (29)$$

$\dot{E}_{x_{\text{iş}}}$  = Net güç(kW),  $\dot{E}_{x_{\text{yık}}}$  = Ekserji yıkımı akımı(kW),  $\dot{E}_{x_{\text{ısı}}}$  = Soğutma suyu ekserji akımı(kW),  
 $\dot{E}_{x_{\text{egz}}}$  =  $\dot{E}_{x_c}$  = Çıktı ekserji akımı,  $\dot{E}_{x_g}$  = Yakıt ekserji akımı

Motorda üretilen toplam entropi miktarı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{\text{CV}} = \frac{\dot{E}_{x_{\text{yık}}}}{T_0} \left( \frac{\text{kW}}{\text{K}} \right) \quad (30)$$

Ekserjetik verim net elde edilen işin giren yakıt ekserjisine oranı şeklinde ifade edilmektedir.

$$\Psi = \frac{\dot{E}_{x_{\text{iş}}}}{\dot{E}_{x_g}} \quad (31)$$

### 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu analizler 4 farklı motor için 4 farklı motor devir değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu motor devir değerleri sırasıyla rolanti devri 650 d/dk, 1000 d/dk, 1200 d/dk ve tam yük devri olan 1500 d/dk' dır. Analiz sonuçlarına göre bulguların, ortalama ve standart sapma değerleri verileri tartışılmıştır.

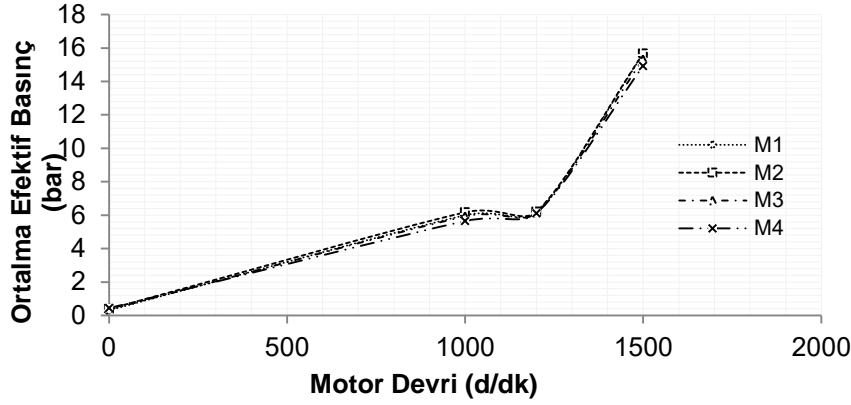
#### 3.1. Motor Performans Analizi

Motor performans analizinde hesaplanan performans değerleri efektif güç değeri, ortalama özgül yakıt tüketimi ve ortalama efektif basınç değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Dört farklı motor ve dört farklı devir değeri için, efektif güç değerleri

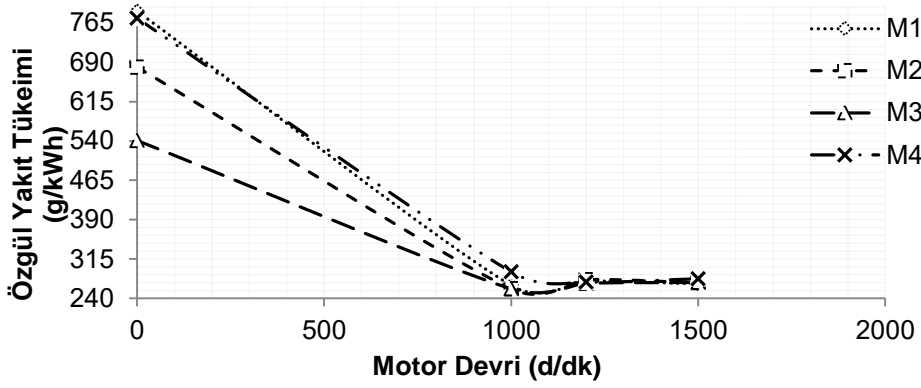
Efektif Güç (kW)				
Motor Devri Motor No	650 (d/dk)	1000 (d/dk)	1200 (d/dk)	1500 (d/dk)
<b>M1</b>	17	454	557	1761
<b>M2</b>	22	466	565	1765
<b>M3</b>	18	449	554	1727
<b>M4</b>	23	434	552	1674
<b>Ortalama</b>	20	451	557	1732

Çizelge 5.1.'e göre dört farklı motor için yapılan karşılaştırmada 650 d/dk ile 1500 d/dk arasındaki devir değerleri için efektif güç ortalama 20 kw ile 1732 kW arasında olacak şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 1. Dört farklı motorun dört farklı devir değerindeki ortalama efektif basınçları

Motor devrine karşılık ortalama efektif basıncın değişimi Şekil 2.'de dört ayrı motor için bar cinsinden verilmiştir. Motor devri arttıkça ortalama efektif basıncın 15,66 bara kadar arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 2. Dört farklı motor ve dört farklı devir değeri için, özgül yakıt tüketim değerleri

Şekil 3.'te seçilen tüm devir değerlerine karşılık gelen söz konusu motor için özgül yakıt tüketimi değerleri g/kWh türünden sunulmuştur ve tam yükte ölçülen değer ortalama 260-270 g/kWh civarındadır.

### 3.2. Motor Enerji Analizi

Enerji analizleri ile yakıt enerjisi, ısı kayıp ve termal verim sonuçları hesaplanarak sunulmuştur.

Çizelge 2. Dört motor için enerji analizi tablosu

Motor No:	Yakıt Enerjisi (kW)	Isıl Kayıp (kW)	Net Güç (kW)	Termal Verim (%)
M1	5552	3791	1761	31,71
M2	5599	3834	1765	31,53
M3	5471	3745	1727	31,56
M4	5471	3797	1674	30,60
Ortalama	5523	3791	1731	31,35

Çizelge 2'de dört farklı motor için dört farklı motor devrine ait ve tam yük değeri olan 1500 d/dk için elde edilen enerji analizi tablosuna ait değerler sunulmaktadır. Yakıtın yanması sonucu elde edilen giriş yakıt enerjisi miktarı azami 5599 kW iken ortalama 5523 kW kadardır. Ortalama ısı kayıp 3791

kW, yakıtın yanma işlemi sonucunda elde edilen faydalı net iş gücü ise ortalama 1731 kW'tır. Termal verimlilik ise ortalama % 31 civarındadır.

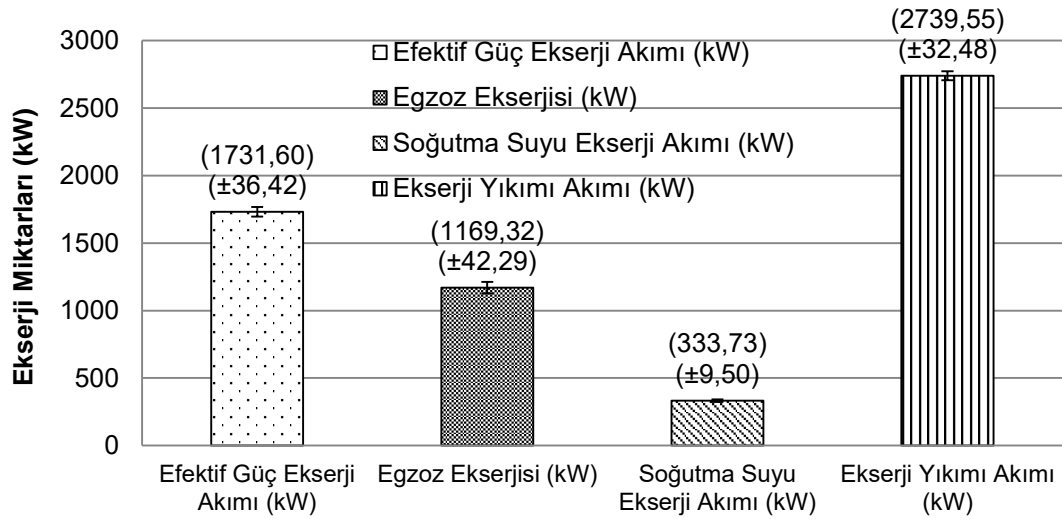
### 3.3. Motor Ekserji Analizi

Ekserji analizleri ise yakıt ekserji akımı, ekserji yıkımı, efektif güç ekserjisi, egzoz ekserjisi, soğutma suyu ekserjisi ve ekserjetik verim hesapları yapılmıştır.

Çizelge 3. Tam yük değerlerin için ekserji analizi tablosu

Motor No:	Yakıt Ekserjisi (kW)	Ekserji Yıkımı (kW)	Efektif Güç Ekserjisi (kW)	Egzoz Ekserjisi (kW)	Soğ. Suyu Ekserjisi (kW)	Ekserjetik Verim (%)
M1	5982	2704	1761	1197	321	29,42
M2	6033	2715	1765	1224	328	29,26
M3	5986	2786	1727	1127	345	29,29
M4	5986	2752	1674	1129	340	28,39
<b>Ortalama</b>	<b>5996</b>	<b>2739</b>	<b>1731</b>	<b>1169</b>	<b>333</b>	<b>29,09</b>

Çizelge 3.'te 4 farklı motorun tam yük devir değeri sonucunda elde edilen yakıt ekserji akımının harcanmasına bağlı dağılımları gösterilmektedir. Yakıt ekserjisi ortalama 5996 kW olarak hesaplanmıştır. Ekserji enerjilerinin karşılığı ise; Ekserji ortalama 2739 kW, efektif güç ekserji akımı ortalama 1731 kW. Yanma ürünlerine harcanan ortalama miktarı 1169kW, soğutma suyuna aktarılan enerji miktarı ortalama ise 333kW'tır. Ekserji verimi ise ortalama %29,09'dır.



Şekil 4. Tüm motorların tam güçteki ortalama ekserji miktarları

Şekil 4.'te ise 4 motorun ortalama değerleri standart sapma aralıkları ile gösterilmektedir. Dizel yakıtın yanması sonucu elde edilen 5996 kW'lık yakıt ekserji akımının dağılımı gösterilmektedir. Burada efektif güç ekserji akımı krank mili gücüne eşit ve 1731 kW'tır. Yanma ürünlerinin toplam ekserji akımı ise 1169 kW, soğutma suyuna aktarılan ekserji akımı 333 kW olarak hesaplanmıştır. En fazla kaybın ekserji yıkımı ile olduğu 2739 kW olarak hesaplanmıştır.

## 4. SONUÇ

Bu çalışma Türkiye raylı sistemlerinde enerji ve ekserji analizleriyle sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde öncü çalışmalardandır. Türkiye demiryollarında kullanılan bir ana hat lokomotifine ait dizel motor için ilk enerji ve ekserji analizi çalışmasıdır. Ayrıca, milli ve yerli bir ağır hizmet motor tasarımı için önemli referans parametreler içermektedir. Ulusal toplu taşımacılığın gelişmesi ve verimliliğin artması küresel çevre ve enerji problemlerinin çözümüne de katkı sağlayacaktır.

Elde edilen sonuçlara göre;

- Krank mili üzerinden elde edilen ortalama efektif güç motor devrine bağlı olarak 20 kW ile 1731 kW arasındadır.
- Ortalama özgül yakıt tüketim değerleri ise motor devrine bağlı olarak 695,885 g/kWh ile 271,371 g/kWh arasında olacak şekilde hesaplanmıştır.
- Ortalama efektif basınç değerleri ise aynı devir sırasıyla 0,36 bar, 5,93 bar, 6,14 bar, 15,38 bar olarak bulunmuştur.
- Ortalama termal verim değerleri motor devir aralıklarına bağlı olarak %12,84 - %31,35 değerleri arasındadır.
- Tam yük değerinde yakıtın altı ısı değeri dikkate alınarak yakıt enerji akışı ortalama 5523 kW tır. Bu yakıt gücünün ortalama 1731 kW'ı (%31,35) krank milinden efektif güç olarak alınmakta, 3791 kW'ı (%68,65) ise egzoz gazlarıyla ve soğutma suyu aracılığıyla sistem dışına taşınmaktadır.
- Ortalama ekserjetik verim değerleri ise motor devrine bağlı olarak %11,92 - %29,09 aralığında hesaplanmıştır.
- Tam yük değerinde yakıtın alt ısı değeri dikkate alınarak yakıt ekserji akışı ortalama 5996 kW tır. Bu yakıt ekserji gücünün 1731 kW'ı (%29) efektif güç ekserjisi olarak alınmakta, 1169 kW'ı (%20) egzoz gazlarıyla taşınmakta, 333 kW'ı (%5,5) soğutma suyu ile çevreye atılmakta ve 2769 kW'ı (%45,5) ekserji yıkımı olarak hesaplanmıştır.
- Ayrıca motorda üretilen entropi ise 9,44 kW/K olarak hesaplanmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Ablabekova A., 2008 T.C. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Teorisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi İktisadi Etkinlik Açısından Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Fosil Yakıtlar İle Karşılaştırılması s:3-10
- [2] Çalışkan H., 2009, İçten yanmalı motorlarda ekserji analizi, Yüksek lisans tezi s:35-36
- [3] Çengel, Y. ve Boles, M.A. 1996, Thermodynamics: An Engineering Approach, 2nd.Edt., McGraw – Hill, Inc. p: 2-411
- [4] Yıldırım E., 2014, Helikopter Motorunun Ekserjetik Analizi ve Sürdürülebilirlik Değerlendirmesi yüksek lisans tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı s:31-48

# RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN BİR AĞIR HİZMET DİZEL MOTORU SİLİNDİR GÖMLEĞİ ÜZERİNE UYGULANAN FARKLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Onur BIYIKLIOĞLU<sup>1\*</sup> and Doç. Dr. Mustafa Ertunç TAT<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> TÛLOMSAŞ, Eskişehir, Türkiye, e-mail: onurbiyiklioglu@gmail.com

<sup>2</sup> ESOGÛ, Eskişehir, Türkiye, e-mail: tatertunc@gmail.com

## ÖZET

Yük ve yolcu taşımacılığında Raylı Sistemler Teknolojisi'ni kullanma eğilimimiz gün geçtikçe artmaktadır. Bu eğilimin artmasındaki en önemli sebep, enerji ve zaman verimliliği açısından Raylı Sistemler Taşımacılık Sistemleri'nin diğer taşımacılık sistemlerine göre önemli avantajlara sahip olmasıdır. Dizel elektrikli lokomotiflerde işin yapılmasını ve sonuçlanmasını sağlayan enerjinin temel kaynağı ağır hizmet dizel motorlarıdır. Dolayısıyla dizel motorların verimini arttırmak, bakım ve onarım maliyetlerini minimum seviyeye indirmeye çalışmak çok büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada Raylı Sistemlerde kullanılan bir ağır hizmet dizel motorunun silindir gömleği tribolojik olarak incelenmiştir. Motor içi sürtünme ve aşınma kayıplarının önemli bir bölümünü oluşturan silindir gömleği aşınma mekanizması incelenerek kaplama metoduyla silindir gömleği aşınma davranışlarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, silindir gömleğinden örnek numuneler alınarak üç farklı kaplama malzemesi (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr, NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub>) ile termal sprey kaplama yöntemiyle kaplanmıştır. Kaplama işleminin ardından yapılan aşınma deneyleri neticesinde aşınma oranı 0,03mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup> hesaplanan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> kaplama ve aşınma oranı 0,04 mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup> olarak hesaplanan Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama en iyi aşınma dayanımı davranışlarını gösterirken, NiCr kaplamanın aşınma oranı 0,06 mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup>, kaplamasız numunenin aşınma oranı ise 0,09 mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Raylı Sistemler, Triboloji, Dizel motor aşınması, Kaplama, Silindir gömleği

## ABSTRACT

The tendency to use Railway Systems Technology in passenger and good transportation has been increasing day by day. The most critical reason of this increase is that Railway System Transportation has important advantages in terms of energy and time productivity compared to other transportation systems. The main source of energy that enables the work to be performed and resulted in diesel electricity locomotives is heavy duty diesel engines. Therefore, to increase the efficiency and to minimize the maintenance and repair cost of diesel engines are very important. In this study, cylinder liner of heavy duty diesel engine used in Railway Systems examined tribologically. It is aimed to improve the wear behaviors of cylinder liners via coating methodology by examining the wearing mechanism of cylinder liner that constitutes big part of friction and wear losses in the engine. In this scope, three samples that were taken from cylinder liner were coated with three different coating materials (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr, NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub>) by using thermal spray coating process. As a result of the wear experiments following coating process, wear rate of NiCr coating has been calculated as 0,06 mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup>, wear rate of the uncovered sample is 0,09 mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup>; while the best wear behaviors are observed as of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> which has the wear rate of 0,03 mm<sup>3</sup>/Nmx10<sup>-3</sup> and as of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr coating which has the wear rate of 0,04 mm<sup>3</sup>/10<sup>-3</sup>.

**Keywords:** Railway Systems, Tribology, Diesel Engine Wear, Coating, Cylinder Liner

## 1. GİRİŞ

Raylı Sistemler alanında dizel elektrik lokomotiflerin sevki için gerekli olan itici gücün çok büyük bir kısmı dizel motorlardan sağlanmaktadır. Bu sebeple kullanılan dizel motorun daha verimli hale getirilmesi kullanılan yakıt enerjisinin maksimum verimle kullanılabilmesini sağlamakla beraber bakım ve onarım giderlerini azaltarak lokomotif sistemini daha verimli bir hale getirecektir.

Dizel motorlarda kullanılan enerjinin önemli bir kısmı motor aksanları arasındaki sürtünme ve aşınma mekanizmalarının etkisiyle kaybolmakta ve motor verimini düşürmektedir. Motor içi aşınma mekanizmalarının önemli bir kısmını da piston grubu aşınmaları oluşturmaktadır. Piston grubu aşınma mekanizmalarının tribolojik açıdan doğru bir şekilde irdelenip araştırılabilmesi meydana gelen enerji verimsizliğinin ve maliyetlerin azaltılabilmesi açısından çok büyük önem taşımaktadır (Lakshminaranayan, P. A., Nayak, N. S., 2011).

Bu çalışmada temel amaç; Raylı Sistemler Taşımacılığı'nda kullanılan bir ağır hizmet dizel motoru silindir gömleği iç yüzeyinin aşınmasını minimuma indirerek bakım onarım sürecini uzatmak ve maliyet tasarrufu sağlamaktır. Yüzey özelliklerini istenen düzeye getirebilmek için yüzey, termal sprey kaplama yöntemiyle, üç farklı ( $Al_2O_3-TiO_2$ ,  $Cr_3C_2-NiCr$ ,  $NiCr$ ) kaplama malzemesiyle kaplanacaktır. Kaplama prosesinin ve deneylerin ardından aşınma karakteristiklerini kıyaslamak için SEM ve EDS analizleri sonuçları yorumlanarak kaplanmış malzemeler ile gri dökme demirden imal edilmiş esas malzemenin kıyaslanabilmesini sağlamaktır.

## 2. ANALİZ VE ÇÖZÜMLEME

Silindir gömleğinin dizel motor içindeki görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yanma gazı kaçaklarını önlemek
- Piston ve segmanlardaki ısıyı soğutma sıvısına iletmek
- Soğutucu sıvıyı korumak
- Pistonu desteklemek
- Piston ve segmanlara yataklık etmek
- Motor çalışma başlangıcı için yağın yüzeyde tutunmasını sağlamak

Silindir gömlekleri yüksek kırılma aşınma ve sürtünme direncine sahip olmalıdır. Bu sebeple mukavemetli bir yüzey kaplamasına sahip olmalıdır. Aynı zamanda honlama çizgilerinde yeterli yağ barındırabilecek kapasiteye ve iyi bir ısı iletim katsayısına sahip olmalıdır. Silindir gömlekleri kompresyon ve yağ segmanlarıyla sürekli sürtünme halinde çalıştıkları için; dayanıklı, mukavemeti yüksek ve kararlı bir kaplamayla kaplanmış olmaları aşınma oranını önemli ölçüde azaltarak kompresyon ve yağ kaçaklarını minimuma indirecek ve ekipman ömrünün uzamasında da çok önemli bir rol oynayacaktır (Bhushan, 2001, İzgiz, S., 2006)

Bu çalışmada Raylı Sistemler Taşımacılığı'nda kullanılan bir ağır hizmet dizel motorundan alınan numuneler 3 farklı kaplama malzemesiyle ( $Cr_3C_2-NiCr$ ,  $NiCr$ ,  $Al_2O_3-TiO_2$ ) termal sprey kaplama yöntemleri kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama işleminin ardından tribometre ile yapılan aşınma deneyi, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı tespiti, EDS analizleri, optik mikroskop ve SEM incelemeleri sonucunda söz konusu kaplamaların aşınma performanslarıyla ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

### 2.1. Kaplama Prosesi

Numunelerin kaplama işlemi Plazma Teknik Sert Metal A.Ş.'de yapılmıştır.  $Al_2O_3-TiO_2$  ve  $NiCr$  kaplama için atmosferik plazma kaplama,  $Cr_3C_2-NiCr$  kaplama için HVOF yöntemleriyle Termal Sprey Kaplama işlemi uygulanmıştır. Atmosferik Plazma Kaplama işlem parametreleri Çizelge 2.1.'de, HVOF Kaplama işlem parametreleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Atmosferik plazma kaplama işlemi parametreleri

Kaplama Malzemesi/Parametre	Püskürtme Mesafesi	Amper	Voltaj	Argon (SCFH)	Hidrojen (SCFH)	Besleme Oranı
$Al_2O_3$	6 cm	530-570	63-38	86-90	125	3 lb/saat
$NiCr$	7 cm	550-580	65-67	86-90	120	4 lb/saat

Çizelge 2.2. HVOF kaplama işlemi parametreleri

Kaplama Bileşimi/Parametre	Püskürtme Mesafesi	Azot Basıncı	Kerosen	Oksijen	Besleme Oranı
Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr	33 cm	0,8 bar	26 l/dk	900 l/dk	50 gr/dk

## 2.2. Aşınma Deneyleri

Segman silindir yüzeyi bir arada çalışma kabiliyetlerini arttırabilmek adına yapılacak yüzey iyileştirme işlemlerinin ve işlem parametrelerinin seçimi çok önemlidir. Mevcut durumda bir çok motor üreticisi firma gerçek yol testini kullanarak aşınma oranını belirlemektedir. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar oldukça gerçekçi olsa da deney maliyetleri, harcanan zaman ve iş gücü maliyetleri oldukça yüksektir. Bu sebeple, bu yöntem doğru yağlama rejimi, segman ve silindir gömleği malzemesi ya da kaplama prosesi geliştirebilmek için yeterli sayıda test yapmamıza müsaade etmemektedir.

Segman ya da silindir gömleği aşınma davranışlarını geliştirebilmek amacıyla denenen her yeni malzeme ve kaplama prosesi için deneyleri gerçek yol testi şeklinde gerçekleştirmeye çalışmak deney maliyetleri göz önünde bulundurulacak olursa anlamsız ve gerçekçilikten çok uzaktır (Stachowiak ve Batchelor, 2005).

Bu sebeple ilk adım olarak maliyeti çok daha düşük olan laboratuvar deney yöntemlerinden birini kullanarak uygun olmayan kaplama malzemesi ve yüzey özelliklerini geliştirme proseslerini elemek, bizi hem yüksek maliyetlerden kurtaracak hem de çok fazla zaman kazanmamızı sağlayacaktır.

En uygun kaplama malzemesinin en az maliyetli ve hızlı bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla Çizelge 2.3.'te belirtilen laboratuvar deney parametreleri belirlenmiştir. Segman-silindir gömleği çalışma prensibine uygun olarak gel-git geometrili aşınma deneyi tercih edilmiş olup aşındırıcı olarak 3 mm çapında, küre geometrili WC bilya tercih edilmiştir.

Çizelge 2.3. Aşınma deneyi parametreleri

Aşınma Şekli	Lineer	Veri Toplama	10 Hz
Aşınma Mesafesi	6 mm	Ortam	Hava
Maks. Lineer Hız	10 cm/s	Aşındırıcı Malzeme	WC
Yük	10 N	Aşındırıcı Boyutu	3 mm
Toplam Mesafe	200 m	Aşındırıcı Geometri	Küre

Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> ve NiCr kaplama işlemine tabi tutulmuş 3 adet numune ve kaplanmamış 1 adet numunenin kuru ortamda lineer git-gel geometrisinde aşınma deneyleri ESOĞÜ Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan CSM marka tribometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Gri dökme demirden imal edilmiş olan silindir gömleği malzemesinden torna tezgahında 30 mm çapında 25mm yüksekliğinde 4 farklı numune elde edilmiştir. Bu numunelerin 3 tanesi Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> ve NiCr kaplama malzemeleriyle kaplanmıştır. Kaplanan numuneler ve kaplanmamış ana malzeme kullanılarak, oda sıcaklığında Çizelge 2.3.'te belirtilen koşullarda aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerin ardından yapılan analizler neticesinde kaplama malzemelerini ve kaplanmamış numunelerin aşınma davranışları kıyaslanarak analiz edilmiştir.

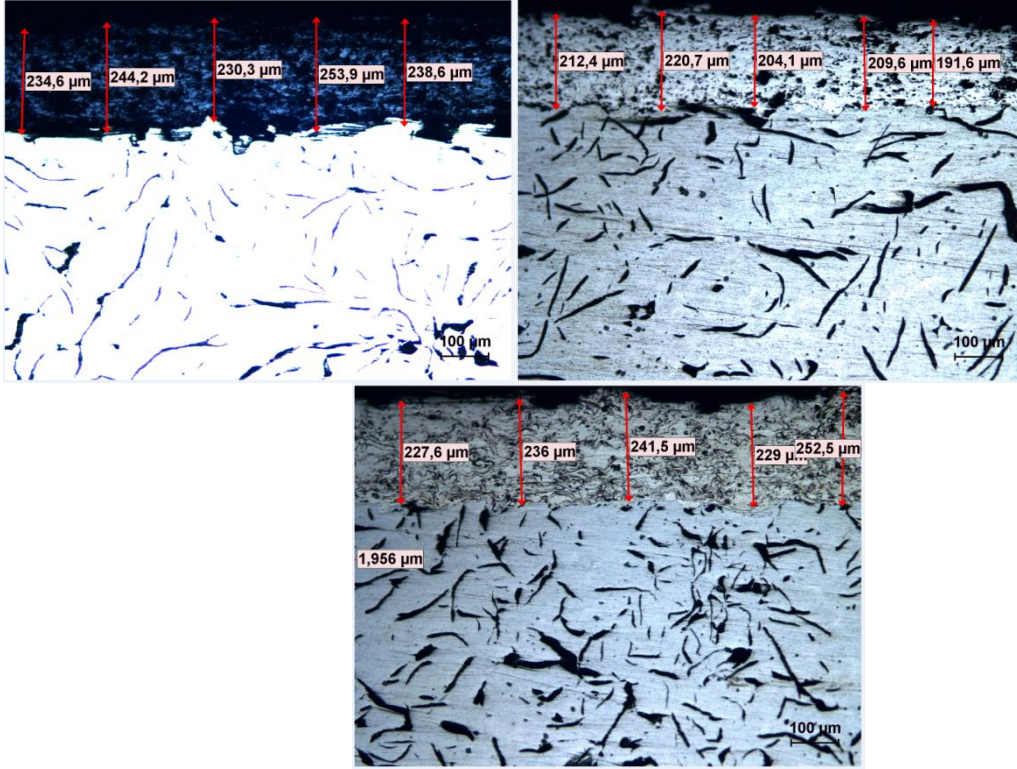
### 3.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Termal Sprey Kaplama yöntemiyle 200-300 µm arasında Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr, NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> kaplanmış ve kaplama işlemi uygulanmamış gri dökme demirden imal edilmiş olan silindir gömleği numuneleri metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Hazırlık aşamasında numunelerden taşla kesme yöntemiyle örnekler alınmış, bu örnekler sırasıyla 160, 240, 400, 800, 1200, 1600 ve 2000 zımpara



işlemlerine tabi tutulmuş ve son olarak çuhada parlatma işlemi uygulanmıştır. Numunelerin hazırlanmasının ardından optik mikroskopta inceleme işlemine geçilmiştir.

Şekil3.1.'de lamel grafitli gri dökme demir üzerine kaplama yapılmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde lamel grafitli dökme demirin A tipi grafit yapısına sahip olduğu görülmektedir. Sağladığı yüksek mekanik özellikler nedeniyle A tipi grafit dağılımı lamel grafitli dökme demirlerde istenen bir durumdur. Görüntüler aynı zamanda kaplama malzemesinin yapısı ve kaplama ana malzeme geçiş noktasını da gözlemlemeyi mümkün kılmıştır. Kaplama yüzeylerinin kısmen porozlu yapıda ve kaplama yapılarının yer yer boşluklar barındırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.1. Kaplanmış numunelerin x100 büyütmede optik mikroskop görüntüleri ve kaplama kalınlık ölçüleri

### 3.2. Sertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Sertlik ölçümleri için kaplama sertlik ölçümüne uygun bir yöntem olarak vickers yöntemi tercih edilmiştir. Vickers sertlik ölçüm cihazıyla her bir numunenin 5 kez sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen ortalama sertlik değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Numune sertlik ölçüm değerleri

Kaplama Malzemesi	Kaplanmamış Numune	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub> Kaplama	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr Kaplama	NiCr Kaplama
Sertlik (Vickers)	279	940	772	423

Çizelge 3.1.'den de anlaşıldığı üzere kaplama işlemi, kaplanmamış numuneye oranla çok daha sert yüzeyler elde edilebilmesine imkan sağlamıştır. Bu durum yüzey sertliğinin artışıyla beraber aşınma dayanımının pürüzlülük ve diğer mekanik özelliklere de bağlı olarak artabileceğinin göstergesidir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub> kaplama en sert yüzey elde edilmesini sağlarken Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr sertliği daha az bir yüzey, NiCr kaplama ise beklendiği üzere nispeten daha düşük bir yüzey sertliği sağlamıştır.

Bütün numunelerin yüzeyleri sırasıyla 160, 240, 400, 800, 1200 ve 2000 mesh aşındırıcılarla zımparalanmış ve çuhada parlatma işlemine tabi tutulduktan sonra yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 3.2.'de yüzey profilometresi ile yapılan her numune başına 3 farklı ölçüm ortalaması alınarak elde edilen Ra değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yüzey pürüzlülük değerleri

Kaplama Malzemesi	Kaplanmamış Numune	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub> Kaplama	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr Kaplama	NiCr Kaplama
Ra Değeri	0.08	0.35	0.74	0.16

Yüzey pürüzlülüğü aşındırıcı etkisiyle yüzeyden partikül kopmasına ve üç elemanlı yoğun kopmaların yaşanabileceği bir aşınma etkisine yol açabileceği için, yüksek yüzey pürüzlülüğü silindir gömleği malzemeleri çalışma yüzeylerinde istenmeyen bir durumdur. Tablodan da anlaşılacağı üzere, kaplama prosesinin ardından yapılan zımparalama ve parlatma işlemleri sonrası yüzey pürüzlülük değerleri NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama malzemeleri şeklinde sıralanmaktadır.

### 3.3. Aşınma Testleri

Dört farklı numune üzerinde tribometre yardımıyla lineer git gel hareketi geometrisine uygun olarak, aynı deney parametreleriyle aşınma deneyleri tatbik edilmiştir. Aşınma deneyleri akabinde yüzey profilometresi yardımıyla aşınma bölgesinin yüzey profili çıkarılmıştır. Deneyler neticesinde ortalama sürtünme katsayıları ve sürtünme kuvvetleri verileri bütün numuneler için elde edilmiştir.

Çizelge3.3. Aşınma deneyine tabi tutulan tüm numunelerin ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri

Parametre / Malzeme	Kaplamasız	NiCr	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> -NiCr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub>
Yüzey Prüzlülüğü (Ra)	0,08	0,16	0,74	0,35
Sertlik (HV)	279	423	772	940
Sürtünme Katsayısı(μs)	0,261	0,149	0,037	0,042
Aşınma Oranı (mm <sup>3</sup> /Nm)x10 <sup>-3</sup>	0,09	0,06	0,04	0,03

Çizelge 3.3.' te de görüldüğü gibi bütün kaplama malzemeleri kaplamasız numuneye göre daha düşük ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerlerine sahiptir. Aşınma oranlarını kıyasladığımızda kaplanmış malzemelerin kaplanmamış numuneye göre çok daha iyi performans göstermiş olduklarını görebiliriz. Aşınma deneyleri sonucu en düşük ortalama sürtünme katsayısı değerini Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama malzemesi vermiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub> kaplama malzemesi Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama malzemesine çok yakın bir ortalama sürtünme katsayısı değeri verirken kaplamasız malzemedan sonra en yüksek ortalama sürtünme katsayısı değerini NiCr kaplanmış malzeme vermiştir.

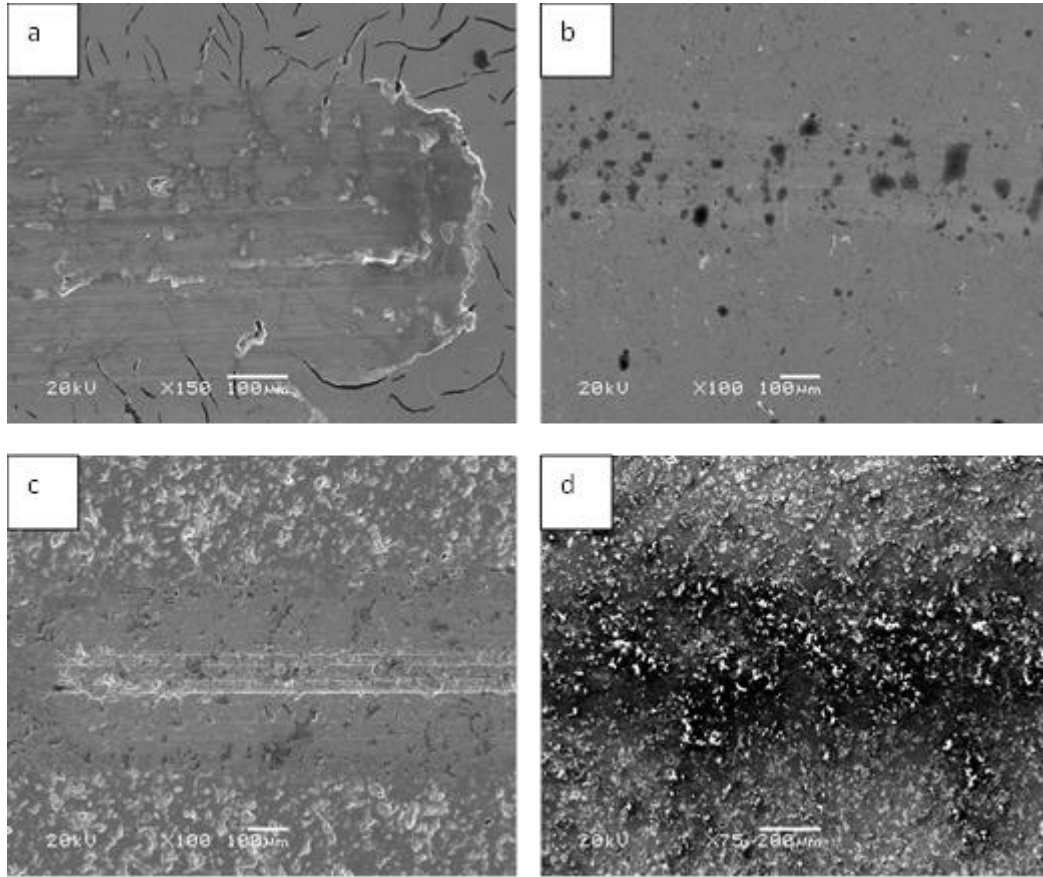
Aşınma oranları kıyaslandığında ise en düşük aşınma oranını Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub> kaplanmış malzemenin verdiği, daha sonra Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama malzemesinin, kaplanmamış malzemedan sonra en yüksek aşınma oranını ise NiCr kaplama malzemesinin verdiği görülmüştür. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama malzemesinin yüzey pürüzlülüğünün nispeten daha yüksek olması aşındırıcının yüzeyden partikül koparma ve aşınma mekanizmasına dahil etme olasılığını artırması aşınma oranı performansını olumsuz etkilemiş olabilir. Ayrıca sertlik değerleri kıyaslandığında, kaplama sertlik değerleri yükseldikçe aşınma oranının düştüğü, dolayısıyla aşınmaya karşı olan direncin yükseldiği görülmüştür.

Kaplanmış numunelerin kaplanmamış ana malzemeye göre aşınma dayanımlarındaki artış aşınan yüzeyin, kaplama prosesi aracılığıyla sertlik ve diğer mekanik özelliklerinin kaplanmamış numuneye göre çok daha fazla iyileştirilmiş olmasıyla açıklanabilir.

### 3.4. SEM Görüntü Analizleri

Yüzey profilinin ölçümü ve aşınma oranlarının hesaplanmasının ardından numuneler SEM görüntülü analizi ve EDS analizine tabi tutulmuştur. Analizler Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde JEOL JSM 5600 marka ve model SEM, EDS analiz cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

Bütün numunelerde aşınan bölgelerin aşınma mekanizmalarının yorumlanabilmesi ve aşınma gerçekleşen bölgelerde oluşabilecek kimyasal etkileşim ve bileşen farklılaşmalarını gözlemleyebilmek adına SEM görüntülü analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin aşınma izleri genel SEM görüntüsü:

a) kaplamasız numune, b) NiCr kaplama, c) Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplama, d) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub> kaplama

Şekil 3.2.'de kaplamasız NiCr kaplı, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplanmış ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- TiO<sub>2</sub> kaplanmış silindir gömleği numunelerinin aşınma deneylerinin ardından meydana gelen aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir.

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada Raylı Sistemler yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan bir ağır hizmet dizel motorunun silindir gömleğinin aşınma mekanizmaları irdelenerek, gömlek aşınma davranışlarını, yüzey özelliklerini iyileştirebilmek ve kaplama prosesinin gömlek revizyonu için uygunluğunu ortaya koyabilmek amaçlanmıştır.

Bu amaçla, silindir gömleğinden alınan numuneler termal sprey kaplama yöntemi kullanılarak Cr3C2-NiCr, NiCr, Al2O3- TiO2 kaplama malzemeleriyle kaplanmıştır. Kaplanan numuneler lineer geometride eşit şartlarda atmosferik ortamda aşınma testine tabi tutulmuştur.

Aşınma testleri neticesinde kaplanmış bütün numuneler kaplamasız ana malzemeye göre daha düşük sürtünme katsayısı ve daha az aşınma oranı vermişlerdir. En düşük sürtünme katsayısı değerini Cr3C2-NiCr kaplanmış numune, en düşük aşınma oranı değerini ise Al2O3- TiO2 kaplanmış numune vermiştir. NiCr kaplama malzemesiyle kaplanmış numune ise nispeten daha düşük sertlik ve mekanik özelliklere sahip olduğu için aşınma direnci bakımından diğer iki kaplama malzemesi kadar yüksek performans verememiştir. Mevcut deney şartlarında kaplama için en uygun malzemeler birbirlerine çok yakın ve çok düşük olarak sağladıkları aşınma oranı ve ortalama sürtünme katsayısı değerleriyle Al2O3- TiO2 Cr3C2-NiCr kaplama malzemeleridir.

Ayrıca bu çalışma laboratuvar ortamında hızlı ve nispeten az maliyetli bir şekilde silindir gömleği aşınma testi yapabilmeyi hedeflemiştir. Silindir gömleğinin servis ömrünü ve performansını arttırmak adına laboratuvar koşullarında az maliyetli ve kısa sürede, gerçeğe en yakın testler bizi doğru işlem için doğru malzemeyi kullanma konusunda mümkün olan en hızlı şekilde sonuca ulaştırabilecektir. Bu sayede doğru silindir gömleği malzemesi ya da yüzey özelliklerini geliştirme prosesini tercih edebilmek için oldukça yüksek maliyetli ve zaman alıcı olan uzun yol testleri yerine laboratuvar ortamında yapılacak testler yol testi aşamasında denenmeye değer ve elverişli olan kaplama malzemelerini belirlemenin temel prensibi olacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Bhushan, B., 2001, Modern Tribology Handbook, CRC Press LLC, p. 273-289
- [2] İzgiz, S., 2006, Silindir Gömleği Malzemeleri, Metalurji, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 144, s. 41-52
- [3] Stachowiak, G., Batchelor, A., 2005, Engineering Tribology, Elsevier Inc, 1-9, 501-571
- [4] Lakshminaranayan, P. A., Nayak, N. S., 2011, Critical Component Wear in Heavy Duty Engines, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, p. 3-8

# RAYLI SİSTEM UYGULAMALARIN ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN KULLANIM ALANLARI

Büşra DURMUŞ<sup>1</sup> \* Ece KALAY<sup>2\*</sup> İskender ÖZKUL<sup>3</sup> Murat YAKAR<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, e-mail: durmusbusra.01@gmail.com

<sup>2</sup> Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, e-mail: eecekalay@gmail.com

<sup>3</sup> Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

<sup>4</sup> Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

## Özet

Günümüzde teknolojik alanlardaki hızlı ilerlemeler ile birlikte yeni malzeme türleri araştırılmaya ve üretilmeye başlanmıştır. Bu malzemelerden biri de gün geçtikçe yeni özellikleri ortaya çıkan, gerçek şekline veya boyutuna geri dönebilme yeteneğine sahip şekil hafızalı alaşımlardır. Şekil hafızalı alaşımlar, tersinir katı hal faz dönüşüm özellikleri sebebiyle günümüzde ve yakın gelecekte mühendislik uygulamaları için önemli yere sahip ve kullanım alanları hızla genişleyen malzemelerdir. Bu çalışmada, öncelikle şekil hafızalı alaşımların yapıları, temel özellikleri ve genel kullanım yerleri araştırılmıştır. Sonrasında, şekil hafızalı alaşımların raylı sistem uygulamalarındaki güç aktarımı, elektrik iletim hatları ve elektrik kontrol sistemlerinde kullanılması üzerine araştırmalar derlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** şekil hafızalı alaşımlar, raylı sistemler

## Abstract

Nowadays, with the rapid advances in technological fields, new types of materials have begun to be investigated and produced. One of these materials is shape memory alloys that have the ability to return to their true shape or size, with new features emerging day by day. Shape memory alloys are materials that have an important place for engineering applications in the present and near future due to their reversible solid state phase transformation properties, and their use areas are expanding rapidly. In this study, structures of the shape memory alloys, basic properties and general usage places were investigated. Research on the use of shape memory alloys in power transmission, electrical transmission lines and electrical control systems in rail system applications has been compiled.

**Keywords:** shape memory alloy, railway system

## 1. Giriş

Dışarıdan uygulanan sıcaklık, basınç ve manyetik alan gibi etkilere karşı çeşitli özellikler gösteren bazı metal ve alaşımlar bu özellikleri sebebiyle teknolojide yaygın olarak tercih edilmektedir ve bu tür malzemeler akıllı malzemeler olarak adlandırılır [1]. Bu akıllı malzemelerden biri de günümüzde havacılık, otomotiv, medikal ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılan şekil hafızalı alaşımlardır. Bu malzemeler, tersinir katı faz dönüşüm özellikleri sayesinde gelecekte de mühendislik uygulamaları için önemli bir yere sahiptir [2].

Faz dönüşümleri ilk kez Au-Cd alaşımlarında 1932 yılında keşfedilmiş, daha sonra Greninger ve Mooradian tarafından 1938'de bir Cu-Zn alaşımında sıcaklığının artması ve azalması ile martensitik fazın oluşması ve yok olması görülmüştür. Ardından 1951 yılında şekil hafıza etkisi eğilmiş Au-Cd

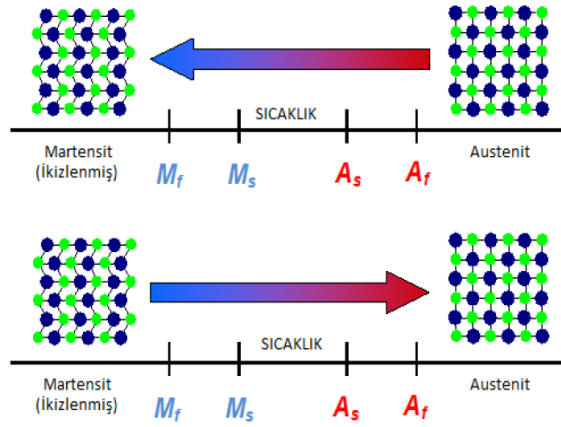
alaşımli bir çubukta görülmüştür. 1960'larda Beuhler ve arkadaşlarının tesadüfen bir Ni-Ti alaşımında şekil hafıza etkisini fark etmeleriyle şekil hafızalı alaşımların önemi anlaşılmıştır. O zamandan beri şekil hafızalı alaşımlara birçok mühendislik, teknoloji ve ticari alandaki talepler artmaktadır. Düşük maliyetli Fe-Mn-Si, Cu-Zn-Al ve Cu-Al-Ni gibi demir bazlı ve bakır bazlı şekil hafızalı alaşımların ticari olarak kullanımı mevcut olsa da bu malzemelerin kararsızlıkları ve zayıf mekanik performansları, Ni-Ti tabanlı alaşımların daha fazla tercih edilmesine sebep olmaktadır. Uygulamada şekil hafıza etkisi gösteren pek çok alaşım olduğu halde, yüksek oranda geri kazanılabilir gerinim sergilemeleri, termo mekanik hareket mekanizmalarındaki basitlik, yüksek güç/ağırlık oranına sahip olmaları, uzun ısıl çevrim ömürlerinde şekil hafıza özelliklerini korumaları, yüksek elektrik ve korozyon direnci gibi genel özelliklerinin diğerlerinden üstün olması, şekil hafızalı alaşımlar içinde Ni-Ti alaşımlarını bilimsel ve ticari alanda en çok ilgi çeken alaşım sistemi yapmıştır. Bahsedilen alaşımların özellik karşılaştırması Çizelge 1'de gösterilmektedir [3].

Çizelge 1. NiTi ve bakır esaslı şekil hafızalı alaşımların karşılaştırılması

Özellik	Ni-Ti	Cu-Zn-Al	Cu-Al-Ni
Dönüşüm Sıcaklık Aralığı (°C)	-50 ile +100 arası	-200 ile +100 arası	-150 ile +200 arası
Histerisis	30	15	20
Maksimum Şekil Hafızalı Uzama(%)	8	4	6
Yorulma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	800-1000	400-700	700-800
Yorulma Sınırında Uygulanabilir	150	75	100
Yorulma ömrü	>100000	10000	5000
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	6,45	7,9	7,15
Elektrik Direnci (μ.Ω.cm)	70-100	7-12	10-14
Elastisite Modülü (Gpa)	30-80	70-100	80-100
Korozyon Direnci	Çok Yüksek	Düşük	Yüksek

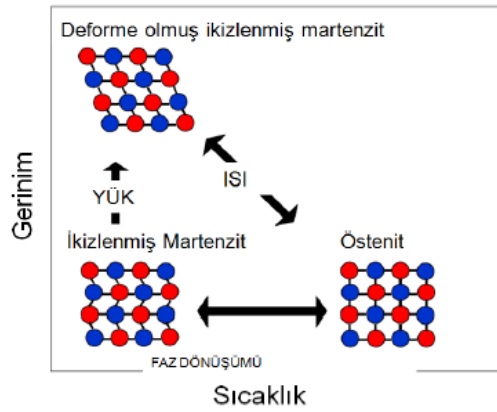
## 2. Şekil Hafızalı Alaşımlara Genel Bakış

Şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA), sıcaklık veya manyetik alana bağımlı olarak iki dönüşüm fazı arasında bir şekil ezberleme işlemine tabii tutulduğunda orijinal formlarına dönebilen metal alaşım grubudur. Bu dönüşüm olayı şekil hafıza etkisi olarak adlandırılmaktadır. ŞHA'lar, üç farklı kristal yapıları ve altı olası dönüşüm ile iki farklı fazda bulunabilir. Bir ŞHA ısıtıldığında martensit fazdan östenit fazına dönüşmeye başlar. Östenit başlangıç sıcaklığı ( $A_s$ ), bu dönüşümün başladığı sıcaklıktır ve bitiş sıcaklığı östenit bitiş sıcaklığı ( $A_f$ ) olarak adlandırılır. Soğutma işlemi sırasında ise dönüşüm martensit başlangıç sıcaklığında ( $M_s$ ) martensite dönüşmeye başlar ve martensit bitiş sıcaklığına ( $M_f$ ) ulaştığında tamamlanır. Martensitin artık gerilim oluşturamayacağı en yüksek sıcaklık olan  $M_d$  sıcaklığının üzerine çıkıldığında ŞHA'lar sıradan metalik malzemeler gibi kalıcı şekilde deforme olurlar. Şekil 1'de sıcaklık etkisiyle gerçekleşen faz dönüşümleri şematik olarak gösterilmektedir [4].



Şekil 1. Sıcaklık etkisiyle gerçekleşen östenit- martensit faz dönüşümünün şematik gösterimi [5]

Şekil hafıza etkisi, tek yönlü, çift yönlü ve süperelastiklik olmak üzere üç kategoriye ayrılır. Tek yönlü şekil hafıza etkisi, harici kuvvetin etkisi kaldırıldığında deforme olmuş durum muhafaza edilerek ısıtma sonrasında orijinal şekle geri dönülmesi olayıdır. Çift yönlü şekil hafıza etkisinde ise tek yönlüye ek olarak hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda şekil hatırlama olayı gerçekleşir. Hızlı bozulma özelliğinden dolayı ticari olarak daha güvenilir ve ekonomik çözümler sağlayan tek yönlü şekil hafıza etkisine sahip malzemeler tercih edilmektedir. Şekil 2'de şekil hafıza mekanizması şematik olarak gösterilmektedir [6].



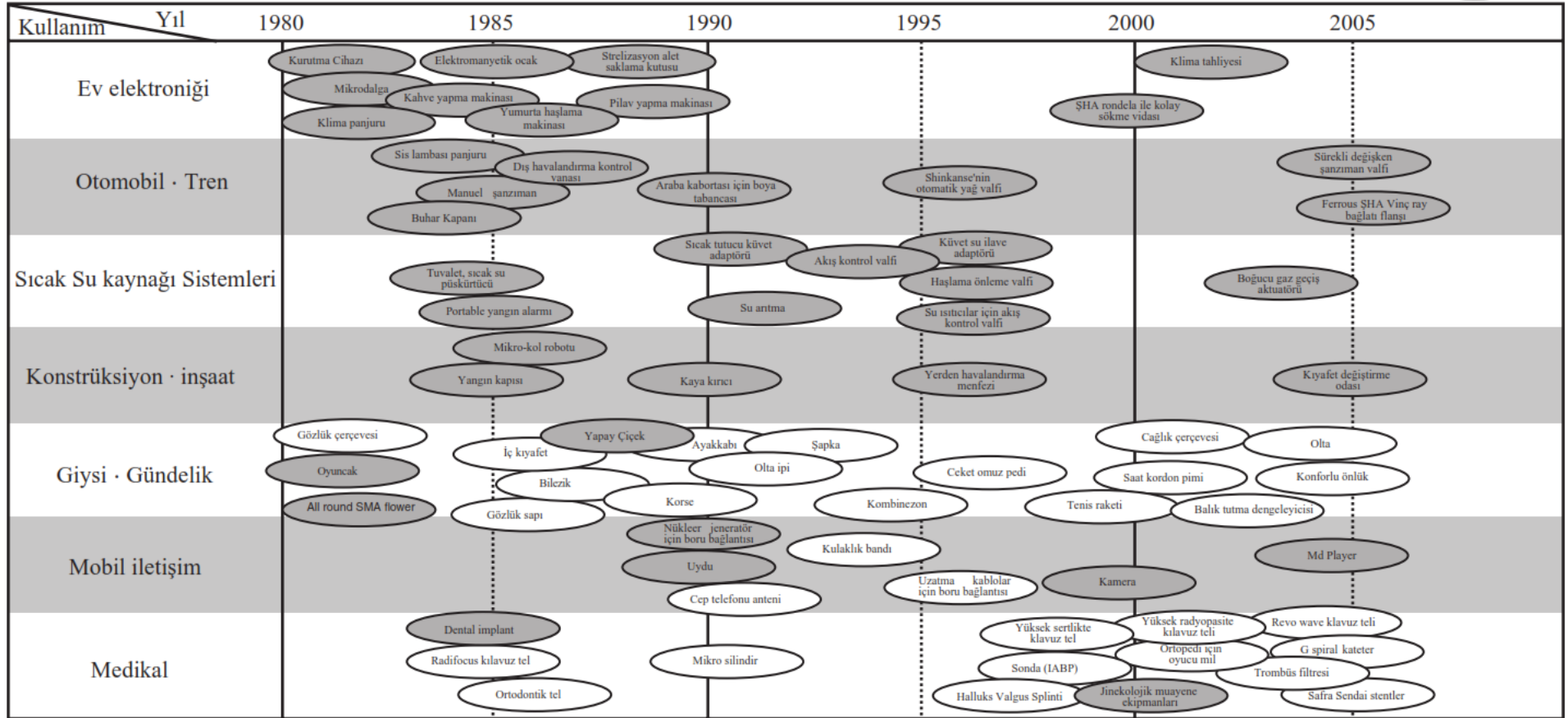
Şekil 2. Şekil Hafıza Olayı ve Mekanizması [6]

Süperelastiklik özelliği, şekil hafızalı alaşımların yüksek deformasyondan sonra bile dışardan herhangi bir müdahale olmaksızın, oluşan deformasyonu geri kazanabilmesidir. Alaşım östenit bitiş sıcaklığı üzerindeyken alaşıma kuvvet uygulanması durumunda martensitik dönüşüm gerçekleşir ve alaşım deformasyona uğrar. Yükün kaldırılması durumunda alaşım tekrar östenit fazına geçer ve sanki hiç deformasyona uğramamış gibi elastik şekilde ilk haline döner. Bu özellik ile alaşımlarda kalıcı şekil değişimleri olmadan yaklaşık %8 birim şekil değişiminde süperelastik olarak geri kazanılır. Süperelastik davranışta faz dönüşümünü sağlayan itici güç kuvvet, şekil hafıza etkisinde ise faz dönüşümünün itici gücü sıcaklıktır [7].

### **3. Raylı sistem Uygulamalarında Şekil Hafızalı Alaşım lar**

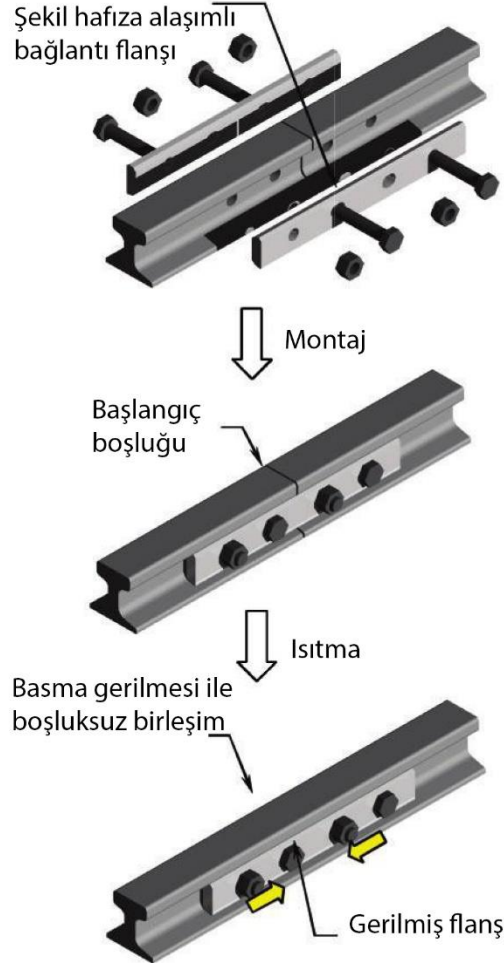
1960'lı yıllardan beri farklı kullanım alanlarında kendisine yer bulmuş olan şekil hafızalı alaşım lar, sağlık alanından uzay sanayisine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır [8]. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan ekipmanlar sadece bir alana hitap etmediğinden dolayı aynı ürün farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Örneğ in içten yanmalı motorlar alanındaki bir geliş me sadece otomotiv sektörünü ilgilendirmeyip denizcilik ve raylı ulaşım sektörünü de çok yakından ilgilendirmektedir. Bu doğrultu da şekil hafızalı alaşım lı malzemelerde ekipman geliştirmesinde genel olarak ana malzeme tipi değil yardımcı makine elemanı olarak yer almaktadır. Raylı sistem uygulamalarında ister yük ister insan taşımacılığı olsun konforu artırmak maksatlı birçok uygulamada şekil hafızalı alaşım lar yer almaktadır. Bu konu hakkında Japonya'da 1980'lerden 2005'li yıllara kadar yapılan farklı alanlarda çalışmalar Şekil 3'de sunulmuştur.





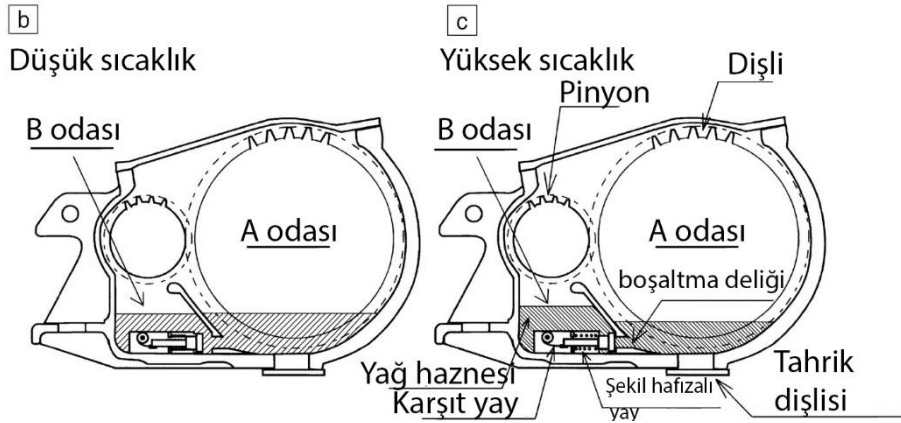
Şekil 3. Japonya'da ŞHA'ların kullanım tarihçesi [9]

Bu kapsamda tren raylarının montajlarında kullanılmak üzere Maruyama ve arkadaşlarının [10] Fe-Mn-Si-Cr şekil hafızalı alaşımını kullanarak tren raylarının birleşme bölgesinde boşlukları almak için bağlantı flanşı geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın kullanımı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Tren raylarının birleşiminde kullanılan şekil hafıza alaşımli bağlantı flanşı [10]

Bir diğer çalışmada Japonya'daki Shinkansen hızlı trenlerinde şekil hafızalı alaşım kullanılarak tasarlanan otomatik yağ seviyesi ayarlama parçasının kullanılmasıdır. Shinkansen hızlı trenlerinde kullanılan dişli kutusu Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu dişli kutusunda, yüksek sürüş hızlarına ulaşıldığında, kutu içindeki sıcaklık artışının engellenmesi kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, dişli kutusu iki odaya ayrılmıştır ve odaları birbirine bağlayan bir boşaltma deliği vardır. Tren yüksek hızlarda seyrettiğinde yağ sıcaklığı yükseleceği için, ana şafttaki yağ seviyesi, yağda aşırı türbülansın önlenmesi için düşürülür, böylece sıcaklık artışı azaltılmış olur; sıcaklık düşük olduğunda, Şekil 5(b)'de gösterildiği gibi yağ seviyesi daha yüksek olabilir. Şekil hafıza alaşımli helisel yayı ve kayış tipi ön gerilimli yaydan oluşan otomatik yağ seviyesi ayarlama parçası kullanılarak Şekil 5(a)'da gösterildiği gibi şekil hafıza alaşımli yay, yağın sıcaklığına bağlı olarak by-pass deliğini açma-kapama görevi yapacaktır ve azalan yağ seviyesi ile birlikte şaftın hızlı ısınması engellenecektir. Bu parça sayesinde dişli kutusu, sıcaklığı, başka bir cihaz olmadan 110°C'ye kıyasla maksimum 80°C'de tutmak mümkündür [7].



Şekil 5. Otomatik yağ seviyesi ayarlama parçasının kullanıldığı dişli kutusu [7]

#### 4. Sonuç

Akıllı malzeme türlerinden birisi olan şekil hafızalı alaşımlar, mikro yapılarında gerçekleşen katı hal faz dönüşüm özellikleri sayesinde otomotiv, havacılık, uzay, tıp gibi birçok farklı alanda kullanılmakta ve araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Şekil değişimin aktüatör uygulamaları için yüksek özellik göstermesi birçok uygulama için cazip hale gelmiştir. Bu sayede uygarlığın konforunu artırmak üzere gelişen teknolojilerde kendisine yer bulmuştur. Raylı sistemlerde olduğu gibi birçok sorunlu konular gün geçtikçe çözüme kavuşacaktır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Kaya, M., et al., Şekil hafızalı alaşımlarda martensitik faz dönüşümü ve şekil hafıza mekanizması. 2016.
- [2] Emre, A. and T. Oktay, Havacılık Ve Uzay Uygulamalarında Şekil Hafızalı Alaşımlar. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), 335-349, 2018.
- [3] Jani, J.M., et al., A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. Materials & Design (1980-2015), 561078-1113, 2014.
- [4] Lagoudas, D.C., Shape memory alloys: modeling and engineering applications, Springer Science & Business Media, 2008.
- [5] ÇAKMAK, Ö. and M. KAYA, Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 541-555, 2017.

- [6] Huang, W. and W. Toh, Training two-way shape memory alloy by reheat treatment. *Journal of materials science letters*, 19(17), 1549-1550, 2000.
- [7] Otsuka, K. and T. Kakeshita, Science and technology of shape-memory alloys: new developments. *mrs bulletin*, 27(2), 91-100, 2002.
- [8] Furuya, Y., Design and material evaluation of shape memory composites. *International Journal of Fatigue*, 10(19), 724, 1997.
- [9] Yamauchi, K., et al., Shape memory and superelastic alloys: Applications and technologies, ABD: Elsevier, 2011.
- [10] Maruyama, T., et al., Innovation in producing crane rail fishplate using Fe–Mn–Si–Cr based shape memory alloy. *Materials Science and Technology*, 24(8), 908-912, 2008.

# RAYLI SİSTEM TAŞITLARINDA ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ İKLİMLENDİRME ÜNİTELERİNDE KULLANILMASI

Ekrem Sabır GEZER<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: ekremgezer@karabuk.edu.tr

## Özet

Enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen yıl %4-%8 oranında artmaktadır. Enerji kaynaklarının azaldığı günümüzde enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve alternatif enerji kaynaklarının kullanım alanlarının genişlemesi büyük önem kazanmıştır.

Ulaştırma sektörü, ülkemizde enerji tüketimi açısından yaklaşık %25 lik paya sahip büyük bir enerji sektörüdür. Ulaştırmadaki enerji tüketiminin %90 dan fazlası karayolu ulaşımda gerçekleşmekte ve karayolundaki enerji tüketiminin de tamamını petrol ürünleri oluşturmaktadır. 2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamınca Türkiye'nin demiryolu yük taşımacılığındaki payının %15'in, yolcu taşımacılığındaki payının da %10'un üzerine çıkarılması hedeflenmektedir. Demiryolu taşımacılığının ulaşımdaki hacminin artmasıyla enerji tüketimindeki payının da artması doğaldır.

Karayolu ulaşımda, kullanılan fosil yakıt teknolojilerinden uzaklaşma çalışmalarının arttığı bugünlerde raylı sistem taşıtlarının enerji tüketimini alternatif enerji kaynaklarından sağlaması kaçınılmaz bir durum olmuştur. Hali hazırda hareket enerjisini güneş panellerinden alan trenler üretilmiş, geliştirilmeye devam etmektedir. Demiryolu taşımacılığında hareket için gerekli olan enerjiye ilave olarak iklimlendirme, aydınlatma cihazların ve bunların otomasyonunun da enerji ihtiyacı vardır. Raylı sistem taşıtlarında konfor şartlarının iyileştirilmesinin sonucu olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Konfor sağlayan sistemlerin enerjisinin yenilenebilir, temiz enerji kaynaklarından sağlanması durumunda ulaşımda enerji verimliliği artacaktır.

Yapılacak olan çalışmada raylı sistem taşıtlarında bulunan iklimlendirme sistemlerinin enerji tüketiminin alternatif enerji kaynaklarından sağlanmasının uygulanabilirliği ve enerji tasarruf oranı incelenecektir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji, iklimlendirme, raylı sistem taşıtları

# RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA VAGON DOLULUK İKAZ SİSTEMİ

Anıl RIDVANOĞULLARI<sup>1\*</sup>, \*Ahmet KÜÇÜKBAŞAK<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Karabük, Türkiye, e-mail: ridvanogullari.anil@gmail.com

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Müh., Karabük, Türkiye, e-mail: \*ahmetkbasak@gmail.com,

## Özet

Kentiçi yolcu taşımacılığında raylı sistemler, güvenlik faktörünün yüksek olması nedeniyle ayakta yolcu taşımacılığına izin verilen bir toplu taşıma metodudur. Fakat ayakta yolcu taşımacılığına izin verilmesi, metrekareye düşen yolcu sayısını arttırmakta ve yoğun taşımacılık yapılan şehirlerde veya taşımacılıkta yoğun saatler olarak adlandırılan pik saat uygulamalarında konfor düzeyini aşağılara çekmektedir. Ayrıca yoğun taşımacılığın sürekli yapılması, raylı sistem araçlarının maksimum seviyede çalışmasına ve enerji tüketimin artmasıyla beraber araç bakımlarının daha kısa sürelerde yapılmasını oluşturabilmektedir. Yapılacak bir ikaz sistemiyle, yolcu vagon doluluğuna bir sınır getirilmesi ve konforun artırılması amaçlanmıştır.

Sistemin kurulması prototip olarak gerçekleştirilecek ve sistem Arduino nano, ağırlık sensörü, SD kart modülü, led lamba, ikaz hoparlöründen meydana gelecektir. Ağırlık sensörü yardımı ile vagondaki doluluk oranı tespit edilerek sisteme gönderilecek ve alınan veriler doğrultusunda sistem, verilerin belirli aralıklarda olup olmadığını tespit edecektir. Eğer toplam ağırlık belirli aralıklarda ise mevcut vagon üzerindeki lamba normal olduğuna dair işaret verecek, belirli aralıklarda değil ise sistem sesli ikaz sistemini çalışacaktır. Böylelikle dolu vagona binmek isteyen yolcuların diğer vagona yönelmeleri amaçlanmakta ve daha konforlu bir yolculuk yapmaları hedeflenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kentiçi raylı sistemler, vagon doluluk oranı, yolcu yönlendirme sistemi, Arduino.

## Abstract

Railway systems for urban passenger transportation are a public transportation method that allows passengers to be carried on the ground because of the high safety factor. However, allowing passengers on the ground increases the number of passengers per square meter and can impair the comfort level in peak hours applications, which are called intense hours in busy cities or transportation. In addition, the continuous construction of heavy transportation can lead to the operation of the rail system vehicles at the maximum level and the vehicle maintenance to be carried out in a shorter time with the increase of energy consumption. With a warning system, it is aimed to bring a limit to the occupancy of passenger wagons and to increase comfort.

Installation of the system will be carried out as a prototype, and the system comes with Arduino nano, weight sensor, SD card module, LED lamp, warning speaker. With the help of the weight sensor, the occupancy rate at the top will be determined and sent to the system and the system will determine whether the data is within a certain interval in the direction of the received data. If the total weight is within a certain range, the lamp on the current wagon will indicate that it is normal, and if not, the system will operate the audible warning system. In this way, it is aimed that passengers who want to ride full wagons will be directed to other wagons and aim to make a more comfortable journey.

**Keywords:** Urban rail systems, wagon occupancy rate, passenger guidance system, Arduino.

## 1. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

Gelişmiş ülkelerin büyük kentlerinde, 19. yüzyılın sonlarından başlayan raylı sistem ağlarının genişletilme çabaları, günümüzde de sürmektedir. Bu çabalar, 1973-1974 yıllarındaki enerji bunalımı ve 1990 yıllarında sonra çevreye olan duyarlılığın artması nedeniyle hızlanmıştır. 1970'li yıllarda, gelişmiş ülkelerde, nüfusu 300.000'in altında hatta 100.000 dolayında olan kentlerde bile (Almanya'da Ulm, Würzburg, Mainz) raylı sistem uygulaması yapılmıştır. Ancak bu uygulamalar genel eğilimi yansıtmamaktadır. Dünyada 1970'li yıllarda hızlanan kentsel raylı sistem geliştirme çabaları son yirmi yılda ülkemize yansımıştır. Aksaray – Esenler raylı sistemi, 1989 yılında işletmeye açılarak yeni bir gelişmenin başlangıcını oluşturmuştur. 2006 yılı sonu itibarıyla, Ankara, Konya, Bursa, İzmir, Eskişehir ve Antalya illerimizde raylı sistemler inşa edilerek işletmeye açılmışlardır. Bu yatırımların dışında pek çok kentimizde de raylı sistemlerin inşaatı ve planlanması çalışmaları sürdürülmektedir. (ÖĞÜT & EVREN, 2006, s. 2)

Son dönemde raylı sistem kavramı değişmiş, daha doğru deyişle genişlemiş ve esnek bir yapıya kavuşmuştur. Bu gelişim tramvay ve metro arasındaki kapasite yelpazesini dolduran hızlı tramvay, hafif metro, yarı metro, ön metro kavramlarıyla tanımlanan yeni raylı sistemlere dayanmaktadır. Bu yeni sistemler, gerektiğinde diğer trafikle birlikte kent caddelerini paylaşan, koşullara göre değişik biçimlerde ayrılmış yollardan veya tünellerden yararlanan, talebe göre kapasitenin artırılmasını, dolayısıyla yatırımın aşamalı biçimde gerçekleştirilmesini sağlayan, bu özellikleriyle de kentsel raylı sistemlere geniş olanaklar kazandıran sistemlerdir. Tramvayla metro arasındaki bu sistemler, metro aşamasıyla sonlanma özelliğine de sahip bulunmaktadır. (ÖĞÜT & EVREN, 2006, s. 3)

## 2. AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

Akıllı Ulaşım Sistemleri(AUS); seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yol kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin artırılması, enerji verimliliği sağlanarak ülke ekonomisine katkı sağlamak ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen kullanıcı-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile izleme, ölçme, analiz ve kontrol içeren sistemlerdir. Akıllı Ulaşım Sistemleri ulaşımında çevresel etkileri azaltacak şekilde hareketliliği ve güvenliği artırarak ulaşımı destekleyen gelişmiş bilgi ve iletişim teknoloji uygulamaları olarak tanımlanabilir. Akıllı ulaşım sistemleri; karayolu ve demiryolu, araç, sürücü, altyapı ve diğer ilgili bileşenlerin bilgi ve iletişim teknolojileriyle donatılarak, verimli ve güvenli biçimde işletilmesini ve kullanılmasını sağlayan sistemlerdir. Akıllı Ulaşım Sistemleri üzerine yapılan araştırmaların hedefi ulusal, çok modülü ulaşım sistemlerini geliştirmektir. Bu kapsamda ele alınan konular ise; her türlü taşıtın birbirleriyle, altyapı ile ve cihazlarla bağlanabilen bir ulaşım ortamı oluşturması ve topluma ulaşım hizmetini sunarken güvenliği, hareketliliği ve çevresel performansı maksimize edecek teknolojileri geliştirmektir. (<http://hgm.ubak.gov.tr/tr/sayfa/49>, 2018, s. 1)

## 3. RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA VAGON DOLULUK İKAZ SİSTEMİ

### 3.1. Proje Kapsamında Kullanılmış Sensör Ve Devre Elemanları

Projemiz kapsamında;

- Arduino Nano 328
- Arduino mikro sd kart modülü
- Redüktörsüz 12V DC motor
- Mesafe Sensörü
- Load sensor (Ağırlık Sensörü)
- Load cell amplifier hx711

Yukarıda belirtilen sensör ve devre elemanları kullanılacaktır.

### 3.2. Proje Üzerinde Yük Hesaplamaları Ve Detaylı Bilgiler

Sistemin kurulması prototip olarak gerçekleştirilecek ve sistem Arduino nano, ağırlık sensörü, SD kart modülü, led lamba, ikaz hoparlöründen meydana gelmektedir. Ağırlık sensörü yardımı ile vagondaki doluluk oranı tespit edilerek sisteme gönderilecek ve alınan veriler doğrultusunda sistem, verilerin belirli aralıklarda olup olmadığını tespit edecektir. Eğer belirli aralıklarda ise mevcut vagon üzerindeki lamba normal olduğuna dair işaret verecek, belirli aralıklarda değil ise sistem sesli ikaz sistemini çalışacaktır.

Raylı sistemler konforlu yolculuk parametresi göz önüne alınarak metrekaşe başı yolcu sayısı 4 olduğu takdirde sistem rahat, 6 olduğu takdirde sistem normal, 8 ve üstü yolcu sayısı olduğu takdirde sistem dolu uyarısı verecektir.

Ortalama bir insan yükü 800N olarak belirlenmiştir. 25m<sup>2</sup> 'lik vagon genişliğine sahip raylı sistem aracına ait yolcu kapasitesi hesaplamaları aşağıda belirtilmiştir;

- Koltuk ikili = 400mm\*950mm == 0,38 m<sup>2</sup> 10 adet ikili = 3,8 m<sup>2</sup>
- Koltuk tekli = 400mm\*475mm == 0,19 m<sup>2</sup> 8adet tekli = 1,52 m<sup>2</sup>
- Toplam işgal edilen alan = 5.32 m<sup>2</sup>
- Kalan alan 25m<sup>2</sup>-5.32m<sup>2</sup>= 19.68 m<sup>2</sup>
  
- Konforlu seyahat parametresi m<sup>2</sup> başı 4 kişiden = 19.68\*4= 78 kişi, toplam yolcu 78+28=106 kişi
- Konforlu seyahat parametresi m<sup>2</sup> başı 6 kişiden = 19.68\*6= 118 kişi, toplam yolcu 118+28=146 kişi
- Konforlu seyahat parametresi m<sup>2</sup> başı 8 kişiden = 19.68\*8= 157 kişi, toplam yolcu 157+28=185 kişi

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda vagona binen yük 106.800= 84800N olduğu zaman sistem rahat bildirisi verecektir.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda vagona binen yük 146.800= 116800N olduğu zaman sistem normal bildirisi verecektir.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda vagona binen yük 185.800= 148000N olduğu zaman sistem dolu bildirisi verecektir ve binecek yolcular için sesli yönlendirme işlemine başlayacaktır.

### 3.3. Proje Kapsamında Faydalandığımız Kodlar

Kodlamalar aşağıdaki gibi olup "Arduino" programında yazılarak elde edilmiştir.

```
#include "HX711.h"
#define calibration_factor -7050.0
#define DOUT 3
#define CLK 2
const int yled=4;
const int kled=5;
const int mled=6;
int agirlik;

HX711 scale(DOUT, CLK);
#include <SD.h>
#include <TMRpcm.h>
#define SD_ChipSelectPin 7
TMRpcm tmrpcm;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711 agirlik olcme baslatiliyor");

  scale.set_scale(calibration_factor);
  scale.tare();
  Serial.println("okunan deger:");
```



```

pinMode( kled , OUTPUT);
pinMode( yled , OUTPUT);
pinMode( mled , OUTPUT);

tmrpcm.speakerPin = 9;

if (!SD.begin(SD_ChipSelectPin)) {
  return;
}
tmrpcm.setVolume(6);
}
void loop() {
  Serial.print("okunan deger: ");
  Serial.print(scale.get_units(), 1);
  Serial.print(" kg");
  Serial.println();
  agirlik=scale.get_units();
  if(agirlik>=10)
  { digitalWrite(kled , HIGH);
    digitalWrite(yled , LOW);
    digitalWrite(mled , LOW);
    tmrpcm.play("deneme.wav");
    delay(4500);
  }
  if(agirlik>5 && agirlik<10)
  { digitalWrite(yled , HIGH);
    digitalWrite(mled , LOW);
    digitalWrite(kled , LOW);
  }
  if(agirlik<=5)
  { digitalWrite(mled , HIGH);
    digitalWrite(kled , LOW);
    digitalWrite(yled , LOW);
  }
}

```

```

#include "HX711.h"

#define calibration_factor -7050.0
#define DOUT 3
#define CLK 2
const int yled=4;
const int kled=5;
const int mled=6;

int agirlik;

HX711 scale(DOUT, CLK);

#include <SD.h>
#include <TMRpcm.h>

#define SD_ChipSelectPin 7

TMRpcm tmrpcm;

```

Şekil 1. Kodlama Giriş Bölümü

```

void setup() {

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711 agirlik olcme baslatiliyor");

  scale.set_scale(calibration_factor);
  scale.tare();

  Serial.println("okunan deger:");

  pinMode( kled , OUTPUT);
  pinMode( yled , OUTPUT);
  pinMode( mled , OUTPUT);

  tmrpcm.speakerPin = 9;

  if (!SD.begin(SD_ChipSelectPin)) {

    return;
  }

  tmrpcm.setVolume(6);
}

```

Şekil 2. Kodlama Void Setup Bölümü

```
void loop() {  
  Serial.print("okunan deger: ");  
  Serial.print(scale.get_units(), 1);  
  Serial.print(" kg");  
  Serial.println();  
  
  agirlik=scale.get_units();  
  
  if(agirlik>=10)  
  { digitalWrite(kled , HIGH);  
    digitalWrite(yled , LOW);  
    digitalWrite(mled , LOW);  
  
    tmrpcm.play("deneme.wav");  
    delay(4500);  
  }  
  
  if(agirlik>5 && agirlik<10)  
  { digitalWrite(yled , HIGH);  
    digitalWrite(mled , LOW);  
    digitalWrite(kled , LOW);  
  }  
  
  if(agirlik<=5)  
  { digitalWrite(mled , HIGH);  
    digitalWrite(kled , LOW);  
    digitalWrite(yled , LOW);  
  }  
}
```

Şekil 3. Kodlama Void Loop Bölümü

#### 4. SONUÇ

Bu sistemin uygulanacağı kent içi raylı sistem araçları ile seyahat edecek yolcuların bu esnadaki konfor seviyelerinin üst seviyede olması amaçlanarak tasarım yapılmıştır. Bu sistem sayesinde işletme yönünden konforun optimum seviyeye çıkarılması ve yolcular tarafından işletmeye karşı güven ve saygı duygusu beslenmesi planlanmıştır.

Sistemin çalışmasıyla birlikte yolculardan alınan iyi tepkiler ve konforlu seyahatin verdiği güven duygusu zamanla hem işletmede hem toplu taşımada iyileşme olanakları sağlayacaktır. Ayrıca aşırı doluluk sonucu araca verilen hasar azalacak ve planlanan bakım sıklığının azalacağı düşünülmektedir. Böylece işletme tarafından sağlanan raylı sistem hizmetinin daha kaliteli hale getirilmesi planlanmaktadır.

#### KAYNAKÇA

- [1] <http://hgm.ubak.gov.tr/tr/sayfa/49>. (2018, 05 27). Retrieved from <http://hgm.ubak.gov.tr/tr/sayfa/49>
- [2] ÖĞÜT, K., & EVREN, G. (2006). TÜRKİYE'DE KENTSEL RAYLI SİSTEMLERİN GEREKLİLİĞİ VE UYGULAMADA DİKKAT EDİLECEK KONULAR. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı.

# DEMİRYOLLARINDA BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPININ KARŞILAŞTIRILMASI

M. Hüseyin ÇETİN<sup>1\*</sup>, Anıl RIDVANOĞULLARI<sup>2</sup>, Sedef CAN<sup>3</sup>, Merve TEKGÖZ<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük, Türkiye, e-mail: hccetin@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Programı, 78050 Karabük, Türkiye, e-mail: ridvanogullari.anil@gmail.com

<sup>3</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Programı, 78050 Karabük, Türkiye, e-mail: sdfcn96@gmail.com, tekgozmerve.96@gmail.com

## Özet

Demiryolu, altyapı ve üstyapı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Hat üstyapısı; ray, travers, bağlantı elemanları ve balastı bulunduran (balastlı üstyapı, ballasted track) ya da bulundurmeyen (balastsız üstyapı, slab track) tabaka gibi elemanlarından oluşur. Üstyapı, demiryolu araçlarından gelen statik ve dinamik kuvvetlerin büyük bir kısmının sönmüleyerek altyapıya aktarır. Bir demiryolunda üstyapının balastlı veya balastsız olması; montaj süresi, maliyet ve talep açısından farklılıklar gösterebilmektedir.

Bu çalışmada, üstyapının balastlı veya balastsız olmasıyla sağlanan avantaj, dezavantaj ve maliyetler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, demiryolu hat yapıları tanıtılıp, farklı ülkelerin demiryolu özelliklerinin bulunduğu tablolara yer verilmiş, demiryolu üstyapı tiplerinin yola uyguladığı kuvvet etkilerinden bahsedilip demiryolu üstyapı tiplerinin karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Üstyapı, demiryolu hattı, balastlı ve balastsız üstyapı, karşılaştırma.

## Abstract

Railway track includes two layers named infrastructure and superstructure. Track superstructure is shaped with several elements such as rails, sleepers, fasteners and carrying layers with ballasts and slab layers. Superstructure carries and absorbs static and dynamic forces, so transfers them into infrastructure. A railway line including ballasted or slab track also reflects various properties such as installing duration, cost and market demand.

In this study, advantages and disadvantages of superstructure with ballasted and slab track application are compared. For this purpose, railway elements and their duties are presented, various track applications examined by using tables, and different superstructure characteristics impacting upon track forces are evaluated. Finally results received by comparison are summarized.

**Keywords:** Superstructure, railway track, ballasted and slab track, comparison

## 1. GİRİŞ

Balast terimi “bir gemiyi stabilize etmek için kullanılan taşlar” olarak bir denizcilik teriminden doğmuştur. Demiryolunda kullanılan balast ise; üstyapıya elastikiyet kazandırmak, traverslerden gelen basıncı platforma iletmek, platformu don etkisinden korumak, yağmur ve kar sularını süzmek gibi görevleri olan genellikle, 30 – 60 mm ebadında, gelişigüzel yüzeyli, kırılmış sert taşlardan meydana gelmektedir. Balast malzemesi bazalt, granit, kuvarsit, diyobaz gibi kayalardan üretilir. Balastın travers altında kaymaması için balast keskin köşeli ve kübik olmalıdır. Balast aşınmaya karşı dayanıklı ve homojen olmalı ve yola konmadan önce (özellikle tünellerde) yıkanarak temizlenmelidir.

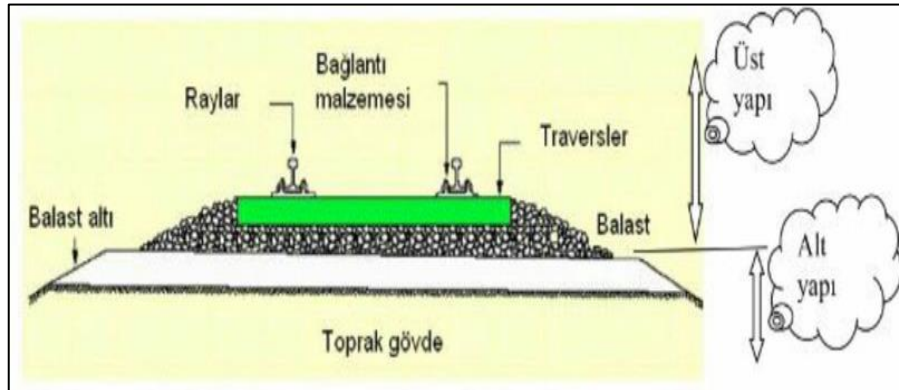
Demiryolu üstyapısı; balastlı üstyapı ve balastsız üstyapı olmak üzere iki tiptedir. Günümüzde ve ülkemizde ilk yatırım maliyetinin düşük olmasından dolayı daha çok balastlı üstyapı tercih edilmektedir. Ancak balastlı üstyapının bakım, onarım vb. maliyetlerinin zamanla artması, kullanılabilirlik ömrünün kısa olması gibi sebeplerinden ötürü sektörde yeni arayışlara neden olmuş ve ikinci bir seçenek olarak balastsız üstyapı tercihini beraberinde getirmiştir.

Balastsız üstyapıda ilk yatırım maliyetin fazla olmasına rağmen, bakım ve onarım maliyetleri düşük, kullanılabilirlik ömrü fazla, üstyapı yüksekliği ve ağırlığı ise daha azdır. Ayrıca balastsız üstyapı gerekli durumlarda kısa sürelerde hattın tamamen yenilenmesine imkân sağlayabilme özelliğini barındırmaktadır.

## 2. BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPI’NIN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Balastlı oluşturan taşların türleri, tane boyutları, tane şekilleri ve granülometresi ile, bu taşların tek olarak ve tabaka hâlindeki fiziksel ve mekanik özellikleri, bir demiryolu hattı için istenilen görevleri yerine getirmesi konusunda karar verici faktörlerdir. Demiryolları için en ideal balast taşı, granit ve bazalt ’tan elde edilmektedir. Balastlı üstyapının inşasında, balast serme işleminin tamamlanmasından sonra taş üzerine ahşap veya beton traverslere bağlanmış raylar oturtulmakta ve bağlantı elemanlarının gerekli sıklığı almasıyla hat tamamlanmaktadır.

Düşük inşaa gideri yapım, bakım ve onarım kolaylıkları gibi avantajlarıyla balastlı üstyapı sistemlerinin gelecekte de uzun süre kullanılacağı aşıkardır. Ancak balastsız (rijit) üstyapının maliyeti daha fazla olması ve nitelikli işçilik gerektirmesine rağmen, servis ömrünün uzun olması ve bakım giderlerinin düşüklüğü, özellikle YHT hatlarında tercih sebebi olmaktadır.



Şekil 1: Balastlı üstyapı (Esveld, 2003)

### 2.1. Balastlı Üstyapı Özellikleri

Balastlı üstyapının pozitif ve negatif özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Balastlı üstyapıda yol çerçevesi kolay ve hızlı döşenir,
- Üstyapıda hızların ve ağırlıkların artması hallerinde, hat geometrisi basit bir şekilde değiştirilebilir,
- Üstyapıda traversler raylara 60 – 80 cm aralıkla döşendiklerinden, her travers hat geometrisinde bozukluklara neden olmaktadır. Balastlı hatlarda belirli bir süre sonra enine ve boyuna kaymalar

(eker hatası) doğmaktadır. Kurplarda balast tarafından sağlanan yatay direnimsiniraları yatay ivmeleri dengeleyemez, buna bağlı olarak balast tanelerinin parçalanması sonucunda raylar ve tekerlekler zarar görür. Bu tip hat bozulmaları, üstyapı elemanlarının niteliğine, hattın inşa şekline, hattın geometrisine, zeminin homojenliğine vb. bağlıdır,

- Üstyapıda; trafik yükleri, hava koşulları ve altyapı problemlerine bağlı olarak zaman içerisinde geometrik bozulmalar meydana gelmektedir. Balastlı üstyapıda; nivelman, dever ve drenaj gibi geometrik bozuklukları onarmak için geometrik bakım yapılmalı, buraj, tokmaktama veya dinamik stabilizasyon gerçekleştirilmelidir,
- Balastı oluşturan malzeme granüler yapıda olduğundan trafik yükleri altında granüller pürüzlülüğünü kaybeder ve bu da drenaja yol açar. Böyle sorunlar olmaması için balastlı hatlarda düzenli balast eleme bakımları olması gerekmektedir,
- Balastın aşınması gibi durumlarda balast kirlenerek geçirimsizliği azalabilmektedir,
- Üstyapı elemanlarının kalitesi, hattın inşa şekli, geometrisi, zemin tabakalarının homojenliği gibi durumlar balastlı hatlardaki bozulmaları büyük ölçüde etkiler,
- Uygun balast malzemesi bulmak zordur.

## 2.2. Balastsız Üstyapı Özellikleri

Balastsız üstyapı, balast tabakası yerine; taşıma tabakası olarak rijit olan beton, betonarme veya asfalt kullanılan bir demiryolu üstyapı tipidir. Rijit üstyapıda gerekli olan elastiklik, ray ve travers arasında veya travers altında kullanılan çeşitli elastik elemanlarla sağlanmaktadır.

Balastsız/rijit üstyapının balastlı üstyapıya göre yapım maliyetinin yüksek olması, bu üstyapının yaygın kullanımını ilk zamanlarda engellemiştir. Ancak günümüzde daha etkili inşa metotlarının kullanılması bu maliyeti düşürmüştü ve balastsız üstyapının özellikle tünel ve köprülerde kullanımı yapım maliyetinden tasarruf sağladığı gözlemlenmiştir.

Ülkelere göre rijit üstyapı Almanya'da 'Feste Fahrbahn', İngiltere ve ABD' de 'Slab Track', Ballastless Track' ya da 'Direct Fixation Track' gibi farklı adlandırılmalarla görülebilmektedir.

Balastsız hattın özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Balastlı üstyapıda gevşek bağlantılı balastın sebep olduğu "yetersiz yük iletimi" balastsız hatta rijit tabaka sayesinde tam olarak sağlanır,
  - Balastsız hattaki bakım maliyeti, balastlı hattaki bakım maliyetine göre %20 – 30 daha azdır,
  - Yapım maliyeti fazla fakat hizmet ömrü uzundur ve hattın tamamının yenilenmesine imkân sağlar,
  - Balastsız üstyapının yüksekliği ve ağırlığı azdır. Bu hatlarda düşük yapı yüksekliği sonucunda büyük bir boşluk elde edildiği için, özellikle metro hatlarında gabari değeri küçülmekte ve hava direnci düşmektedir,
  - Balastsız hatta demiryolu ve karayolu araçları hemzemin geçitleri daha kolay kullanabilir,
  - 250 km/sa veya daha yüksek hızlarda yüksek konforlu seyir sağlanabilir,
  - Hat bakımı sırasında tünel içinde toz ve kirlenme oluşmaz,
  - Balastsız hatlarda derayman durumunda tamir işleri uzun zaman ve efor gerektirir,
  - Balastsız hatlardaki tünellerde gerekli olan drenaj, yan yollar, sinyalizasyon, elektrik ve elektronik tesisleri bir bütün olarak birlikte yapılabilir,
  - Tamir ve yenileme gibi bakım işlemleri kısa sürede gerçekleştirilebilmekte ve hattın kullanımı boyunca bakım işleri balastlı hatta göre oldukça düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmektedir,
  - Küçük deformasyonları (düşeyde 26 mm yatayda 5 mm gibi) basit düzeltmelerle gidermek mümkündür,
  - Servis ömrü balastlı hatta göre daha uzundur,
  - Gerekli önlemler alınarak daha düşük titreşimler elde edilebilir.
- 
- Yapı yüksekliğinin az olması nedeniyle tünel yüksekliği ve inşa maliyeti azalmaktadır.
  - Balastlı hatlara geçiş yerleri özel dikkat gerektirir.
  - Gürültü daha fazladır.

### 3. ÜSTYAPININ BAKIM MALİYETLERİ

Bu aşamada balastlı ve balastsız üstyapıların kentiçi ulaşımında toplam servis ömrü maliyetleri karşılaştırılmaktadır. Ülkemizdeki metro hatları dışında ilk balastsız üstyapı uygulaması Aksaray-Yeni Bosna hafif metro hattının uzantısı olan Yeni Bosna – Havaalanı hattının projesinde alternatif olan balastlı ve balastsız üstyapı karşılaştırılarak yapılan analizler sonucunda balastsız üstyapıya karar verilmiştir.

Bu çalışmada balastlı üstyapı maliyeti olarak TCDD'ye ait ekip ve ekipman, balastsız üstyapı maliyetleri olarak Yeni Bosna – Havaalanı hattı düşünülerek hesaplanmıştır. Maliyet hesaplarında dolar kuru Nisan 2002 tarihi itibarıyla 1 US \$ = 1.307.000 TL olarak, üstyapı yapım ve bakım maliyetlerinin karşılaştırılmasında birim hat uzunluğu olarak 1 km alınmıştır.



Şekil 2: Yenibosna – Havaalanı arası balastsız üstyapı (Metro İstanbul A.Ş.)

#### 3.1. Balastlı Üstyapının Bakım Maliyeti

Balastlı üstyapının toplam bakım maliyeti Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu maliyette en büyük pay "rutin bakım" için harcanmaktadır.

Tablo 1. Balastlı Üstyapının Toplam Bakım Maliyeti

No	Çalışmanın Adı	Maliyet (US \$/km)
1	Rutin Bakım	169.560,83
2	Balast Takviye	35.123
3	Geometrik Bakım	65.705,83
4	Ray Taşlama	49.811,11
5	Balast Eleme	51.539,57
<b>TOPLAM</b>		<b>371.740,35</b>

#### 3.2. Balastsız Üstyapının Bakım Maliyeti

Balastsız üstyapının toplam bakım maliyeti, balastlı üstyapıda da bahsedilen rutin bakım ve ray taşlama bakımındır. Bu çalışmadaki balastlı hat ve balastsız hattın bakım periyotları ve süreleri aynı olduğundan, elde edilen rutin bakım ve ray taşlama bakım maliyetleri aynı olacaktır.

Tablo 2. Balastsız Üstyapının Toplam Bakım Maliyeti

No	Çalışmanın Adı	Maliyet (US \$/km)
1	Rutin Bakım	169.560,83
2	Ray Taşlama	49.811,11
<b>TOPLAM</b>		<b>219.371,94</b>

#### 4. ÜSTYAPILARIN YAPIM VE BAKIM MALİYETLERİ YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

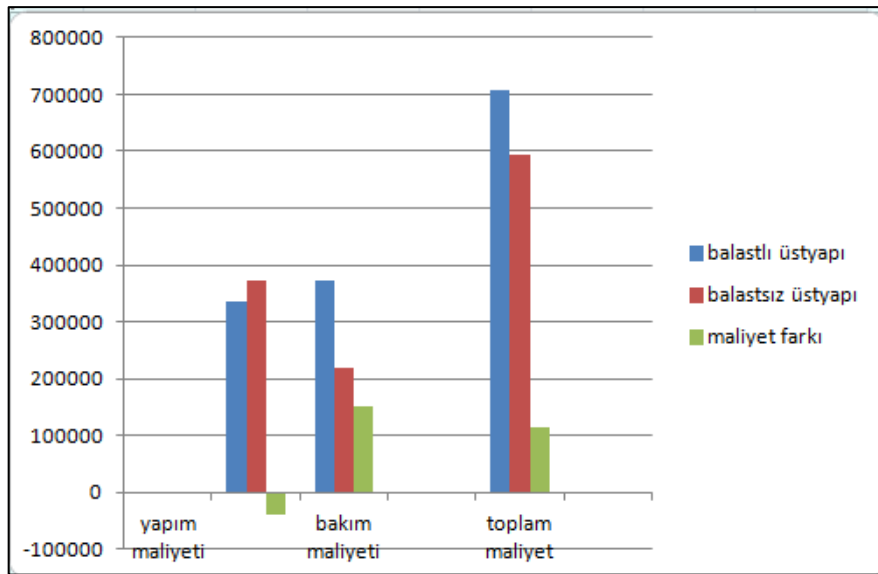
Her iki tür üstyapının yapım ve bakım maliyetlerinin toplamı Tablo 3 'te verilmiştir.

Tablo 3. Balastlı ve Balastsız Üstyapının Yapım ve Bakım Maliyetleri Toplamı

	Yapım Maliyeti (US \$/km)	Bakım Maliyeti (US \$/km)	Toplam Maliyet (US \$/km)
Balastlı Üstyapı	334.497,36	371.740,35	706.237,70
Balastsız Üstyapı	373.295,11	219.371,94	592.667,05
<b>Maliyet Farkı</b>	-38.797,75	152.368,40	113.570,65

Tablo 3'te verilen hesaplamalar doğrultusunda balastsız üstyapının yapım maliyetinin balastlı üstyapıya göre 38.797,75 (US \$/km) daha fazla olduğu görülmüştür. Bakım maliyetleri incelenecek olursa balastlı üstyapının bakım maliyetinin balastsız üstyapıya göre 152.368,40 US \$/ km daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 1. Üstyapıların maliyet yönünden grafiksel olarak karşılaştırması



Toplam maliyet sonuçlarından da anlaşılacağı üzere balastlı üstyapının toplam maliyeti (yapım + bakım) balastsız üstyapıya göre yaklaşık %19 daha fazladır.

#### 5. SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME

İncelenen çalışmalar ve görüşler doğrultusunda balastlı ve balastsız üstyapı bakım maliyetleri arasındaki asıl farkın, balastla ilgili bakım çalışmalarından kaynaklanmakta olduğunu ve buna göre balastsız üstyapının en önemli avantajının ise bakım maliyetlerinin önemli kısmını oluşturan balast yatağı bakım çalışmalarını gerektirmemesi olduğu görülmüştür. Balast eleme ve geometrik bakım dışında kalan diğer bakım işleri malzeme bakımı, makas bakımı, hat kontrolü, ölçümü ve hat temizliği gibi rutin bakımlar ile ray taşıma olup, bunlar balastsız üstyapıda da yapılmaktadır. Ülkemizde kentiçi raylı sistemlerdeki deneyimler, her iki üstyapıda ortak olan bu bakım işlemlerinin gerektirdiği bakım periyotlarının da aynı olduğunu göstermektedir. Geçmişte yapılan projelerin yatırım maliyeti uygulanabilirlik açısından karar verme faktörü olsa da günümüzde yukarıda bahsedilen ölçüm, bakım, tamirat çalışmaları gibi maliyetler yatırım maliyetinin yerini almış ve uygulanabilirlik açısından temel ölçüt olmuştur.

Bu makalede incelenen çalışmalar ve görüşler sonucunda yapım maliyeti balastsız hatlarda daha fazla olmasına rağmen bakım masraflarının da bir o kadar düşük olması, bakım ve yenileme çalışmalarının kısa sürede halledilmesi bunun için hattın kapanmasına gerek olmaması balastsız hatların önemli üstünlüklerindedir. Ayrıca balastsız hatlardaki rijitlik hattaki enine ve boyuna kaymanın önüne geçmiş, balast malzemesi bulma gibi zorlukları ortadan kaldırmıştır. Rayların doğrudan doğruya tünel içine, viyadük beton tabanına traversli veya traverssiz döşenmesi balast serilmesi sıkıştırılması gibi sorunları da ortadan kaldırmıştır. Balastsız üstyapı balastlı üstyapıya nazaran daha büyük dingil yüklerine uygundur ve yanıl kuvvetlere direnimi daha iyidir. Balastsız üstyapının anlatılan avantajlarına karşın inşa maliyetinin yüksek olması ve yer hareketlerinden etkilenmesi önemli dezavantajlarındandır.

## KAYNAKÇA

- [1] Eisenmann, J., 1995. Ballastless Track As An Alternative To Ballasted Track, Rail International, (November 19-27)
- [2] Esveld C.,1994, Modern Railway Track, Netherlands
- [3] Erel, A., 2002, Rijit Üstyapı Seçeneklerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] Arlı, V., (2002) "Balastlı ve Balastsız Üstyapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] MEB, (2013) Balast ve Travers, Ankara.
- [6] Ekim, O., (2007), "Yüksek hızlı demiryolları için geometrik özellikler ve altyapı", Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] Arlı, V., "Kentiçi Raylı Sistemlerde Balastlı Ve Balastsız Üstyapıların Uygulama Bakım Ve Maliyet Açılardan Karşılaştırılması."
- [8] Yalçın, S. N., (2006), "Demiryolu Üstyapısının Dinamik Analizi", Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.



# YERLİ KUPLÖR TASARIMI

M. Hüseyin ÇETİN<sup>1\*</sup>, Anıl RIDVANOĞULLARI<sup>2</sup>, İbrahim DİNÇER<sup>3</sup>, R. Ahmet YURTER<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> KBÜ Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 78050 Karabük, Türkiye, e-mail: hccetin@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 78050 Karabük, Türkiye, e-mail: ridvanogullari.anil@gmail.com

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Mühendisliği, 78050 Karabük, Türkiye, e-mail: dncrlr@gmail.com, ret.ahmet26@hotmail.com

## Özet

Raylı sistemlerin toplu taşımacılıkta kullanımı, son yıllarda özellikle ülkemizde ve dünyada yaygınlaşmaktadır. Diğer ulaşım metotlarına göre daha güvenilir, hızlı ve konforlu olması nedeniyle raylı sistemler, gün geçtikçe ulaşımında ilgi çekmektedir. Bu ilgi, yeni mühendislik çalışmalarına da olanak vermektedir.

Raylı sistem taşıtlarının güvenli bir biçimde hareket edebilmeleri için birbirlerine bağlanmaları gerekmektedir. Bu nedenle vagonların ya da tren setlerinin birleştirilmesi öngörülerek yolcu ve yük taşımacılığında ki kapasitenin artırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Araçların birleştirilmeleri, koşum takımları veya kuplörler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Kuplörler, koşum takımlarına göre daha kuvvetli mekaniksel ve elektriksel bağlantı içerdikleri ve geçmişten günümüze kadar yaygın kullanıma sahip olduklarından dolayı üzerinde çalışması gereken bir konudur. Bu çalışmamızda ülkemize ait bir tasarımı bulunmayan kuplörlerin, tasarım için gereken hesaplamaları çalışılarak, yerli bir kuplör geliştirdik ve analizleriyle raylı sistem araçları için istenen sönümle kuvvetlerine yakın değerler tespit ettik.

**Anahtar kelimeler:** Kuplör, kuplaj, demiryolu araç bağlantısı.

## Abstract

The use of rail systems in public transportation has become widespread especially in our country and in the world in recent years. Because it is more reliable, faster and more comfortable than other transportation methods, railed systems are attracting interest in transportation. This interest also allows for new engineering studies.

Rail system vehicles need to be connected to each other so that they can move safely. For this reason, work is being done to increase the capacity of the passenger and freight transport by anticipating the combination of wagons or train sets. Assembling of vehicles is carried out through harnesses or couplers. Couplers are a topic that should work on because they have stronger mechanical and electrical connections than harnesses and they have widespread use from past to present. In this study, we have developed a local coupler by studying the calculations required for the design of the couplers that do not have a design of our country, and we have determined values close to the desired damping forces for the system tools by the analysis.

**Keywords:** Coupler, coupling, railway vehicle connection.

## 1. GİRİŞ

Dünyamızda hızla artan nüfus sonucu ulaşım ihtiyaçlarının artması günümüzde karşılaştığımız en önemli problemlerden biridir. Kara, deniz ve demiryollarının etkin bir biçimde kullanılması bu problemin ana çözümü olarak düşünülebilir. Diğer ulaşım yöntemleri ile kıyaslandığında raylı sistemlerin ön plana çıktığı görülmektedir. Raylı sistemlerin kapasite, verimlilik, konfor ve çevreci olması en önemli avantajları arasında sayılmaktadır [1].

Raylı sistemler taşımacılığına genel olarak değinecek olursa; işletme maliyetinin, enerji tüketiminin düşük olmasıyla beraber emisyonun yok sayılabilecek kadar az olması diğer taşıma yöntemlerine göre raylı taşımacılığının avantajları arasındadır. Şehirlerarası ve yük taşımacılığında yaygın olarak kullanılan raylı sistemler taşımacılığı, kent içi taşımacılıkta da trafiği yüksek oranla düşürmekle beraber kaza riskini büyük oranda azaltmaktadır.

Birbirine bağlanmış (kuplaj yapılmış) trenlerin kullanılması, bir demiryolu ağı için yolcu kapasitesinin artırılmasında yaygın bir yöntem haline gelmiştir [2]. Kuplaj ihtiyacı olan raylı sistem işletmelerinde kuplajın kabiliyetleri çok önemlidir. Kuplaj yapılmış araçlar hem elektriksel hem de mekanik olarak birbirini tamamlamalı ve bir kumanda kabininden kontrol edilebilmeyi mümkün kılmalıdır. Bu nedenlerden dolayı kuplaj yapılan araçlarda kullanılacak koşum takımlarının belirli esnekliklere ve elektriksel donanımlara sahip olması gerekmektedir.

Günümüzdeki raylı sistem araçlarının ihtiyaçları ve teknolojileri göz önüne alındığında koşum takımları kuplörlerle kıyasla daha ilkel kalmaktadır. Koşum takımlarının geneli bir kabinden kontrol edilemeyerek manuel bağlantıya sahiptirler. Bu durumda bağlantı sırasında dışarıdan bir müdahale gerekmektedir. Müdahale esnasındaki iş güvenliği sorunları, müdahaleyi gerçekleştirecek olan teknikerin hata olasılığı, oluşacak zaman kaybı vb. birçok olumsuzlukla karşılaşılmaktadır. Bu durumlar üretici ve işletmecilerin kuplör kullanımına yönelmesine sebep olmuştur. Fakat ülkemizde bir kuplör üreticisinin olmayışı raylı sistemleri maddi açıdan büyük kayba uğratmaktadır. Bu durumları göz önünde bulundurulduğunda yerli kuplör tasarımı bu çalışmada hedef olarak belirlenmesine sebep olmuştur.

## 2. RAYLI SİSTEM ARAÇLARI VE KUPLAJLAMA

Ülkemizde artan nüfus yoğunluğu ile birlikte trafik hacminin büyümesi, lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarının yetersiz kalması ve ulaşım süresinin uzaması, zahmetli ve yorucu hale gelmesi nedeniyle raylı sistemlere duyulan ihtiyaçları artırmaktadır. [3] Bu duruma bağlı olarak raylı sistem araçlarının doluluk oranlarında yüksek artışlar yaşanmıştır. Bunların doğurduğu sonuç neticesinde raylı sistemler trafiğinde yoğunluklar yaşanmış ve işletmecilerin trafik yönetimleri zorlaşmıştır. Raylı sistem araçlarının kapasitesinin artırılmasını zorunluluk haline gelmiştir ve araştırmacılar farklı çözüm arayışlarına girmişlerdir. Bu arayışlar sonucunda araçların bazı elemanlar vasıtasıyla kuplajlı (birleşik) olarak çalıştırılmasının bu problemin çözümünde etkin rol oynayabileceği sonucuna varılmıştır.

İki aracın birleştirilme(kuplajlama) fikri daha önce ortaya atılmış olmakla beraber ilk önemli adımları atan kişi Krefeld Tramvayı'ndaki yönetmen Karl Albert'tir. 1921'de Albert Pinler geliştirmiş, iki iğneli bir anahtar ve yuva kuplörünü bulmuştur. Birleştirilecek araçlar birlikte itilmiş, her iki kaplin aynı tarafa doğru hareket etmiştir. Bir pim takılmış ardından kuplajı ve diğer pimi takmak için araçlar çekilmiştir. Bu işlem daha az kesin şant gerektirmiştir. Tek parça tasarımı nedeniyle, sadece minimum gevşeklik mümkün olmuştur. Sistem tramvay sistemleri ve dar gösterge hatları ile oldukça popüler hale gelmiştir.1960'larda çoğu şehir bunları otomatik kuplörlerle değiştirmiştir. Ancak modern araçlarda bile, Albert kuplörleri, hatalı bir aracı çekmek için acil durum kuplörleri olarak monte edilmektedir [4].

Raylı sistemli araçlarda birleştirmeler koşum takımları veya kuplörler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Manuel koşum takımları kuplörler ile kıyaslandığında daha ilkel ve kısıtlı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yolcu taşımacılığında kullanılan birleştirme elemanı genellikle kuplördür. Kuplörler iki vagonun veya dizinin birleştirilmesini sağlayan karmaşık bir sistemdir. Araçların mekanik ve elektriksel bağlantılarını sağlar ve tek bir noktadan yönetilmesine imkân sunar. Araçların birbirlerini çekmesine veya itmesine olanak sağlar. Kuplörler birbirlerine bağlanması koşum takımlarına

nazaran daha güvenli ve daha basittir. Yarı otomatik ve otomatik olmak üzere 2 adet çeşidi mevcuttur.

*Yarı otomatik kuplör sistemi*, iki aracın birbirine 1-5 km/h hız ile çarpıtılarak mekaniksel bağlantı yapması sağlanır. Mekanik bağlantıdan sonra bir görevli fren borularını ve elektrik bağlantısını yapar.

*Otomatik kuplör sistemi*, aracın her iki ucunda bulunan birbirinin aynı iki alt- sistemden otomatik kuplör ekipmanından oluşur. Otomatik Kuplör, gelir işletimi için iki araçtan oluşan diziler oluşturmak ve işlevsel arızaları bulunan bir aracı çekmek amacıyla iki aracın mekanik ve elektrik işlevleri açısından birleştirilmesine olanak verir. Otomatik Kuplör aynı zamanda servis ve kurtarma için UNIMOG aracın bağlanmasına da olanak verir. Otomatik Kuplör geri çekilen ve dışarı çıkan mekanik bir kuplaj cihazına sahiptir; bu cihaz geri çekilmiş / dışarı çıkmış konum arasında 555 mm hareket edebilir ve ray araçlarının otomatik olarak kuplajlanması için tasarlanmıştır. Bu kuplajlama işlemi düşük hızda ve manuel yardım olmadan gerçekleştirilir ve sonuçta rijit, boşluksuz ve tam bir bağlantı sağlanır. Ayrıca, mihver düzenlemesi tasarımı sayesinde, yatay ve dikey hat değişimlerine olanak verir. Mekanizma kafasının kuplajının ayrılması sürücü kabininden ya da manuel serbest bırakma kullanılarak kuplörün kendisi üzerinden yapılabilir. Ray araçları ayrıldıktan sonra, kuplörler otomatik olarak sıfırlanır ve tekrar kuplajlanmaya hazır hale gelir. Tren iletim hattı elektrik gerekliliklerini yerine getiren elektrik kafasının otomatik kuplajlanması, mekanik kuplaj yapıldığında otomatik olarak gerçekleşir. Araç, iki araçtan oluşan diziler (trenler) oluşturmak üzere diğer araçlar ile kuplajlanabilir. Araçlar, yüksek yolcu kapasitesi ile normal taşıma hizmeti sağlanması ya da bir aracın çekilmesi için kuplajlanabilir. Cer ve frenleme mekanik kuvvetleri, kuplör ekipmanı yoluyla bitişik araçların yapısına fiziksel olarak aktarılır. Tren iletim hattı üzerindeki kontrol sinyalleri, tüm operasyonları ve işlevleri (cer, frenleme, vb.) senkronize etmek için öndeki Kabinden kuplajlı araca aktarılır [5].

### 3. NEDEN YERLİ KUPLÖR?

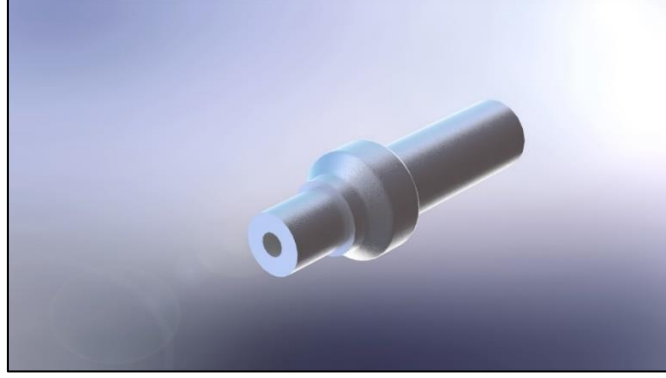
Yerli malları kullanmak; istihdamın artması ile işsizliğin ve yoksulluğun azalması, vergi ve harçların Türkiye ekonomisine katkı sağlaması, dünyadaki ekonomik ve siyasal çalkantılardan en alt düzeyde etkilenmek, Türk firmaların yurt dışında var olabilmesi için kaynak ve bilgi birikimlerin artması açısından önemlidir. Ülkemizin birçok büyük şehrinde çok sayıda raylı sistem aracının bulunması, yerli tramway üreten firmaların ihtiyacı ve ülkemizin yüksek hızlı tren projesi üzerindeki çalışmaları kuplör ihtiyacına neden olmuştur. Yurt dışından satın alınan raylı sistem araçlarında yaşanabilecek olan bir kuplör probleminde yedek parça, kalifiye eleman ve teknik destek konusunda bizi yurt dışına bağımlı kılmaktadır ve aynı zamanda milli servetin ülke dışına çıkmasına neden olmaktadır. Bu ve bunun gibi birçok neden yerli bir kuplör çalışmasını elzem hale getirmiştir.

### 4. KUPLÖR TASARIM KRİTERLERİ

Kuplör tasarlanırken birçok kriter dikkate alarak tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu kriterlerin birçoğu güvenlik ve kolaylık sağlamakla birlikte görsellik bakımından da iyi bir kuplör elde edilmesini sağlamıştır. Bu kriterler aşağıdaki gibidir:

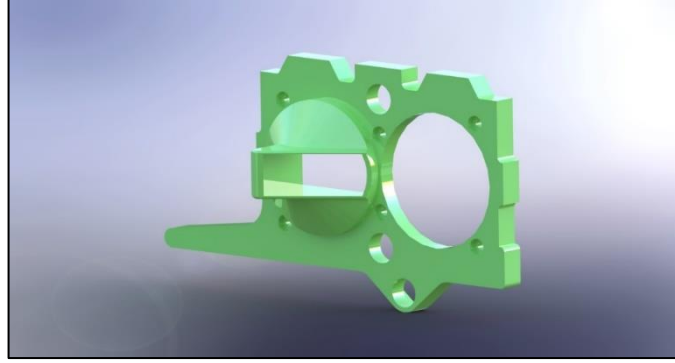
- Kuplörün bütün keskin uçlarını pah kırılarak gerilimlerin homojen olarak yayılması sağlanmıştır.
- Elektriksel bağlantıyı birçok kuplörden farklı olarak kuplörün iki yanına ayırmak yerine, üst tarafına tek bir bağlantı ile sağlanmıştır.
- Mekanik bağlantıda kalibrasyonu elde etmek için kuplörün erkek kısmının üst yüzeyinin bir bölümünde konik yapı kullanılırken, yüzeyin sonuna doğru dairesel bir hal verilerek tam kalibrasyon sağlanmasını kolaylaştırmak amaçlanmıştır.
- Kuplörün ön yüzünde 2 adet hava deliği bulunmaktadır. Bu hava deliklerinin merkez noktalarını, kuplörün ön yüzeyinin merkez eksenine yerleştirilmiştir. Delik ağızlarına contalar monte edilmiştir.
- Kuplörün sağ tarafından belirli bir uzunlukta çıkıntı bırakılarak, kuplör ayrılması sırasında oluşabilecek mekanik bir probleme karşı manuel olarak ayrılabilmesi için önlem amaçlı konumlandırılmıştır.

## 5. TASARIM SÜRECİ



Resim 1. Deformasyon tüpü

Tasarımda iki adet deformasyon tüpü (Resim 1) kullanılmıştır. Deformasyon tüpü ile kuplör de oluşabilecek ani stresleri sönümlemek hedeflenmiştir.



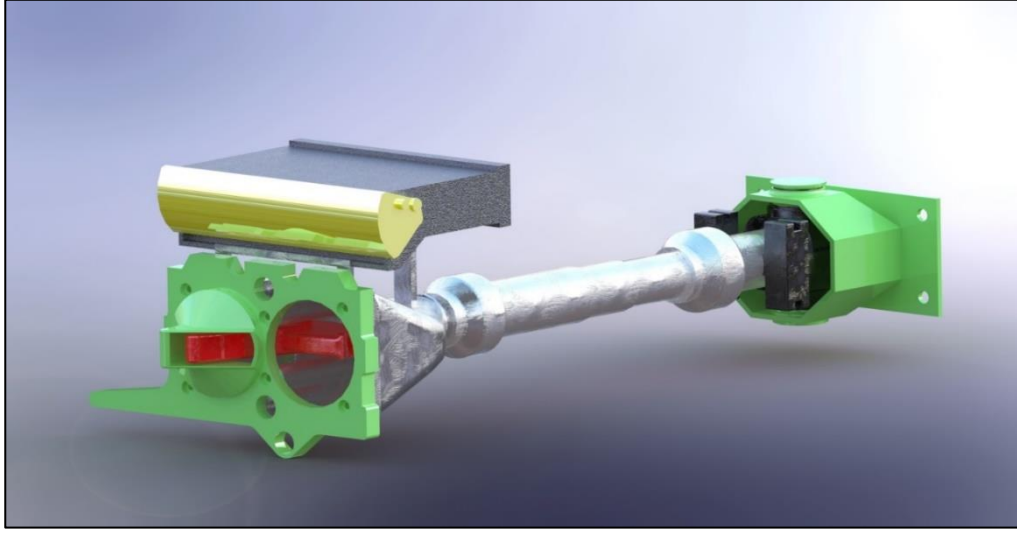
Resim 2. Kuplör kafası

Kuplörün en ön kısmında bulunan kuplör kafası (Resim 2), kuplajlama sırasında kalibrasyon sağlaması için u kısmı konik tasarlanmıştır. Mekaniksel ayırılama sırasında oluşabilecek bir sorundan kuplörün ayrılmaması durumunda, kuplör kafasının yanında bırakılan çıkıntı ile kuplör bağlantısının manuel ayrılması hedeflenilmiştir.



Resim 3. Kuplör Dili

Kuplörün mekaniksel bağlantını sağlayan kuplör dili (Resim 3) X30Cr13 martenzitik paslanmaz çelik malzemeden 200kN çekme, 300kN basma kuvvetine karşı mukavemet gösterecek şekil de tasarlanmıştır.



Resim 4. Tasarımın Son Hali

Tasarımın son hali (Resim 4) 245 kg ağırlığın da 1695 mm uzunluğun da 200Kn çekme, 300Kn basma kuvvetine karşı mukavemet gösterecek şekil de tasarlanmıştır.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin birçok büyük şehrinde çok sayıda raylı sistem aracının bulunması, yerli tramvay üreten firmaların ve ülkemizin yüksek hızlı tren projesi üzerindeki çalışmaları kuplör ihtiyacına neden olmuştur. Yurt dışından satın alınan raylı sistem araçlarında yaşanabilecek olan bir kuplör probleminde yedek parça, kalifiye eleman ve teknik destek konusunda bizi yurt dışına bağımlı hale getirmekte ve aynı zamanda milli servetin ülke dışına çıkmasına neden olmaktadır. Mevcut olan kuplör tasarımlarından daha üstün bir sistem geliştirmeyi amaçlayarak ülkemizin raylı sistem alanındaki birçok parçada dışa bağımlılığını önlemeyi hedeflemektedir.

## KAYNAKLAR

[1] Ersoy Okay, Bir Raylı Taşıt Gövdesinin Standartlara Göre Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapısal Analizi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

[2] Keski Necmettin Mert, Marmaray ve İstanbul Toplu Ulaşım Ağı ile Etkileşimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2014.

[3] Modeltrenciler, (n.d.) Model Trencilikte Birleştirici, <http://modeltrenciler.com/forum/index.php?topic=3657.0;wap2>

[4] Prezi, (2017) Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan Kuplörler, [https://prezi.com/8nxlr\\_1tpzgp/rayli-sistem-araclarinda-kullanilan-kuplorler/](https://prezi.com/8nxlr_1tpzgp/rayli-sistem-araclarinda-kullanilan-kuplorler/)

[5] Wikipedia, (n.d.) Railway Coupling, [https://en.wikipedia.org/wiki/Railway\\_coupling](https://en.wikipedia.org/wiki/Railway_coupling)

# Y25 VE ICF BOJİLERİNİN ANSYS İLE STATİK YÜK ANALİZİ KARŞILAŞTIRILMASI

Anıl RIDVANOĞULLARI<sup>1\*</sup>, Ömer KOÇOĞLU<sup>2</sup>, Bayram BULDUK<sup>2</sup>, Yavuz EKEN<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, 78050 Karabük, Türkiye,  
e-mail: ridvanogullari.anil@gmail.com

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Mühendisliği, 78050 Karabük, Türkiye,  
e-mail: omerkocoglu44@gmail.com, byrmbldk40@gmail.com, yavuzkn00@gmail.com

## Özet

Bu çalışmamızda yük vagonlarında kullanılan bojilerin statik yükleme analizi tepkileri ölçülmüştür. İncelenmek üzere bu vagonlarda genel olarak kullanılan Y-25 ve Integral Coach Factory (ICF) bojileri seçilmiştir. Solidworks programı kullanılarak çizimleri ve montajı yapılan bojilerin, ilk olarak solidworks üzerinde parçaların statik yükleme analizi tepkileri ölçülmüş, ikinci aşama olarak da ANSYS programı kullanılarak 35 ton (343350 N) statik yükleme analizleri yapılmıştır.

Y-25 ve Schlieren yük bojilerine aynı malzeme atanarak ve eşit yük altında statik yükleme analizleri yapılmıştır. Yaptığımız çalışmalar sonucunda bojilerin yorulan parçaları gözlemlenmiş, Y-25 ve ICF bojilerinin statik yükleme analizleri karşılaştırılmış ve Y-25 bojisinde meydana gelen yer değiştirmenin Schlieren (ICF) bojisine göre daha az olduğu saptanmıştır ve Y-25 bojisinin daha dayanıklı ve kullanılmaya daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yük vagonları, yük bojileri, Y-25 boji, ICF boji, statik analiz.

## Abstract

In this work, it is measured the reaction of static loading analysis. Which is used in the freight wagon bogies. It is chosen Y-25 which is generally used in this wagon and ICF bogies to investigate. Bogies which drawn and assembled by using Solidworks programme are firstly measured the reaction of static loading analysis of the pieces on Solidworks and secondly done the analysis of 35 tones static loading by using ANSYS programme.

The same material is appointed to the Y-25 and Schlieren freight bogies and it is done the analysis of static loading. In the result of our study, it is observed that some pieces of bogies are overdone, it is compared the static loading anallysis of ICF bogies and Y-25, it is determined that the displacement rate in the Y-25 bogies is less than Schlieren bogies and it is identified that Y-25 bogies are more strong and suitable for using.

**Keywords:** Freight wagons, freight bogies, Y-25 bogie, ICF bogie, static analysis.

## 1. BOJİ

Aracın alt kısmına bağlanarak aracın hareketini ve taşınmasını sağlayan tekerlerin ve aksların bağlandığı bir sistem olarak çalışan yapıya boji denir. Boji, üzerindeki yaylar vasıtasıyla ray ile teker arasında oluşan titreşimi sönmüleyerek daha konforlu bir ulaşım sağlamaktır. Ayrıca bojiler ray aşınmasını önleyen, trenin kurplardan daha güvenli, daha hızlı ve derayman riskini en aza indirerek ilerlemesini sağlayan sistemlerdir.

### 1.1. Yük Bojisi Özellikleri

Yük taşıyan vagonların, yükü daha hızlı, daha güvenli taşıyabilmeleri için vagon ve yol arasındaki iletişimi sağlayan, asıl titreşimin sönmüldüğü, vagonun ileri ve yanıl hareketinin gerçekleştiğı yürütme takımınıdır. Ülkemizde yük taşımacılığı dingil basıncı olarak 22,5 ton olarak kabul edildiğı için yük vagon bojilerinin de bu standardı sağlaması gerekmektedir. Taşınan malın, taşıma sırasında zarar görmemesi için bojinin titreşim sönmüleme özelliğinin iyi derecede olması gerekir. Y-25 Bojisi ülkemizde ve Avrupa'da günümüzde en yaygın olarak kullanılan yük vagon bojisidir.

### 1.2. Yolcu Bojisi Özellikleri

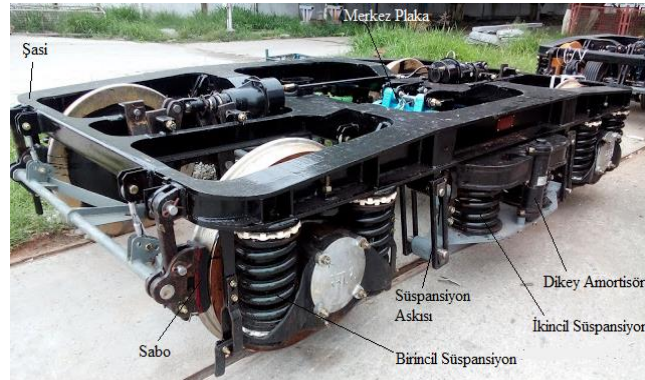
Demiryollarında yolcu taşımacılığı yapan vagonların kullandığı boji çeşididir. Kullanım alanları çok farklı olduğı için yolcu vagon bojileri değışik özellikler göstermektedir. Kent içi raylı sistem araçlarında yüksek ivmelenme, ani fren, yüksek titreşim sönmüleme gibi özelliklerin ön plana çıktığı bojiler kullanılmaktadır. Konvansiyonel ve yüksek hızlı tren hatlarında daha yüksek hızlarda çalışabilecek, fren güçleri yüksek bojiler kullanılmaktadır. Bu da yolcu vagon bojilerinin geliştirilmeye daha uygun olduğunu göstermektedir. Ülkemizde genellikle konvansiyonel hatlarda Y-32 bojisi kullanılmaktadır.

### 1.3. Yük Ve Yolcu Bojisi Karşılaştırılması

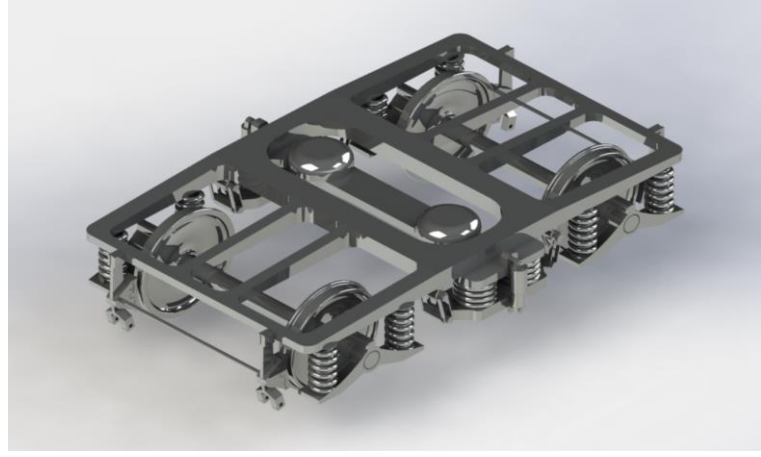
- Yük ve yolcu bojilerinin asıl amaçları yolcu ve malların nakledilmesi olsa da özellik olarak birbirlerinden farklılıklar göstermektedirler.
- Yük bojilerinde ağır taşımacılık yapıldığı için ilk istenen özellik üstüne binecek olan yüke karşı direnç gösterebilmesidir. Yük bojisinin üstüne binen yük fazla olduğı için rayların ve tekerlerin aşınmaması ve uzun ömürlü olabilmesi için yük ve boji arasında yükün homojen olarak dağılımı ve iyi bir şekilde sönmülenmesi gerekmektedir.
- Yolcu bojilerinde ise ağırlıktan çok taşımacılığın daha kısa sürede, daha konforlu ve daha güvenli yapılması istenmektedir. Bu bojide istenen ilk özellik ivmelenme ve frenleme olaylarında maksimum verim elde etmektir.

### 1.4. ICF Boji Özellikleri

Hindistan'daki ana hat trenlerinin çoğunda kullanılan geleneksel sistemdir. 1950'lerde Swiss Car & Elevator Manufacturing Co, Schlieren, İsviçre ile işbirliğı içinde Hindistan, Chennai, Perambur, Integral Coach Factory tarafından geliştirilmiştir. Tasarım aynı zamanda İsviçre şirketinden dolayı Schlieren olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1. ICF (Schlieren) boji görüntüsü



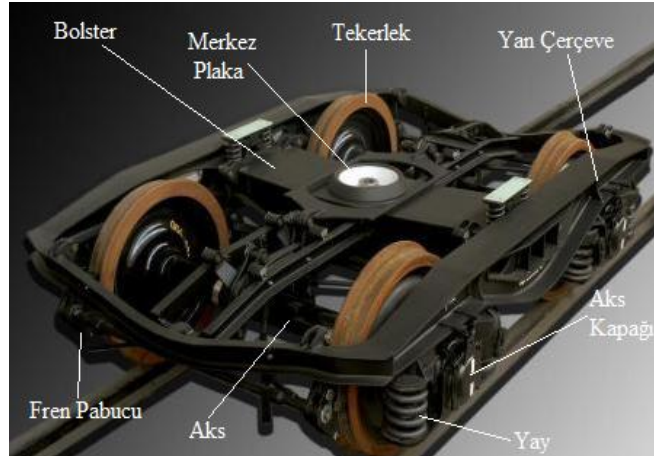
Şekil 2. ICF boji render görünümü

Tablo 1. ICF boji özellikleri

Aks Yüğü	16,25	t
Dingil Mesafesi	2896	mm
Teker Çapı	915	mm
Birincil Süspansiyon	Bobin Yayı	
İkincil Süspansiyon	Bobin Yayı	
Amortisörler	-Birincil Süspansiyonda Dikey Çizgi -İkincil Süspansiyonda Hidorlik Çift Etkili Dikey Amortisör	
Aks Kılavuzluyucu	Yağ Süspansiyonlu Teleskopik Aks Kılavuzu	

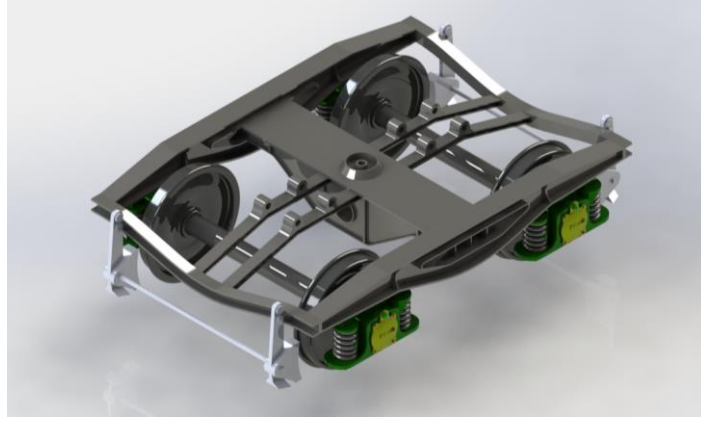
### 1.5. Y-25 Boji Özellikleri

Avrupa Demiryolları tarafından yoğun olarak kullanılan, gücünü ve güvenilirliğini kanıtlamış olan Fransız Demiryolları tarafından geliştirilen Uluslararası Demiryolu Derneği UIC tarafından standartlaştırılan bir boji modelidir.



Şekil 3. Y-25 boji görüntüsü



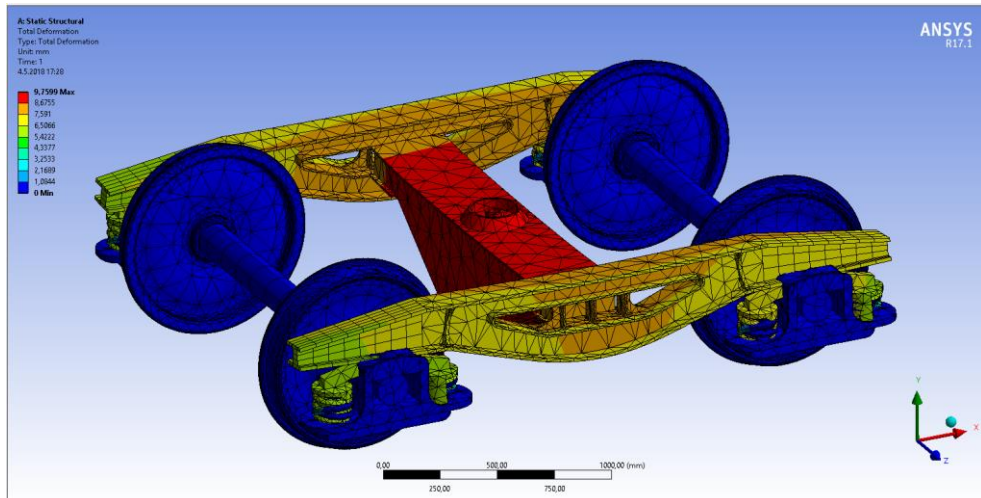


Şekil 4. Y-25 boji render görünümü

Tablo 2. Y-25 boji özellikleri

Aks Yüğü	22,5	T
Maksimum Hız		
Hareket Durumunda	120	Km/s
Fren Durumunda		
20 tona kadar	120	Km/s
22,5 tona kadar	100	Km/s
Dingil Mesafesi	1800	mm
Teker Çapı	920	mm
Ağırlık		
Temel Versiyon	4500	kg

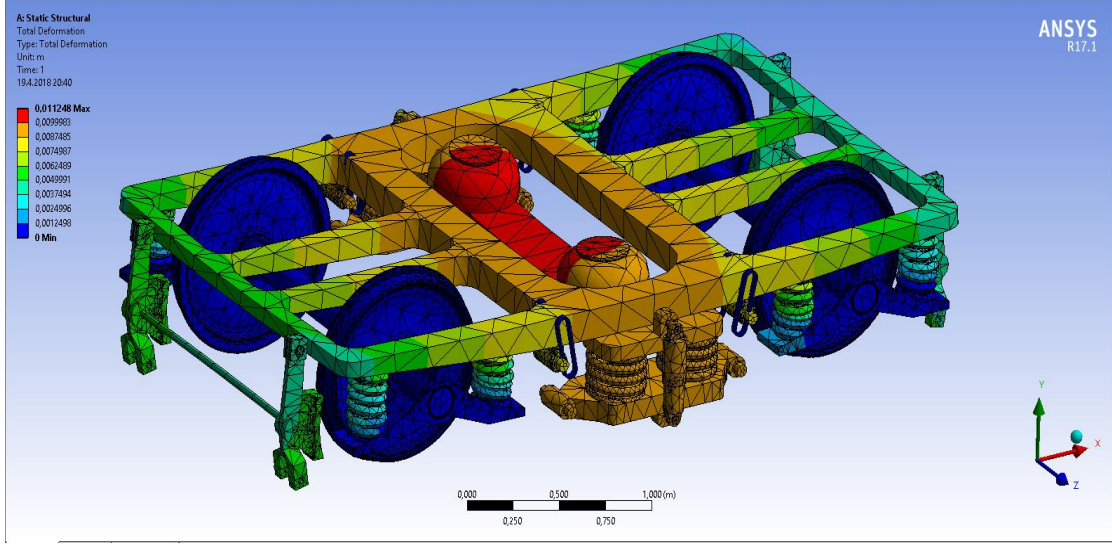
## 2. Y-25 BOJİ VE SCHLIEREN BOJİNİN ANSYS ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 5. Y-25 boji toplam deformasyon

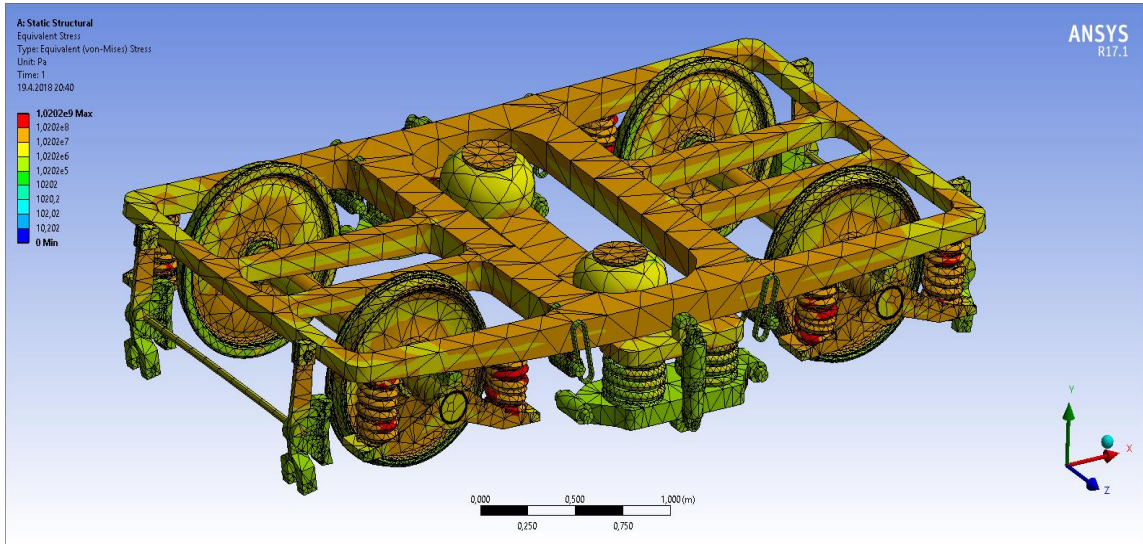
Y-25 bojisine ANSYS programı üzerinde dingil başına 17,5 ton olacak şekilde statik yükleme analizi yapılmıştır. Bu kuvvet altında elde edilen sonuçlar Şekil 5. de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere

boji iskeletinin merkez plakasına uygulanan kuvvet sonucunda, maksimum gerilmenin boji bolsterinde olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum gerilmenin meydana geldiği bolsterde maksimum 9,7599 mm lik bir yer değiştirme gözlemlenmiştir. Helezon yaylarında ise deformasyona bağlı olarak basma kuvvetinin olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Schlieren boji toplam deformasyon

Schlieren bojisine ANSYS programı üzerinde dingil başına 17,5 ton olacak şekilde statik yükleme analizi yapılmıştır. Bu kuvvet altında elde edilen sonuçlar Şekil 6. da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere boji iskeletinin hava yastıklarına uygulanan kuvvet sonucunda, maksimum gerilmenin boji bolsterinin hava yastıkları arasındaki bölümünde olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum gerilmenin meydana geldiği bolsterde maksimum 11,248 mm lik bir yer değiştirme gözlemlenmiştir. Bolster üzerinde yer alan ikincil süspansiyonlarda, iskeletin orta kısmında ve damperde 9,9983 mm lik yer değiştirme meydana gelmiştir.



Şekil 7. Schlieren boji eşdeğer gerilme

Schlieren bojisinin gerilme analizi sonuçları Şekil 7. de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde maksimum gerilmelerin birincil süspansiyonlarda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Maksimum gerilme değerinin  $1,0202 \cdot 10^9$  Pa olduğu görülmüştür.

### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Y-25 ve Schlieren yük bojilerine aynı malzeme atanarak ve eşit yük altında statik yükleme analizleri yapılmıştır. Toplam deformasyon her iki bojide de bolsterin orta bölümünde meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Y-25 bojisinde meydana gelen yer değiştirmenin Schlieren (ICF) bojisine göre daha az olduğu saptanmıştır. Analiz sonuçları göz önüne alındığında Y-25 bojisinin daha dayanıklı ve kullanılmaya daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

### KAYNAKÇA

- [1] Railway Technical, “2018 Bogies”, <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-index-l/bogies.html>
- [2] Rail Maniac, “2015 ICF Bogie”, <http://railmaniac.blogspot.com.tr/2015/07/icf-detailed.html>
- [3] Rayvag, “2018 Y25 Ls(s)d1-UIC Boji”, <http://rayvag.com.tr/genel/y25-lssd1-uic-boji.html>
- [4] <http://www.china-manufacturer-directory.com/china-691650962/y25-bogie-for-europe-railway-bogie-tsi-certificate.html>

# RAIL SYSTEM STATION SITE SELECTION: A LITERATURE REVIEW

Mustafa Hamurcu<sup>1\*</sup> and Tamer Eren<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey, e-mail: [hamurcu.mustafa@kku.edu.tr](mailto:hamurcu.mustafa@kku.edu.tr)

<sup>2</sup> Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey, e-mail: [teren@kku.edu.tr](mailto:teren@kku.edu.tr)

## Abstract

Rail systems are used to provide transportation inner city and intercity. It requires a good planning process due to the large budget of the rail system investment. This point is also an important in determining the location of the stations, which is a step in the planning process. Therefore, various factors are taken into consideration in station location decisions. In this study, a literature search is carried out for the factors affecting the determination of the station location of the rail systems. As a result, evaluations are made by grouping the criteria that affect the station location selection.

**Keywords:** Rail systems, station site selection, selection criteria

# EVALUATION OF TURKISH STATE RAILWAYS' (TCDD) OCCUPATIONAL TRAINING PROGRAMS

Hakan Güler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, e-mail: hguler@sakarya.edu.tr

## Özet

İnsan kaynaklarının gelişiminde eğitim ve öğretim faaliyetleri önemli bir mekanizmaya sahiptir. Bilgi, beceri, tecrübe ve yapılan işle ilgili diğer becerilerin kazanımıyla ilgili gerçekleştirilecek eğitim ve öğretim faaliyetleri, çalışanlar ve işverenler arasındaki boşluğu doldurur. Eğitim ve öğretim faaliyetlerinin ana amacı; insanlara gerekli bilgiyi, beceriyi ve işlerini başarı ile yapacak kapasiteleri kazandırmaktır. Diğer sektörlerin arasında demiryolu sektörü karmaşık bir sektör olup çok özel ve kendine özgü geniş bir uzmanlık alanına sahiptir. Bu çalışmada, kapsamlı bir araştırma ve anket çalışmaları yapılarak TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları)'nin demiryolu konulu meslek içi eğitimlerinin istatistik tekniklerle değerlendirilmesi yapılmıştır. Anket çalışmaları web tabanlı olarak yapılmış ve toplanan veriler istatistik tekniklerle analiz edilmiştir. Anket sorularının hazırlanmasında ve bilgilerin toplanmasında farklı birimlerin görüşleri ve tecrübeleri dikkate alınmıştır. Yapılan bu çalışma, demiryolu çalışanlarının meslek hayatları boyunca profesyonel meslek içi eğitimler almak isteğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu çalışma, demiryolu çalışanlarının meslek içi eğitimlerden en önemli beklentilerinin istatistik çalışmalar yaparak ortaya çıkarılmasının mümkün olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu Mühendisliği, Demiryollarına Eğitim ve Öğretim, Meslek İçi Eğitim.

## Abstract

Education and training is the most important mechanism in human resource development. Education and training fill the gap between employee and employer by way of knowledge, skills, experience and the others required by the job offered. The main goal of the education and training is to help people to gain the required knowledge, skills and capabilities to achieve their job successfully. Among the other sectors rail sector is a complex sector requiring a wide range of expertise which are very specialized and unique. In this study, TCDD's (Turkish State Railways) professional training courses on railways were evaluated by doing statistical analyses on a comprehensive survey data gathered from inquiry sheets. A web base online survey tool was prepared and the inquiry sheets were statistically analyzed. The questionnaires were designed to gather the most important information taking into account the different parties' opinions and the experiences. This study proved that railway employees are keen to participate in professional training programs during their working period and also it was found that it is possible to determine the most important expectations of railway employees from railway training programs by doing statistical analyses on a survey data.

**Keywords:** Railway Engineering, Railway Education and Training, Occupational Training

# YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLU HATLARINDA HAT GEOMETRİSİNİN BOZULMASI VE GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİ

Shuhratjon Hidirov<sup>1\*</sup> and Hakan Güler<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, e-mail: shuhrat1228@gmail.com

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, e-mail: hguler@sakarya.edu.tr

## Özet

Demiryolu hattının yatayda ve düşeydeki konumuna demiryolu hattı geometrisi denir. Hattın olması gereken geometrik konumdan sapmasına ise hat geometrisinin bozulması adı verilmektedir. Demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar; burulma, hat genişliğinin bozulması, demiryolu hattının ekseninden sapması, dever bozulması ve nivelman bozulmasıdır. Bu çalışmada, Özbekistan Yüksek Hızlı Demiryolları'nda hat geometrisinin bozulması ve güvenilirlik analizleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Taşkent-Semerkant arasında 343 km uzunluğunda yüksek hızlı demiryolu hattı bulunmaktadır. Yüksek hızlı demiryolu hatlarında maksimum hız 250 km/sa'tir. Bu çalışmada, Özbekistan yüksek hızlı demiryolu hatlarından demiryolu ölçüm araçları ile elde edilen demiryolu hat geometrisi ölçüm değerleri EN 13848 numaralı standarda göre değerlendirilmiştir. Her bir hat geometrisi parametresinin bozulma derecesiyle ilgili Uyarı Eşiği, Müdahale Eşiği ve Acil Müdahale Eşiği olmak üzere üç eşik değer belirlenmiştir. Güvenilirlik analizleri için Özbekistan yüksek hızlı demiryolları hatları, 50 km uzunluğunda hat bakım kesimlerine bölünmüştür. Bakım kesimlerden toplanan hat geometrisi ölçüm değerleri üzerine güvenilirlik analizleri yapılarak, her bir hat geometrisi parametresinin olasılık, kümülatif yoğunluk ve güvenilirlik fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen fonksiyonlarla, Özbekistan yüksek hızlı demiryollarının güvenilirlik düzeyi analiz edilmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yüksek Hızlı Demiryolları, Demiryolu hat geometrisi ve Güvenilirlik analizi.

## Abstract

The vertical and horizontal position of railway lines is called as railway track geometry. On the other hand, track geometry deterioration is defined as deviations from the standard track geometry. Track geometry deterioration is categorized as twist, gauge, alignment, cant and levelling. In this research, a case study was performed for Uzbekistan High Speed Railways on the track geometry deterioration and the reliability analyses. There is a length of 343 kilometres high-speed line with 250 km/h between Tashkent and Samarkand. In this study, the track geometry measurements obtained from Uzbekistan high-speed lines by railway measuring vehicles were evaluated according to EN 13848 standard. Three threshold values which are alert limit, intervention limit and immediate action limit were defined to evaluate the track geometry deterioration. Uzbekistan high-speed lines were divided into maintenance sections with 50 km length for the reliability analysis. The data collected from each maintenance sections was used to obtain the probability, cumulative density and reliability functions of each track geometry parameters by carrying out reliability analyses. The obtained functions were used to analyse the reliability of Uzbekistan high speed lines and finally some evaluations were made.

**Key words:** High Speed Railways, Railway track geometry and Reliability analysis.

# BALASTLI DEMİRYOLU HATLARINDA BALAST KİRLİLİĞİNİN ÜSTYAPI HESAPLARINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Emir Yalçın Aksop<sup>1\*</sup> and Hakan Güler<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli Metropolitan Municipality, Kocaeli, Turkey, e-mail: emiraksop@gmail.com

<sup>2</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, e-mail: hguler@sakarya.edu.tr

## Özet

Geleneksel (konvansiyonel) demiryolu sistemi yapısı; ray, travers, balast, alt balast, toprak gövde ve doğal zeminden oluşmaktadır. Bir demiryolu yapısında statik ve dinamik kuvvetler sonucu oluşan gerilmeler ve deformasyonlar hem analitik hem de nümerik yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Analitik yöntemle hesaplamalarda Winkler Yöntemi esas alınırken, nümerik hesaplamalarda sonlu elemanlar yöntemleri ile analiz yapılır. Bu çalışmada, balast tabakası üzerine oturan ray ve traverslerden oluşan yapı elastik yatağa oturan kiriş olarak sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu (3D) modellenmiş ve balast kirliliği sonucu mekanik özellikleri değişen balast tabakasının, üstyapı hesaplarına olan etkisi incelenmiştir. Farklı düzeyde kirlilik durumları için balast tabakasında meydana gelen çökme, ray ve travers elemanlarda oluşan kuvvet ve moment değerleri hesaplanarak, değerlendirmeler yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi olarak nümerik analizde Sap2000 yazılımı kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Balast, Balast kirliliği, Demiryolu üstyapı hesaplamaları, Sonlu elemanlar yöntemi

## Abstract

The structure of traditional (conventional) railway system consists of rails, sleepers, ballast, sub-ballast, from layer and ground structures. Stresses and deformations resulting from static and dynamic forces in a railway structure can be calculated both analytically and numerically. Analytical method is based on Winkler method while numerical methods are analyzed with finite element methods. In this study, the railway structure consisting of rails and sleeper was modelled as a beam sitting on the elastic foundation by using finite elements and the fouled ballast changing the mechanical properties of the ballast layer was investigated to determine its effects on railway superstructure. In this study, deformation occurring in ballast layer, force and moment values of rails and sleepers are calculated for the different levels of ballast pollution and consequently some evaluations are made. In this study, Sap2000 program was used for numerical analysis as a finite element method.

**Keywords:** Ballast, Ballast pollution, Railway superstructure calculations, Finite element method

# BALASTLI DEMİRYOLU HATLARINDA BALAST KİRLİLİĞİNİN ÜSTYAPI HESAPLARINA OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Emir Yalçın Aksop<sup>1\*</sup> and Hakan Güler<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Kocaeli Metropolitan Municipality, Kocaeli, Turkey, e-mail: emiraksop@gmail.com

<sup>2</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, e-mail: hguler@sakarya.edu.tr

## Özet

Geleneksel (konvansiyonel) demiryolu sistemi yapısı; ray, travers, balast, alt balast, toprak gövde ve doğal zeminden oluşmaktadır. Bir demiryolu yapısında statik ve dinamik kuvvetler sonucu oluşan gerilmeler ve deformasyonlar hem analitik hem de nümerik yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Analitik yöntemle hesaplamalarda Winkler Yöntemi esas alınırken, nümerik hesaplamalarda sonlu elemanlar yöntemleri ile analiz yapılır. Bu çalışmada, balast tabakası üzerine oturan ray ve traverslerden oluşan yapı elastik yatağa oturan kiriş olarak sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu (3D) modellenmiş ve balast kirliliği sonucu mekanik özellikleri değişen balast tabakasının, üstyapı hesaplarına olan etkisi incelenmiştir. Farklı düzeyde kirlilik durumları için balast tabakasında meydana gelen çökme, ray ve travers elemanlarda oluşan kuvvet ve moment değerleri hesaplanarak, değerlendirmeler yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi olarak nümerik analizde Sap2000 yazılımı kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Balast, Balast kirliliği, Demiryolu üstyapı hesaplamaları, Sonlu elemanlar yöntemi

## Abstract

The structure of traditional (conventional) railway system consists of rails, sleepers, ballast, sub-ballast, from layer and ground structures. Stresses and deformations resulting from static and dynamic forces in a railway structure can be calculated both analytically and numerically. Analytical method is based on Winkler method while numerical methods are analyzed with finite element methods. In this study, the railway structure consisting of rails and sleeper was modelled as a beam sitting on the elastic foundation by using finite elements and the fouled ballast changing the mechanical properties of the ballast layer was investigated to determine its effects on railway superstructure. In this study, deformation occurring in ballast layer, force and moment values of rails and sleepers are calculated for the different levels of ballast pollution and consequently some evaluations are made. In this study, Sap2000 program was used for numerical analysis as a finite element method.

**Keywords:** Ballast, Ballast pollution, Railway superstructure calculations, Finite element method



# R260 RAY ÇELİĞİNİN HADDELEME OPERASYONUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Tansel TUNÇAY ve Muhammet YILDIZ  
Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 34469, Balıklarkayası, Karabük,  
tanseltuncay@karabuk.edu.tr  
KARDEMİR A.Ş. Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi Ve Ticaret A.Ş. Fabrika Sahası, Karabük,  
[myildiz@kardemir.com](mailto:myildiz@kardemir.com)

## ÖZET

Bu çalışmada, R260 kalite ray çeliğinin üretimi sırasındaki haddeleme operasyonuna bağlı olarak, mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. KARDEMİR A.Ş. haddehanelerinde üretilen tren rayının üretim hattına bağlı çeliğinin mikro yapı ve mekanik özelliklerindeki değişim araştırıldı. Mikro yapı incelemeleri; optik mikroskop ve tarama elektron mikroskobu görüntüleri ile değerlendirildi. Mekanik özellikler; sertlik testi ve çekme testi sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Optik ve tarama elektron mikroskobu görüntülerinde, haddeleme operasyonu sırasında, ferrit tane boyutunun azaldığı özellikle tandem ve finish haddeleme operasyonu sonrasında sementit fazlarının (perlit oluşturana) yönlendiği ve düzenlendiği belirlenmiştir. Sementit faz arası mesafenin azaldığı buna bağlı olarak R260 ray çeliğinin çekme özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir. Tane boyutunun azalmasına bağlı olarak, makro sertlik, maksimum çekme, akma dayanımı ve yüzde uzama değeri artmıştır. Kırık yüzey incelemelerinde çeliğin hazırlanması esnasında ergitme ve pota metalürjisi aşamalarında kullanılan refraktere bağlı kirlenmelerin olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kırık yüzeylerde hemen hemen homojen olarak dağılmış küresel morfolojiye sahip FeO bileşiği yoğun bir şekilde görüntülenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ray çeliği, R260 çeliği, haddeleme, mekanik özellikler.

## EFFECT OF ROLLING OPERATIONS ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF R260 RAIL STEEL

Tansel TUNÇAY ve Muhammet YILDIZ  
Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 34469, Balıklarkayası, Karabük,  
tanseltuncay@karabuk.edu.tr  
KARDEMİR A.Ş. Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi Ve Ticaret A.Ş. Fabrika Sahası, Karabük,  
[myildiz@kardemir.com](mailto:myildiz@kardemir.com)

## ABSTRACT

In this study, the effect on the microstructure and mechanical properties was investigated depending on the rolling operation during the production of the R260 quality rail steel. The change in the microstructure and mechanical properties of the rail steel with produced in KARDEMİR A.Ş. railway rolling department, was investigated in the production line. Microstructure studies were evaluated with optical microscope and scanning electron microscopy images. The mechanical properties were characterized by the hardness test and the tensile test results. In optical and scanning electron microscopy images, it was determined that the ferrite grain size decreased and the cementite phases (forming perlite) were oriented and regulated, especially, after the tandem and finish rollers, during the rolling operation. The tensile test properties of the R260 quality rail is determined, as the distance between the cementite phases decreases. Macro hardness, ultimate tensile strength, yield strength and percent elongation value are increased due to decrease of grain size. The fractured surface investigations by SEM after tensile test, it was determined that refractory-bound contaminants are used in the melting and ladle (secondary) metallurgy stages in during the preparation of the steel. However, it was determinate that FeO compound phase with spherical morphology almost homogeneously dispersed on SEM images of fractured surfaces.

**Keywords:** Rail steel, R260 steel, rolling, mechanical properties.

## 1. GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığı toplu ve ticari ulaşım sektöründe son yıllarda hızla büyüyen ve gelişen bir sektördür. Tren rayı demiryolu sisteminde kullanılan en önemli elamanıdır. Demiryolu sistemlerinin tamamında farklı ebat ve kimyasal bileşime sahip tren rayı bulunmaktadır. Son yıllarda kullanımı giderek artan hızlı trenlerin sayısı tren rayı, aks ve tekerlek üzerine düşen yüklerin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca kullanılan tren rayı ve tekerleğinin fiyatın düşürülmesi buna karşın kalitenin artırma çalışmaları artmaktadır (Udea vd, 2002).

Ray üretimi, ilk aşamada; gerekli hammaddelerden erimiş çelik üretimi ikinci aşamada; çelik üretim tesislerinde çeliğin üretimi ve sürekli döküm metodu ile sıvı çeliğin dökülmesi, üçüncü aşamada ray kesitlerinin oluşturulması için haddeme işlemi ve son aşamada; soğutma, düzleştirme, istenen uzunlukta kesme ve kalite kontrol aşamaları ile gerçekleşir. Ray çeliği Sürekli döküme gönderilen sıvı metal karıştırıcıdan potalara konvertelere şarj edilir. Kimyasal kompozisyonuna göre oksijen üfleme yaparak gerekli olan deoksidasyon, alyaj ve cüruf malzemeler ilave edilip; pota fırınına gönderilir ve döküm makinesi taretindeki pota açılarak tandişe aktarılır (Kalaycıoğlu, 2006). Bakır kalıplardan akan çelik su ile soğutulma işlemi ile haddeme yapılacak kısma gönderir. Daha sonra sürekli döküm haddelerinde sıvı çelik kütük olarak çekilir. Kütükler, tav fırınlarında 1250-1300°C sıcaklığa ısıtılır daha sonra haddeme işlemine tabi tutulur. Bu işlemin tamamlanması sonra rayın yaklaşık sıcaklığı 500-550 °C civarındadır. Rayın içerdiği hidrojen miktarını kontrol etmek amacıyla bu aşamadan sonra soğutma aşaması önemlidir. Soğuma aşaması özellikle dikey ve yanal olarak haddeme ve son kontrol aşamasında vazgeçilmez birer parametredir. Ray çeliklerinin kullanım ömrünü, aşınma direnci, yorulma, korozyon direncini mikro yapı ve mikro yapısında oluşması muhtemel hatalar sebep olmaktadır. Kullanım türüne göre ray üretimi rayın ebatlarına, çeliğin kalitesine ve servis şartlarına göre değişmektedir. Tren rayı üretimi artan ihtiyaçlara göre zaman içinde hızla ilerlemektedir. Özellikle ticari ulaşım sektöründe ray üzerine düşen yük ve buna bağlı hız değişimi, ray üretimde kullanılan çeliğin kalitesi ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesini kaçınılmaz olmuştur (Tulumtaş, 2001).

Ray çelikleri genellikle beynitik ve perlitik olarak değerlendirilmektedir. Ray seçiminde, kimyasal bileşime bağlı olarak değişen mikro yapı ve sertlik aralıklarına önemli bir faktördür. Kimyasal bileşiminde karbon ve manganez miktarı rayı gevrek (kırılgan) hale getirmektedir. Rayda servis şartlarına göre istenilen özellikler bakımından aşınma, yorulma ve plastik deformasyon direncinin fazla olması, kaynak edilebilme kabiliyetinin fazla olması rayın seçimi ve kullanımı bakımından önemlidir (Madler, vd, 2008). Zaman içerisinde kullanılan tren raylarının kullanım yerlerine bağlı olarak aşınma direncinin azaldığı gözükmektedir. Hasar süreçlerini yavaşlatmak veya tamamen önlemek için daha yüksek dirençli ve mukavemetli ray çeliklerinin geliştirilmesi kaçınılmazdır. Ray ve tekerlek arasındaki temas ile oluşan yuvarlanma yorgunluğu rayın deforme olmasına sebep olmaktadır. Yuvarlanma yorgunluğu direncinin yüksek olması sebebiyle perlitik ve beynitik ray çeliklerin tercih edilmektedir. Demir yolu boyunca kullanılan tekerlek ile ray arasındaki temas alanı dikey gerilme bileşeni ile çekiş yükü tekerlek sırtının ek çapraz gerilmelere maruz kalır (Pointer vd, 2006). Yüksek hızlı tren raylarında yüksek aşınma direnci, yüksek akma mukavemeti, yüksek yorulma mukavemeti, yeterli tokluk ve iyi kaynak yapabilirliğine dikkat edilmektedir. Ray kullanımında kullanılan çeşitler zaman içinde sertliğine ve karbon miktarına göre değişmektedir (Girsch ve Heyder, 2006).

Bu çalışmada, Kardemir AŞ'deki R260 kalite ray çeliğinin haddeme işlemi aşamalarında mikro yapı ve mekanik özelliklerin gelişimi ve oluşumu detaylı olarak incelenmiştir. Haddeme işlemindeki her aşamada, haddeme yönüne bağlı olarak mikro yapı incelemeleri optik mikroskop (OM) ve tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve mekanik özellikler ise sertlik ve çekme testi ile değerlendirilmeye çalışılmıştır.

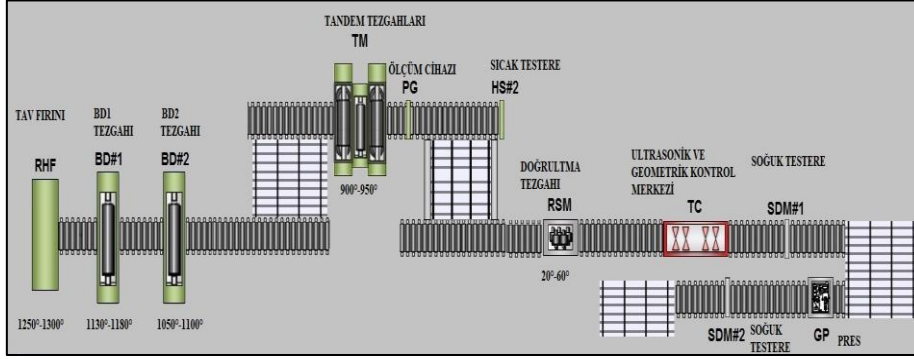
## 2. MALZEME VE METOT

Çalışmada kullanılan R260 ray çeliğinin kimyasal bileşimi (Ağ.%) kimyasal analiz KARDEMİR A.Ş Kalite Metalürji ve Laboratuvarlar Müdürlüğünde cihazında Spektro Lab M11 cihazında yapılmıştır. R260 ray çeliği kimyasal bileşiminde Tablo. 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki elementlere ilave olarak □ 0,35 Mo, 0,20 V, 0,60 Sn, 0,23 Sb, 0,22 Al, 0,69 Nb, 0,50 Ti ve 61 ppm N bulunmaktadır.

Tablo 1. R260 ray çeliği kimyasal bileşim değerleri.

Kalite	Elementler (%)									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Diğer	Fe
R260	0,71	1,07	0,40	0,015	0,016	0,031	0,031	0,034	0,102	97,56

KARDEMİR A.Ş.'de ray Profil Haddehaneler Müdürlüğü tesisinde sıcak haddeleme işlemi gerçekleştirildiği hadde tesisinin görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Hadde tesisinde bulunan merdane tezgâhlarında ilerleyen R260 ray çeliğinin tav fırınından başlayıp, kontrol sürecine kadar ölçüsel ve sıcaklık kontrollü altında şekillendirilmektedir.



Şekil 1. Haddeleme tesisinde şematik görüntüsü


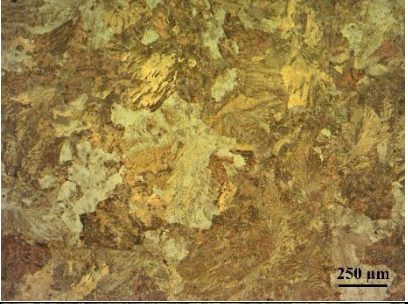
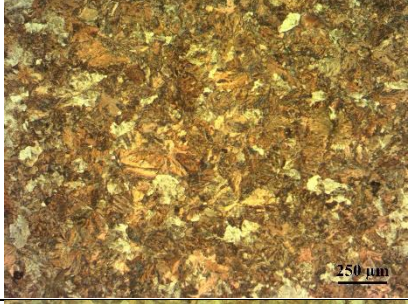
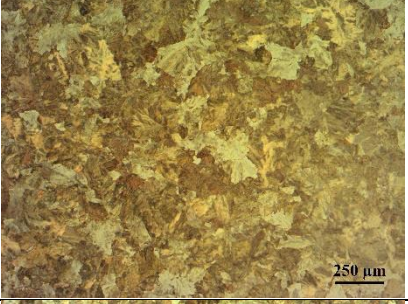
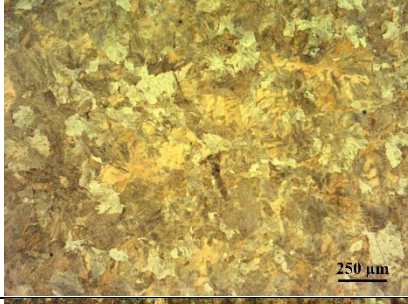
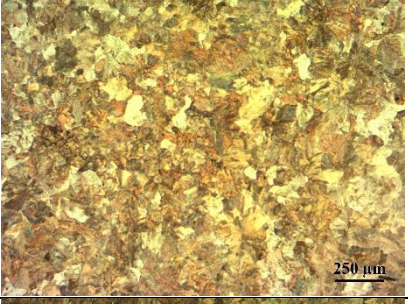
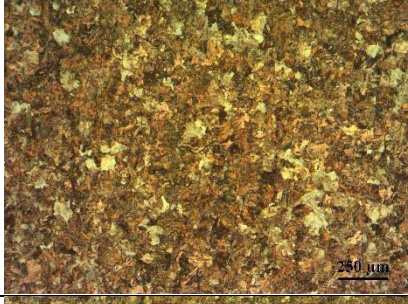
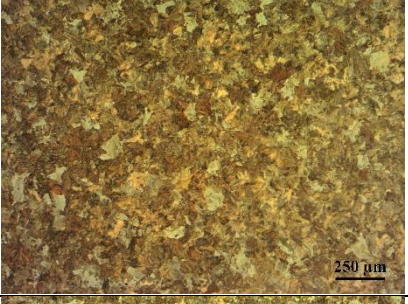
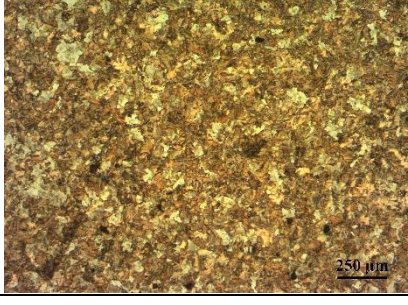
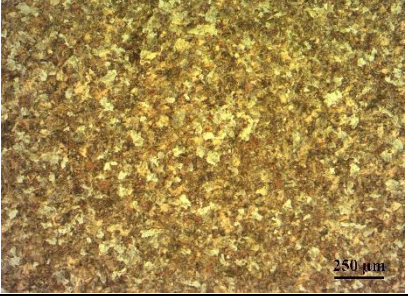
Metalografik işlemler için kesilen numuneler ASTM E03-11 standardına göre hazırlanmıştır. Standart metalografik işlemlerle hazırlanan numuneler, nital ile (ile 30-45 s. dağlandı. Optik mikroskop incelemeleri, NIKON marka optik mikroskop ve CLEMEX görüntü analiz programı ile gerçekleştirildi. Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve energy dispersive spectroscopy (EDS) incelemeleri, Carl Zeiss Ultra Plus Gemini (FEG) marka taramalı elektron mikroskobunda gerçekleştirildi. Numunelerin sertlik testleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Üretim Metalürjisi Laboratuvarında bulunan AFFRİ marka VRSD251 model sertlik ölçme cihazında HRc cinsinden sertlik değerleri ölçülmüştür. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla haddeleme işleminin her aşamasında ASTM B557M-10 standardına uygun 3 adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme testleri, 50 kN kapasiteli SHIMADZU AG-IS model çekme cihazında ve 1 mm/dak çekme hızında test edildi.

### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

#### 3.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

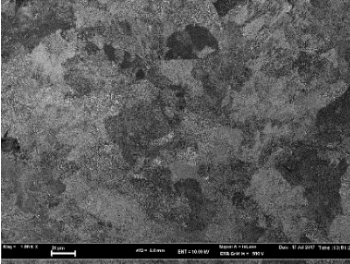
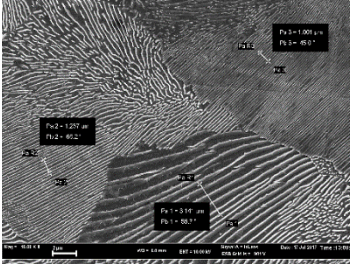

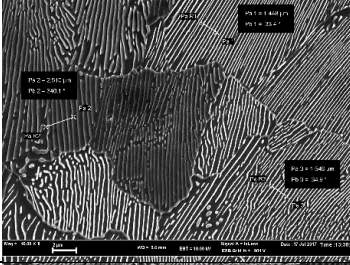
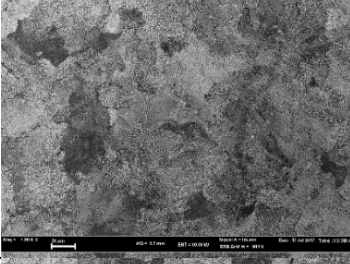
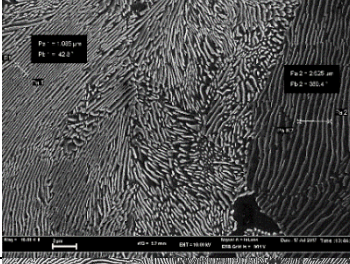
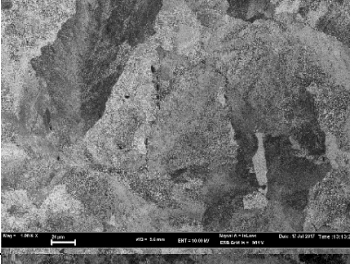
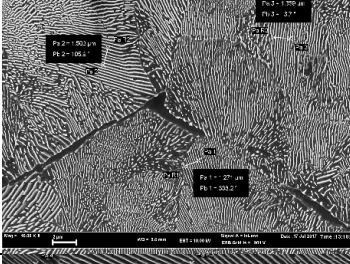

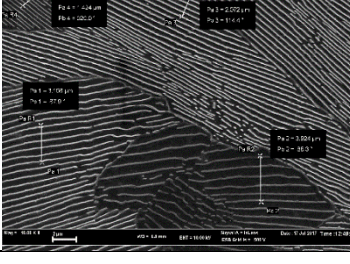
Haddeleme operasyonundaki tezgâh sıralamasına bağlı olarak alınan numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'deki OM görüntüleri incelendiğinde, blum aşamasındaki görüntü tanelerin sürekli döküm makinesinde üretildiğinden dolayı düzensiz, kaba ve östenit oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. BD1 tezgâhında sıcak deformasyona uğrayan R260 kalite ray çeliğinin tanelerinin küçüldüğü ve ferrit tanelerin homojen biçimde yüksek dağılmaya başladığı görülmektedir. BD1 tezgâhında tav fırınından alınan malzeme hem yatay hem dikey olarak blumun sistemde 90 derece çevrilmesi ile sıcak deformasyona maruz kalmıştır. Bu yüzden BD1 tezgâhında paralel ve dik konumda alınan numunelerin OM görüntülerinde benzerliğin sebebi budur. Devam eden üretim sürecine bağlı olarak BD2, tandem ve finish (doğrultma ve son işlem) yapıyı oluşturan tanelerin küçüldüğü ve östenit miktarının azaldığı görülmektedir. Yapıda blum halinde bulunan östenit deformasyon ile perlit yapıya dönüştüğü görülmektedir. Blum, BD1 ve BD2 tezgâhlarında paralel ve dik numunelerin mikro yapılarının birbirinden az da olsa farklı olduğu fakat Tandem ve finish tezgâhlarında bu orantısızlığın ortadan kalktığı belirlenmiştir. Özellikle son tezgâhlarda R260 kalite ray çeliğinin sıcaklığının düşmesi ve soğuma oranının hemen hemen her kesitinde eşit miktarda gerçekleşmesi deformasyonu paralel ve dik olan tanelerin homojen yapıya sahip olmasını sağladığı düşünülmektedir. Literatürde ve üreticilerin yaptıkları çalışmada ray çeliğinin üretimindeki haddeleme işleminin gerçekleştiği son tezgâhlarda soğumanın önemi vurgulanmaktadır. R260 Ray çeliğine uygulanan haddeleme operasyonu esnasında ray çeliğinde

özellikle perlit fazı oluşumu ve gelişimi üzerine etkisini netleştirmek için farklı büyütmelerdeki alınan SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.

	OM	
	Haddeleme Operasyonuna Paralel Mikroyapı	Haddeleme Operasyonuna Dik Mikroyapı
Blum	 250 µm	 250 µm
BD1	 250 µm	 250 µm
BD2	 250 µm	 250 µm
Tandem	 250 µm	 250 µm
Finish	 250 µm	 250 µm

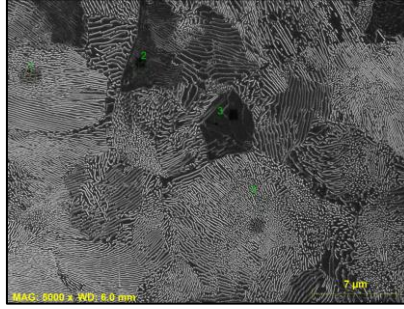
Şekil 2. R260 Ray çeliğine uygulanan haddeleme operasyonu esnasında paralel ve dik kesitlerdeki ray çeliğinin OM görüntüleri.

Şekil 3'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, blum aşamasındaki görüntü tanelerin sürekli döküm makinesinde katılaşma prosesine bağlı olarak oluşan perlitik fazın tanelerinin oldukça büyük ve perlit fazı oluşturan ferrit içindeki sementit miktarının az olduğu sementit fazlar arası mesafenin kaba olduğu görülmektedir. BD1 tezgâhında sıcak deformasyona uğrayan R260 kalite ray çeliğinin tanelerinin sementit fazının kırılmasına bağlı olarak tanelerin küçülmeye başladığı görülmektedir. BD2 tezgâhında ise parmak izi şeklinde sementit fazının ferrit fazı içinde çözündüğü karmaşık bir hal aldığı görülmektedir. Tandem ve finish (doğrultma ve son işlem) yapıyı oluşturan perlit tanelerinin küçüldüğü ve östenit miktarının tamamen yok olduğu görülmektedir. Tandem ve Finish tezgâhlarında parmak izi şeklindeki ferrit içinde çözünen sementit fazının toparlandığı ve homojen olarak dağılmaktadır. Ray çeliğinin kalitesinin özellikle perlitik çeliklerde sementit fazları arasındaki mesafe ile ilgili olduğu aynı zamanda sementit fazlarının yönlerinin taneler arasındaki geçişlerde çok zor olmasının mekanik dayanımı olumsuz etkilediği bilinmektedir.

	SEM	
Blum		
BD1		
BD2		
Tandem		
Finish		

Şekil 3. R260 Ray çeliğine uygulanan haddeleme operasyonu esnasında ray çeliğinden alınan farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri.

R260 kalite ray çeliğinin blum numunesinden alınan SEM görüntüsü ve EDS analizi aşağıda belirtilmiştir. Isıl işlem görmemiş malzemenin SEM görüntüsü Şekil 4.5'de ve EDS analiz sonuçları Tablo2'de verilmiştir.

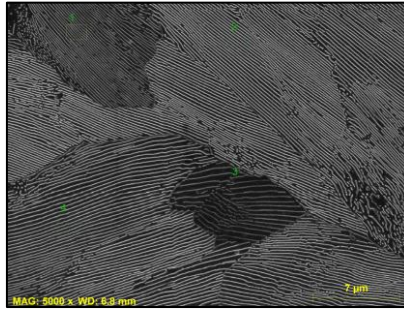


Şekil 4. R260 kalite ray çeliğinin (blum) ısıl işlem öncesi SEM görüntüsü.

Tablo 2. R260 kalite ray çeliğinde (blum) ısıl işlem öncesi EDS analizinde sonuçları.

Konum		Elementler (% Ağ.)							
		C	N	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
Şekil 4	1	6,33	1,05	0,26	0,90	0,00	0,08	2,06	89,33
	2	5,52	0,93	0,00	0,39	0,07	0,00	0,47	92,62
	3	6,16	0,83	0,33	0,50	0,00	0,01	0,30	91,88
	4	5,56	0,86	0,73	0,23	0,00	0,10	2,97	89,55

Finish haddeleme sonrasındaki malzemenin SEM görüntüsü Şekil 5'te ve EDS analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 5. R260 kalite ray çeliğinde finish haddeleme sonrasında malzemenin SEM görüntüsü.

Tablo 3. R260 kalite ray çeliğinde finish haddeleme sonrası malzemenin SEM görüntüsü ve EDS analizinde sonuçları.

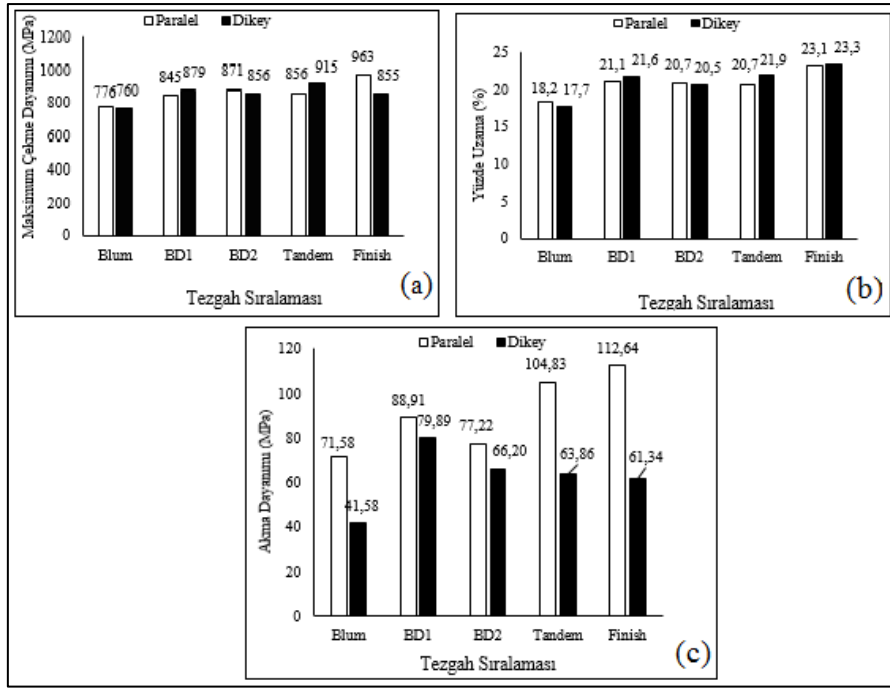
Konum		Elementler (% Ağ.)							
		C	N	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
Şekil 5	1	4,10	1,48	0,00	0,42	0,00	0,13	1,17	92,66
	2	5,42	0,79	0,00	0,53	0,03	0,00	1,62	91,59
	3	3,62	1,05	0,20	0,26	0,00	0,00	1,27	93,57
	4	4,72	1,10	0,00	0,49	0,22	0,20	1,15	92,12

Ueda ve ark.'nın perlitik çelikler üzerine yaptığı bir çalışmada; perlitik ray çeliğinin akma dayanımının artırmak için, alaşım elementleri kimyasal bileşimdeki karbon miktarını %0,80 üzerine çıkararak, katı çözelti ve çökeltme sertleştirilmesi ile dayanımın artırılabilirliği belirlenmiştir. Buna ek olarak, ince perlit oluşturma ısıl işlemi ve deformasyon ile yapıdaki perlitli oluşturan sementit lamellerin arasındaki mesafenin azalması ile benzer iyileştirmenin mümkün olduğuna değinmektedirler (Ueda vd, 2002). Mädler ve ark. ise perlitik ray çeliklerinin perlit fazını oluşturan sementit lamellerin arasındaki mesafenin azalması sonucunda bey nitik çeliklere göre daha iyi mekanik özellikler sergilediğini ve aşınma dayanımının arttığını bildirmektedirler (Mädler vd, 1998). Son yirmi yılda bey nitik ray çelikleri üzerine

yapılan çalışmalarda fazla bir yol kat edilmemesinin sebebi beynitik yapının oluşumunun karmaşık olmasıdır. Bunun tam tersine perlitik yapının ferrit ve sementit fazlardan oluşması perlitik ray çeliklerinin tercih sebeplerinden temeldir. Beynitik ray çeliklerinde basitçe üst ve alt beynit fazlarında ferritik ve sementit fazlardan oluşmasına rağmen, serbest karbürü beynitik ve ferrit faz ile beraber, martenzitik+östenitik fazların oluşması yapının karmaşıklığının bir göstergesidir (Girsch vd, 2005). Perlitik karbonlu çeliklerin diğer çeliklere göre kıyaslandığında yüksek dayanım, iyi aşınma direnci ve düşük fiyatı göze çarpan özellikleridir. Özellikle rayların yüksek yük altında ve lokal stres altında çalıştıkları düşünülürse, yorulma ile oluşan çatlak ve geliş en önemli sorundur. Perlitik ray çeliklerinde mikro yapıdaki sementit fazlarının arasındaki mesafenin azaltılması ve tanelerin içinde farklı yönlerde bu sementit yönlendirilmesi ile ray ve tekerlek arasında yüzeyde oluşan yorulma çatlak oluşumu ve ilerlemesine engel olunmaktadır. R260 ray çeliklerinde perlit fazının içinde bulunan lameller arası bu mesafenin azalması yorumla çatlak büyüme enerjisini azaltmaktadır. R370HT ray çelikleri ise R260 kalite ray çeliklerine nazaran çok daha iyi yorulma ömrüne sahiptir (Zerbst vd, 2005).

### 3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

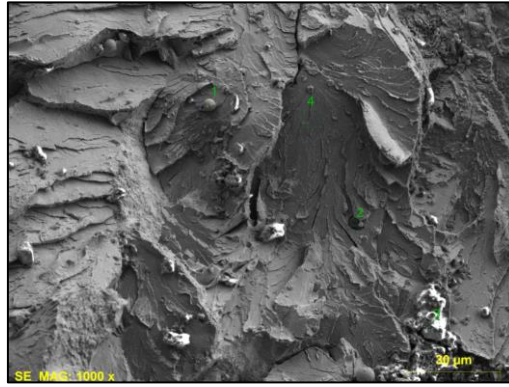
Haddemeleme operasyonundaki tezgâh sıralamasına bağlı olarak elde edilen ray çeliğinin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 6'da haddemeleme yönüne bağlı olarak çekme testinden elde edilen test sonuçları verilmiştir.



Şekil 6. Haddemeleme operasyonundaki tezgâh sıralamasına ve haddemeleme yönüne bağlı çekme testi sonuçları, maksimum çekme dayanımı (a), yüzde uzama (b) ve akma dayanımı (c).

Blum halinde ortalama maksimum çekme dayanımına göre, BD1 tezgâhındaki ilk haddemeleme deformasyonu işlemiyle birlikte %12 gibi bir artış göstermektedir. BD2 tezgâhında ise hemen hemen aynı ortalama devam etmektedir. Tandem ve BD2 tezgâhına ayrıca Finish ve Tandem tezgâhına geçişi sonrasında bir önceki tezgâha göre yaklaşık %10 civarında bir artış söz konusudur. Blum ve Finish tezgâhları arasında kıyaslama yapıldığında toplamda ortalama maksimum çekme dayanımının yaklaşık %19 civarında bir artış söz konusudur. Çekme testi maksimum test sonuçlarına göre, ferrit tane boyutunun küçülmesine ve yapının gelişimine bağlı olarak haddemeleme deformasyonu operasyonu sonrasında R260 ray çeliğinin ortalama maksimum çekme dayanımının arttığı görülmektedir. Blum halinde yüzde uzama değeri ortalaması göre, BD1 tezgâhındaki ilk haddemeleme deformasyonu işlemiyle birlikte %18 lik bir artış göstermektedir. BD2 tezgâhında ise %4 civarında bir düşme söz konusudur. Tandem tezgâhında %3 lük ve Finish tezgâhında %8 lik bir artış oluşmuştur. Blum ve Finish tezgâhları arasında kıyaslama yapıldığında toplamda yüzde uzamanın yaklaşık %30 civarında bir artış söz

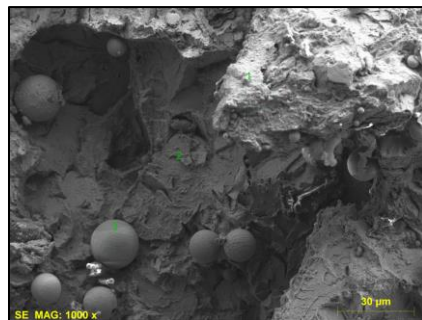
konusudur. Yüzde uzama test sonuçlarında BD2 tezgâhında ve Tandem tezgâhi sonrasında yüzde uzamadaki düşüşün perlit yapısı oluşturan sementit lamellerin karmaşıklığından (parmak izi morfolojisinde) kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha sonra Finish tezgâhında bu sementit lameller arasındaki yönelme ve mesafenin homojen olmasına bağlı olarak yüzde uzama miktarının arttığı düşünülmektedir. R260 ray çeliğinin ortalama akma dayanımları sırasıyla, 56,58MPa, 84,40 MPa, 71,71 MPa, 84,34 MPa ve 87,00 MPa'dır. Blum halinde yüzde uzaman değeri ve deformasyon sonrasında akma dayanımı karşılaştırıldığında tezgâhındaki ilk haddeleme deformasyonu işlemiyle birlikte %52 lük bir artış göstermektedir. BD2 tezgâhında ise BD1 tezgâhına göre %15 civarında bir düşme söz konusudur. Bu test sonuçlarına göre akma dayanımındaki düşüşün perlit yapısı oluşturan sementit lamellerin karmaşıklığı ve mesafesinin azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çekme test sonuçlarına göre, R260 ray çeliğinin maksimum çekme, akma dayanımı ve yüzde uzama değerleri üzerine perlit yapının tane boyutunu ve perlit fazı oluşturan ferrit ve sementit fazı ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle ferrit fazında çözünen sementit fazlarının morfolojik değişimi ve sementit fazlar arasındaki mesafenin akma ve yüzde uzama değeri üzerinde baskın olduğu belirlenmiştir (SEM görüntüleri ile bağlantılı olarak). OM görüntüleri incelendiğinde, blum aşamasındaki görüntü tanelerin sürekli döküm makinesinde üretildiğinden dolayı düzensiz, kaba ve östenit oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 7 ve 8'de çekme testi sonrasında kırık yüzeyden alınan SEM ve Tablo 4 ve 5'te EDS analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 7. R260 kalite ray çeliğinin haddeleme öncesi numunenin çekme testi sonrasında kırık yüzey görüntüsü.

Tablo 4. R260 kalite ray çeliğinin tezgâh sıralamasına bağlı test edilen çekme testi sonrasında kırık yüzeylerden alınan EDS analizi sonuçları.

Konum	Elementler (% Ağı.)											
	C	N	O	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Ni	Cu	
Şekil 7	1	6,62	1,87	36,54	0,21	0,33	0,14	-	1,40	50,75	0,63	1,50
	2	3,77	44,02	7,08	0,16	0,08	0,43	-	18,0	25,35	0,21	0,17
	3	22,95	3,00	44,14	1,48	15,20	0,22	2,04	0,00	3,03	0,36	0,39
	4	2,98	0,24	1,66	0,00	0,19	0,07	-	2,34	92,52	0,00	0,00



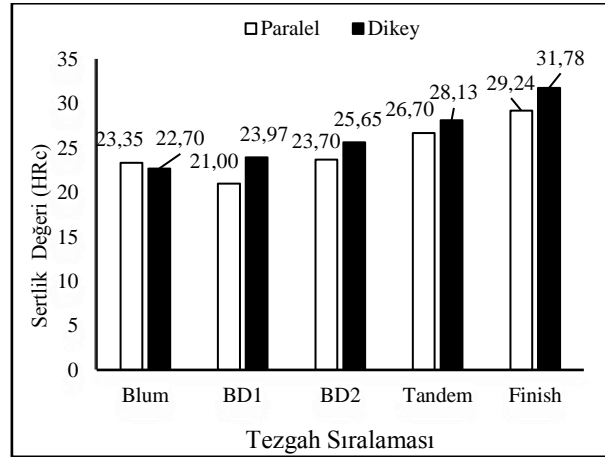
Şekil 8. R260 kalite ray çeliğinin sertleştirme (Finish) sonrası numunenin çekme testi sonrasında kırık yüzey görüntüsü.



Tablo 5. R260 kalite ray çeliğinde tandem haddeleme sonrası malzemenin SEM görüntüsü ve EDS analizinde sonuçları belirtilmiştir.

Konum		Elementler (% Ağı.)									
		C	N	O	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Fe
Şekil 8	1	18,03	1,81	31,01	0,14	0,61	0,08	0,21	5,49	1,11	40,45
	2	2,92	0,00	3,60	0,07	0,35	0,16	0,02	-	2,87	90,00
	3	1,88	0,97	37,02	0,00	0,11	0,04	0,00	-	1,51	58,46

R260 kalite ray çeliğinin sıcak deformasyon uygulandığı hadde tezgâhı sırasına göre alınan makro sertlik sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. R260 kalite perlitik ray çeliğinin tezgâh sıralamasına göre haddeleme deformasyonuna bağlı olarak R260 kalite çeliğin sertliğinin arttığı görülmektedir. Blum (kütük) halinde yatayda ve dikeyde alınan sertlik değerlerinin hemen hemen yakın olduğu daha sonra artan deformasyon miktarına bağlı olarak haddeleme yönüne dik konumdan alınan numunelerde sertlik değerinin haddeleme yönüne paralel alınan numunelere göre nispeten yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mikro yapıyı oluşturan perlit tanelerinin haddeleme deformasyon operasyonuna dik konumda daha fazla deforme olması kırılmasıdır. Buna ek olarak Şekil 2'deki OM görüntüleri ve Şekil 3'deki SEM görüntüleri ile beraber düşünüldüğünde yapıdaki perlitin önce kırılması ve daha sonra tane içinde sementit fazların toparlanması ile geliştiği düşünülmektedir. Sementit fazlar arasındaki mesafenin kısaldığı ve taneler arasında farklı yönlerde yönlendiği SEM görüntülerinde net olarak belirlenmiştir.



Şekil 9.Haddeleme yönüne göre ortalama sertlik değerleri.

#### 4. TEŞEKKÜR

Bu projeye verdiği katkılardan dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar birimine ve KARDEMİR A.Ş. Genel Müdürü ve Ray Profil Haddehane Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

#### 5. SONUÇLAR

R260 kalite ray çeliğinin haddeleme operasyonu boyunca mikro yapı incelemeleri ve mekanik özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- R260 kalite ray çeliğinin haddeleme operasyonu boyunca mekanik özellikleri haddeleme operasyonuna bağlı olarak değişmektedir.
- OM görüntüleri incelendiğinde, haddeleme operasyonunda tezgâh finish tezgâhına doğru tane boyutunun incelendiği ve tandem tezgâhına kadar yapıdaki perlit miktarının hemen hemen aynı miktarda iken bir anda düştüğü belirlenmiştir. Bu düşüşün sebebinin haddeleme sırasında deformasyonun ray çeliğine paralel ve dik yönlerde aynı anda olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha sonra finish tezgâhında ise sırası ile dikeyde ve yatayda deformasyon

işleminin devam ettiğinden perlit miktarının arttığı ve hemen hemen %98-97 oranına çıktığı belirlenmiştir.

- SEM görüntülerinde, Blum halindeki perlit fazı oluşturan (ferrit ve sementit fazları bileşimi) sementit fazı çizgilerinin aralarındaki ferrit miktarının daha fazla olduğu ve Tandem tezgâhına kadar sementit çizgilerinin sıklaştığı görülmektedir. Ayrıca Finish tezgâhı sonrasında bu sementit çizgilerinin doğrultularının yönlendiği belirlenmiştir.
- Tezgâh sıralamasına bağlı olarak sertlik değerlerine bakıldığında haddeleme operasyonuna dik kesitte sertlik miktarının fazla olduğu belirlenmiştir.
- R260 ray çeliğinin çekme test sonuçlarına göre, maksimum çekme, akma dayanımı ve yüzde uzama değerleri üzerine perlit yapının tane boyutunu ve perlit fazı oluşturan ferrit ve sementit fazı ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle ferrit fazında çözünen sementit fazlarının morfolojik değişimi ve sementit fazlar arasındaki mesafenin akma ve yüzde uzama değeri üzerinde baskın olduğu belirlendi.

## 6.KAYNAKLAR

- [1] Girsch, G., Heyder, R., Kumpfmüller, N. and Belz, R., "Comparing the life-cycle costs of standard and head-hardened rail", Railway Gazette International, 9, 549-551, 2005.
- [2] Girsch, G. and Heyder, R., "Advantage perlitic and bainitic high strength rails promise to improve rolling contact fatigue", 7th World Congress on Railway, Montreal, 1-9, 2006.
- [3] Kalaycıoğlu, O., "Kardemirde ray üretiminde iyileştirmeler", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 9,58-62, 2006.
- [4] Madler, K., Zoll, R., Heyder, R. ve Brehmer, M., "Rail Material-Alternatives and limits", 8th World Congress on Railway, Seoul, 1-9, 2008.
- [5] Mädler, K., Zoll, A., Heyder, R., and Brehmer, H., "Rail Materials- Alternatives and Limits", Deutsche Bahn AG, DB Systemtechnik, Brandenburg-Kirchmöser, Germany, 2: 54-59, 1998.
- [6] Pointner, P., Joerg, A. ve Jaiswal, J., "Definitive guidelines on the use of different rail grades", INNOTRACK DELIVERABLE Report, Paris 4-43, 2006.
- [7] Tulumtaş, H., "Demir yolları ve demir çelik sektörü", I. Demir-Çelik Sempozyumu, Zonguldak, 92-97, 2001.
- [8] Ueda, M., Uchino, K. and Kobayashi, A., "Effects of carbon content on wear property in pearlitic steels", 253, 1-2, 107-113, 2002.
- [9] Zerbst, U., Mädler, K. and Hintze, H., "Fracture mechanics in railway applications—an overview", Engng Fract Mech, 72(2),163–94, 2005.

# **A NUMERICAL METHOD FOR VEHICLE-BRIDGE INTERACTION CONSIDERING SUDDEN ACCELERATION AND DECELERATION OF THE CAR**

**Mehmet Akif Koç<sup>1\*</sup>, Mustafa Eroğlu<sup>2</sup>, İsmail Esen<sup>3</sup>**

*<sup>1\*</sup> Sakarya Applied Sciences University, Sakarya, Turkey, makoc@sakarya.edu.tr*

*<sup>2\*</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, mustafaeroglu@sakarya.edu.tr*

*<sup>3\*</sup> Sakarya University, Karabük, Turkey, iesen@karabuk.edu.tr*

## **Abstract**

A vehicle moving on a flexible structure likewise a bridge beam with sudden acceleration and deceleration velocity causes sliding in wheels. This impact effect designing of rail components, supports and substructure. In this study ten degree of freedom (DOF) train bogie is considered to analyse effect of sudden acceleration and deceleration impact in terms of train bogie dynamics. Therefore, the bridge beam is considered simple supported Euler-Bernoulli beam with uniform cross-section. The equation of motion vehicle bridge coupled system has been obtained Lagrange equation and these equations converted to first order state-space representation using state variables. Then equation of motion of entire system has been solved step by step technique using fourth order Runge-Kutta algorithm in time domain and results have been presented in the study in term of vehicle dynamics.

**Keywords:** Train bogie, sudden acceleration and deceleration, vehicle bridge interaction, Runge-Kutta.

## **1. Introduction**

Dynamic behaviour conducted under moving loads has been treated in the literature within a wide framework as an important problem. Studies which provide analytic and semi-analytic solutions of various moving load problems [1,2] are the most important studies conducted in this area. Moving mass and structure interaction is also an important study subject in military applications of the mechanics, and in some studies [3–5] one can find some FEM and heuristic methods for determining muzzle displacements resulting from projectile and gun barrel interaction by considering the Coriolis, centripetal and inertia effects of the high-speed moving projectile inside the gun barrel.

With the developments in computers and presence of high-potential computers, studies were started on complex studies which take into consideration the bridge and train dynamics together [6]. In these studies, the effect of suspension of train [7–9], impact of rail roughness [6], effect of bridge span length, effect of train instant braking and acceleration [10,11], effect of train axle width, effect of train body mass, impact of train speed [12,13], and impact of bridge beam unit length mass and structural

damping of the bridge have been investigated [14]. Bridge beam has usually been designed and analysed with FEM using beam, plate, shell and solid elements [10,15,16].

From prior papers, for instances [17,18], that are analytical methods for different situations of moving masses on structures to new ones such as FEM technique [11,15,19,20] the interaction of train-bridge have been considered according to various aspects of the interaction. In general, the studies are focused on the dynamic responses of the bridges and analyse procedures are formed upon a Vehicle-Bridge-Interaction (VBI) element using Newmark- $\beta$  technique and the dynamics of train cars are not considered much [21–23]. In this study, the effect of the sudden deceleration of the train car upon train dynamic response has been investigated according to train body vertical displacement and acceleration.

## 2. Mathematical Modelling

In order to model train-bridge interaction, bridge beam which can be modelled as per simply supported Euler-Bernoulli beam theory, shown in Figure 1, and semi-vehicle train model with ten degree of freedom (DOF) which can move with a fixed speed  $v$  towards the left end to the right end of the beam is shown. Train model usually consists of front-rear bogies and train body. Parameters on the model shown in Figure 1 as per  $r_i$  ( $i=1, 2,3,\dots,10$ ) represent train body vertical displacement ( $r_1$ ), angular rotation of the body ( $r_2$ ), vertical dislocation of front bogie ( $r_3$ ) and its angular rotation ( $r_4$ ), vertical displacement of rear bogie ( $r_5$ ) and its angular rotation ( $r_6$ ), vertical displacement of front bogie-rear bogie wheels (wheel 1, wheel 2) ( $r_7, r_8$ ) and vertical displacement of front bogie-rear bogie wheels (wheel 3, wheel 4) ( $r_9, r_{10}$ ) respectively.

Parameters  $m_c$ ,  $m_{b1}$  and  $m_{b2}$  respectively represent train mass, front bogie mass and rear bogie mass, whereas  $I_c$ ,  $I_{b1}$ ,  $I_{b2}$  respectively represent body, front and rear bogie mass moment of inertia.  $l_1$ ,  $l_2$  distances are respectively the distance of front bogie mass center to train body mass center and of rear bogie mass center to train body mass center.  $d_1$ ,  $d_2$  distances are, respectively, distances of front wheel to bogie mass center and of rear wheel to bogie mass center for front bogie. Likewise,  $d_3$ ,  $d_4$  distances respectively show the distance of front wheel to bogie mass center and rear to bogie mass center for rear bogie. Parameters  $K_{w1,2}$ ,  $C_{w1,2}$  and  $K_{w3,4}$ ,  $C_{w3,4}$  respectively represent front and rear bogie suspension spring coefficients and damping coefficients. In addition, parameters  $K_{v1,2}$ ,  $C_{v1,2}$  are respectively the spring coefficients and damping element coefficients of the suspension system which is front and rear bogies to the train body.

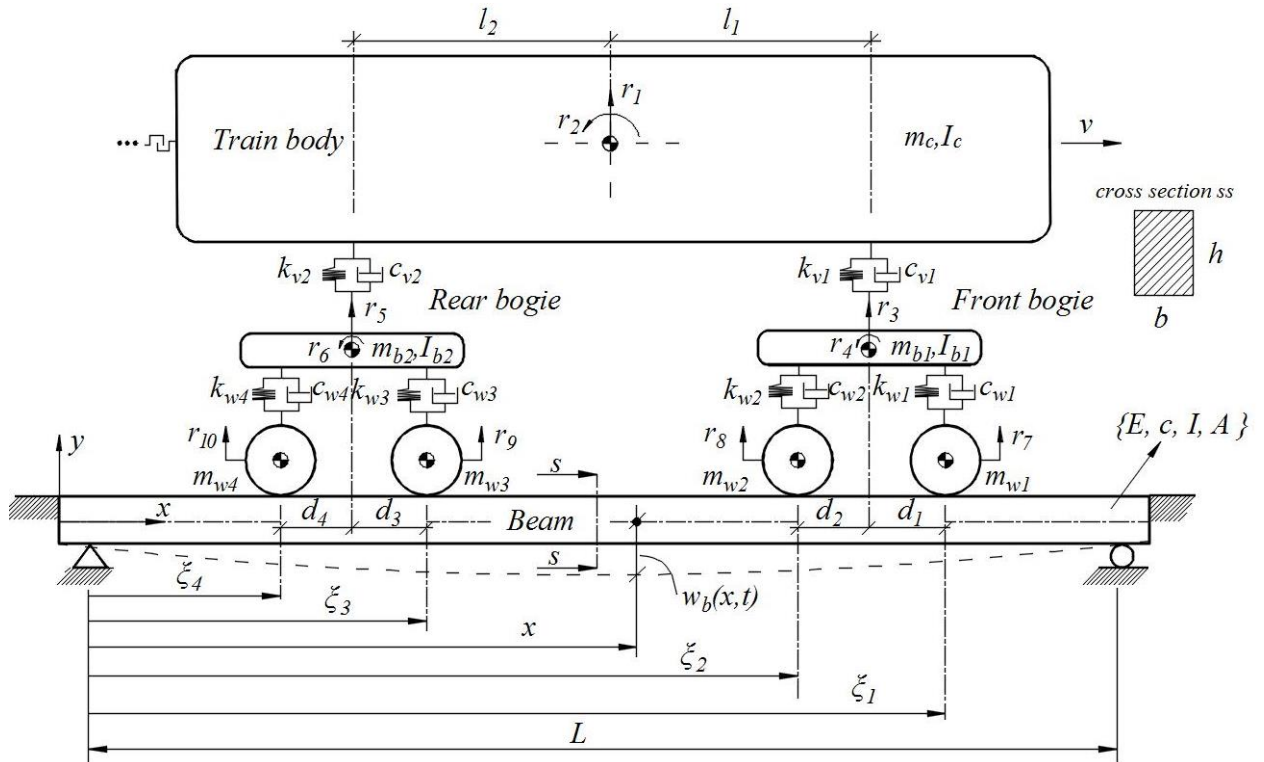


Figure 1. Train bridge interaction model.

The vertical movement of the bridge  $w_b(x, t)$  represents the deflection of any point  $x$  on the beam of the bridge at time  $t$ , relative to a reference point on the left-hand support of the beam. The symbol  $v$  represents the constant velocity of the train as it moves from the left end of the beam to the right end. In the formulation for the VBI analysis following assumptions will be adopted:

### 3. Numerical Examples

In this section, a 10-DOF train model which moves over the simple supported bridge beam has been investigated according to train sudden deceleration. The mathematical model of the train and bridge has been given by studies [24,25]. The train and bridge parameters are given by Table 1. Figure 2 shows train body vertical displacement for train initial velocity  $v=40$  m/s, and three different train decelerations ( $a=-8, -4, -2$  m/s<sup>2</sup>). In the same way, Figure 3 shows train body vertical acceleration for three sudden decelerations. As shown in figure, an increase in train sudden deceleration led to an increase in train body accelerations. Figure 4-5 show respectively train body angular rotation and acceleration for three different sudden deceleration ( $a=-8, -4, -2$  m/s<sup>2</sup>). Sudden braking of the train while moving on the bridge causes additional moment on the vehicle body. So, as shown in Figures 4-5, train body angular rotation and acceleration increased.

**Table 1** The properties of train and bridge models

Train parameters	
Train body mass ( $m_c$ )	41.75 ton
Front and rear bogie masses ( $m_{b1}=m_{b2}$ )	3.04 ton
Mass of wheels ( $m_{w1}=m_{w2}=m_{w3}=m_{w4}$ )	1.78 ton
Mass moment of Inertia of train body ( $I_c$ )	2080 ton m <sup>2</sup>
Mass moment of Inertia of front and rear bogies ( $I_{b1}=I_{b2}$ )	3.93 ton m <sup>2</sup>
Stiffness of primary suspension system ( $k_{v1}=k_{v2}$ )	1180 kN/m
Stiffness of secondary suspension system ( $k_{w1}=k_{w2}=k_{w3}=k_{w4}$ )	530 kN/m
Damping of primary suspension system ( $c_{v1}=c_{v2}$ )	39.2 kNs/m
Damping of secondary suspension system ( $c_{w1}=c_{w2}=c_{w3}=c_{w4}$ )	90.2 kNs/m
Half of longitudinal distance between centers of gravity of front and rear bogies ( $l_1=l_2$ )	8.75 m
Longitudinal distance between centers of gravity of front and rear bogies and nearest side of bogies ( $d_1=d_2=d_3=d_4$ )	1.25 m
Bridge parameters	
Elasticity module ( $E$ )	207 GPa
Bridge length ( $L$ )	35 m
Cross section inertia moment ( $I$ )	0.2 m <sup>4</sup>
Mass of unit length of bridge ( $\mu$ )	10 t/m
Bridge equivalent damping coefficient ( $c$ )	1750 Ns/m

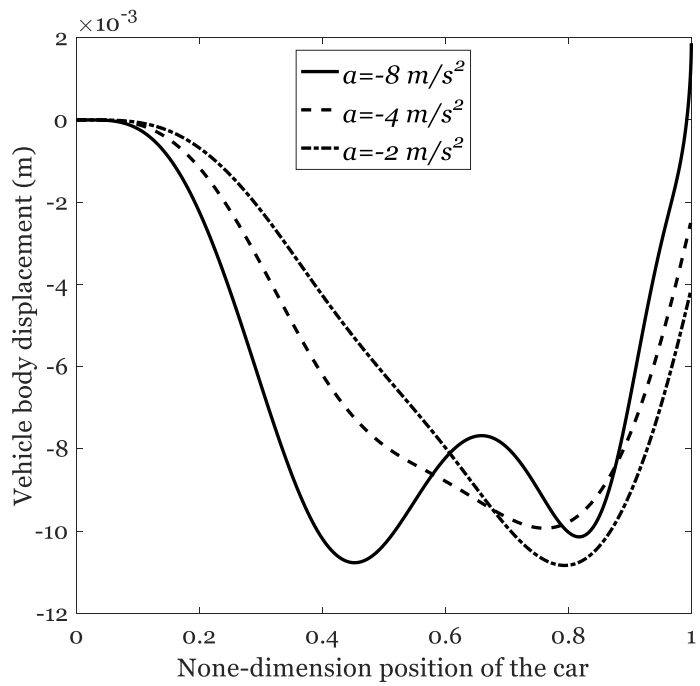


Figure 2. Train body displacement for three different decelerations.

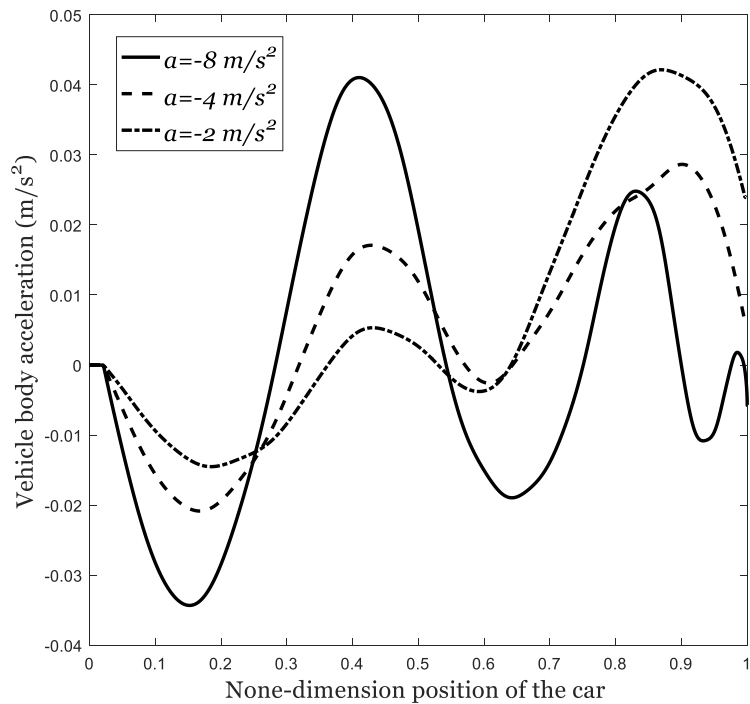


Figure 3. Train body acceleration for three different decelerations.

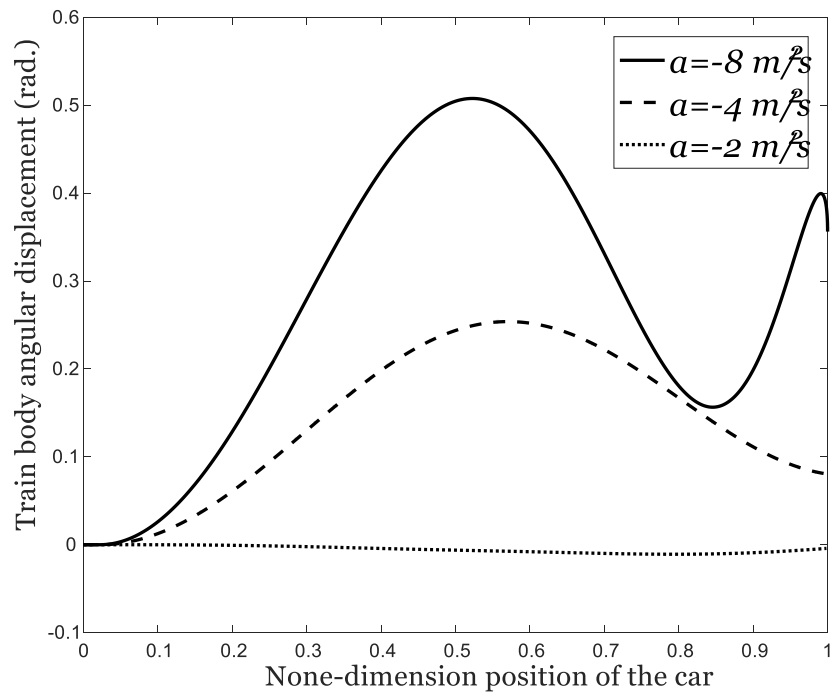


Figure 4. Train body angular displacement for three different decelerations.

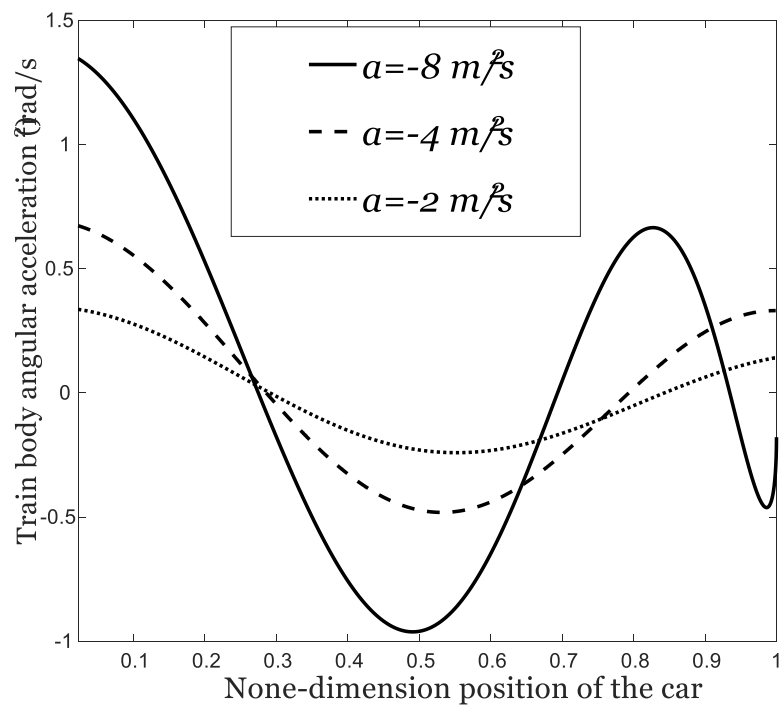


Figure 5. Train body angular acceleration for three different decelerations.



## 4. Conclusions

In this study, 10-DOF train model and simple supported Euler-Bernoulli beam which interact with each other has been investigated according to train sudden acceleration and deceleration. If any train moves constant speed on the bridge, dynamic forces between train wheels and bridge occur only vertical direction. But, any vehicle which moves on the flexible structures likewise bridge beam starts sudden acceleration movement, in this way, additional to vertical forces horizontal force between train wheels and bridge beams occurs. Consequently, sudden deceleration of the train when it moves on the bridge has effects train dynamic response train body displacement and acceleration aspects.

## References

- [1] C.I. Bajer, B. Dyniewicz, Numerical Analysis of Vibrations of Structures under Moving Inertial Load, Springer, New York, 2012. doi:10.1007/978-3-642-29548-5.
- [2] L. Fryba, Vibration solids and structures under moving loads, Thomas Telford House, 1999.
- [3] İ. Koc, Mehmet Akif; Esen, The Effect of the Flexibility of a Bridge on the Passenger Comfort of a Travelling Vehicle Including Road Roughness, in: ISITES 2015, valencia, 2015: pp. 2206–2215.
- [4] İ. Esen, M.A. Koç, Dynamic response of a 120 mm smoothbore tank barrel during horizontal and inclined firing positions, Lat. Am. J. Solids Struct. 12 (2015) 1462–1486.
- [5] M.A. Koç, İ. Esen, Y. Çay, Tip deflection determination of a barrel for the effect of an accelerating projectile before firing using finite element and artificial neural network combined algorithm, Lat. Am. J. Solids Struct. 13 (2016) 1968–1995. doi:http://dx.doi.org/10.1590/1679-78252718.
- [6] K. Youcef, T. Sabiha, D. El Mostafa, D. Ali, M. Bachir, Dynamic analysis of train-bridge system and riding comfort of trains, J. Mech. Sci. Technol. 27 (2013) 951–962. doi:10.1007/s12206-013-0206-8.
- [7] M. Majka, M. Hartnett, Effects of speed , load and damping on the dynamic response of railway bridges and vehicles, Comput. Struct. 86 (2008) 556–572. doi:10.1016/j.compstruc.2007.05.002.
- [8] M. Ülker-kaustell, R. Karoumi, Influence of non-linear stiffness and damping on the train-bridge resonance of a simply supported railway bridge, 41 (2012) 350–355. doi:10.1016/j.engstruct.2012.03.060.
- [9] P. Lu, H. Shao, R. Zhao, Investigation and Verification of the Fatigue Characteristic of the Composite Bridge Deck of a Steel Truss Arch Bridge, Arab. J. Sci. Eng. 42 (2017) 1283–1293.
- [10] H. Azimi, K. Galal, O.A. Pekau, A modified numerical VBI element for vehicles with constant velocity including road irregularities, Eng. Struct. 33 (2011) 2212–2220. doi:10.1016/j.engstruct.2011.03.012.
- [11] H. Azimi, K. Galal, O.A. Pekau, A numerical element for vehicle-bridge interaction analysis of vehicles experiencing sudden deceleration, Eng. Struct. 49 (2013) 792–805. doi:10.1016/j.engstruct.2012.12.031.
- [12] Y. Wang, Q. Wei, J. Shi, X. Long, Resonance characteristics of two-span continuous beam under moving high speed trains, Lat. Am. J. Solids Struct. 7 (2010) 185–199.

- [13] G. Gu, Resonance in long-span railway bridges carrying TGV trains, *Comput. Struct.* 152 (2015) 185–199. doi:10.1016/j.compstruc.2015.02.002.
- [14] E.J. O'Brien, P.J. McGettrick, A. Gonza, Identification of damping in a bridge using a moving instrumented vehicle, 331 (2012) 4115–4131. doi:10.1016/j.jsv.2012.04.019.
- [15] M.-K. Song, H.-C. Noh, C.-K. Choi, A new three-dimensional finite element analysis model of high-speed train–bridge interactions, *Eng. Struct.* 25 (2003) 1611–1626. doi:10.1016/S0141-0296(03)00133-0.
- [16] S.A. Kilic, H.J. Raatschen, B. Körfgen, N.M. Apaydin, A. Astaneh-Asl, FE Model of the Fatih Sultan Mehmet Suspension Bridge Using Thin Shell Finite Elements, *Arab. J. Sci. Eng.* 42 (2017) 1103–1116. doi:10.1007/s13369-016-2316-y.
- [17] L. Frýba, A rough assessment of railway bridges for high speed trains, *Eng. Struct.* 23 (2001) 548–556. doi:10.1016/S0141-0296(00)00057-2.
- [18] Y. Bin Yang, Y.S. Wu, A versatile element for analyzing vehicle-bridge interaction response, *Eng. Struct.* 23 (2001) 452–469. doi:10.1016/S0141-0296(00)00065-1.
- [19] P. Lou, F.T.K. Au, Finite element formulae for internal forces of Bernoulli-Euler beams under moving vehicles, *J. Sound Vib.* 332 (2013) 1533–1552. doi:10.1016/j.jsv.2012.11.011.
- [20] N. Zhang, H. Xia, G. de Roeck, Dynamic analysis of a train-bridge system under multi-support seismic excitations, *J. Mech. Sci. Technol.* 24 (2010) 2181–2188. doi:10.1007/s12206-010-0812-7.
- [21] Y.S. Cheng, F.T.K. Au, Y.K. Cheung, Vibration of railway bridges under a moving train by using bridge-track-vehicle element, *Eng. Struct.* 23 (2001) 1597–1606. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0141-0296(01)00058-X.
- [22] S.H. Ju, H.T. Lin, A finite element model of vehicle-bridge interaction considering braking and acceleration, *J. Sound Vib.* 303 (2007) 46–57. doi:10.1016/j.jsv.2006.11.034.
- [23] H. Yang, Z. Chen, S. Li, H. Zhang, J. Fan, An integrated coupling element for vehicle-rail-bridge interaction system with a non-uniform continuous bridge, *Acta Mech. Solida Sin.* 28 (2015) 313–330. doi:10.1016/S0894-9166(15)30018-5.
- [24] M.A. Koç, İ. Esen, NUMERICAL ANALYSIS OF TRAIN-BRIDGE INTERACTION SYSTEM USING TEN DOF HALF CAR MODEL, in: 3rd Int. Symp. Railw. Syst. Eng., Karabük, 2016: pp. 178–183.
- [25] M.A. Koç, E. Eise, Influence of Train Mass on Vertical Vibration Behaviour of Railway Vehicle and Bridge Structure, in: 3rd Int. Symp. Railw. Syst. Eng., Karabük, 2016: pp. 184–189.

# DEMİRYOLU ARAÇLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ

M.Mete Öztürk <sup>a,\*</sup>, Ömür Akbayır

<sup>a,\*</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, mmozturk@anadolu.edu.tr

## Özet

Araştırmacılar son yıllarda artan enerji ihtiyacına bağlı olarak, alternatif enerji kaynakları, yenilenebilir enerji, enerjinin daha verimli kullanımı gibi konu çalışma konularına daha fazla yönelmektedirler. Bahsedilen sistemlerin ve cihazların elbette ki hayatımızda ki yeri ve önemi büyük olmakla birlikte, kuşkusuz ki bu sistemlerin içerisinde ulaştırma ve yine bu alanda raylı sistem araçları öne çıkmaktadırlar. Bu araçlar ister fosil yakıt kullansın, ister elektrik enerjisi kullansın, enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptirler. Bu çalışmada, literatürde yer alan raylı sistem araçlarının enerji verimliliği üzerine yapılan araştırmalar detaylı olarak incelenmiş ve konu üzerinde yapılan yayınlar dikkatlice özetlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Enerji verimliliği, ulaştırma, raylı sistemler, enerji tüketimi

## Abstract

In recent years, depending on the increasing energy demand, researchers are focusing more on subjects such as alternative energy sources, renewable energy, more efficient use of energy. These systems and devices, of course, have a great impact in our daily lives, and there is no doubt that transportation systems and these sub-rail system tools come to the forefront. These vehicles have an important role in energy consumption, whether they use fossil fuels or electricity. In this study, the researches on the energy efficiency of the railway systems found in open literature have been examined in detail and the publications on the subject have been carefully summarized.

**Keywords:** energy efficiency, transportation, railway systems, energy consumption

## 1. Giriş

Enerji kaynakları, yeni enerji türleri, yenilenebilir enerji, enerjiyi daha verimli kullanan cihazların tasarımı günümüzde araştırmacıların en sıcak konu başlıkları arasındadır. Bunun elbette ki başlıca sebebi hayatın her alanında enerjiye duyulan ihtiyacın artması fakat buna karşın enerji kaynaklarındaki kısıtlardır. Bahsedilen sistemlerin ve cihazların elbette ki hayatımızda ki yer ve önemi büyük olmakla birlikte, kuşkusuz ki bu sistemlerin içerisinde bir kaçı bir adım daha öne çıkmaktadır. Bunların başında demiryolu araçları gelmektedir. Bu araçlar ister fosil yakıt kullansın, ister elektrik enerjisi kullansın, enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptirler.

Raylı sistemler ile toplu taşıma, trafik sıklıkının azalması ve çevreye olan en alt düzeydeki etkisi ile giderek artan bir ilgiye sahiptir. Ne var ki, artan talep ve kullanım kapasitesine ilave olarak günümüzde yükselen enerji masrafları, sistemlerde kullanılan enerjinin daha verimli bir biçimde kullanılabilmesi ihtiyacını doğurmuştur [1]. Bunun sonucunda bu raylı sistemler alanından tüketilen enerjinin daha verimli kullanılabilmesi işletmecilerin ve araştırmacıların en önem verdiği hususlardan birisi haline gelmiştir.

Enerji yönetimi konusunda yapılan çalışmalar genel olarak beş grup altında toplanabilir, bunlar enerji tüketiminin en aza indirilmesi, tren ve tren setlerinin hızları ve optimizasyonları, operasyonların optimizasyonu, enerji geri kazanımları ve süper kapasitörler, enerji verimliliğinin geliştirilmesidir.

Bu çalışmada, literatürde yer alan raylı sistem araçlarının enerji verimliliği üzerine yapılan araştırmalar ve bunların sonucunda elde edilen verilerin paylaşıldığı raporlar, makaleler derlenmiştir. Konu üzerine yapılan yayınlar yukarıda belirtildiği üzere ilgili başlıklar altında toplanmış ve okuyucuya merak ettiği inceleme konularını ilgili başlıklar altında kolayca bulabilmesi sağlanmıştır. Çalışma ile hedeflenen enerji kaynakları açısından kısıtlı imkânlarla sahip olan ülkemizde, henüz gereken hassasiyetin gösterilmediği bu araştırma konusunda ilgilenen fakat henüz deneysel ya da nümerik olarak incelemelerine başlamamış olan araştırmacı ve okuyuculara konuyu mümkün olduğu kadar genel hatları ile tanıtılabilmek ve sonraki çalışmalara ışık tutabilmektir.

## 2. Enerji Tüketiminin En Aza İndirilmesi

Enerji verimliliğinin incelenmesindeki önemli basamaklardan birisi, enerji tüketiminin en aza indirilmesi gayretidir. Bunun başarılabilmesi için araştırmacılar öncelikli olarak raylı sistem araçlarının enerji tüketim davranışlarını takip etmişler bu davranışın nerede zirve yaptığını ve nerede en alt düzeye indiğini tespitte uğraşmışlardır.

Bu amaçla yürütölen çalışmalardan birisi Howlett ve diğeri [2] tarafından ortaya konmuştur. Çalışmada yük trenlerinde kumanda kontrolü vasıtası ile optimum sürüş stratejilerinin belirlenmesi gibi oldukça zor bir konuyu incelemişlerdir. Bu amaçla yeni bir lokal minimizasyon prensibini kullanan dik gradyenler yardımıyla seyahat halinde global optimizasyon stratejisi için kritik manevra / anahtarlama noktaları hesaplanmıştır. Çalışmada esas hedeflenen en doğru anahtarlama noktalarının belirlenmesi için en verimli hesaplamalı algoritmanın bulunmasıdır. Literatürde bu optimizasyonu yapacak farklı metotlar bulunmakla birlikte, daha doğru, daha çabuk ve daha verimli bir yolun kullanılması amaçlanmıştır. En doğru anahtarlama noktasını bulmak için her lokal dik bölümün kullanılıyor olması çalışmanın özgün tarafıdır. Metot Avustralya da optimal manevra / anahtarlama noktaları hesaplanmasında başarı ile uygulanmış ve uzun katarlardaki makiniste yardımcı olacakları

belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada [3] şehir içi demir yolu taşımacılığının enerji tüketimini bütüncül olarak azaltmak hedeflenmektedir. İlk olarak bu taşımacılık modeli, tipik enerji kırılmalarıyla birlikte genel tanımı yapılmış ardından da mevcut temel uygulamalar, stratejiler ve teknolojiler geniş kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Bu noktada, rejeneratif frenleme, enerji verimliliği dikkate alan sürüş, çekiş kayıpları konfor fonksiyonu optimizasyonu, enerji ölçümü, akıllı güç yönetimi ve yenilenebilir enerji mikro üretimi gibi kavramlara değinilecektir. Son olarak çalışmada şehir içi demir yolu ulaşımı için enerji korunumunun artırılması için mantıksal önermeler ortaya konmuştur. Bu önermeler, belirtilen kavramlar arasında ilişkileri gözeterak değerlendirme ve karşılaştırma olanağı sunmuştur. İlave olarak, enerji optimizasyonlu tarife, enerji verimliliğine dikkat eden sürüş stratejileri gibi hususları hesaba katmak suretiyle varsayımsal olarak %25-30 luk bir verim sağlanabileceği hesaplanmıştır. Tren setlerinde enerji tüketimi denilince akla gelen ilk durum aracın çekiş esnasında tükettiği enerjidir ki bu tüketilen enerjinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır, rölanti durumda tüketilen enerjiye pek dikkat değinilmemiştir. Powell vd. çalışmalarında [4], İngiltere'deki bir metro hattında kararlı durumdaki enerji tüketimini deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmada tren setinin toplam tükettiği enerjinin %11'nin kabin yardımcı ekipmanları tarafından kullanıldığı belirlenmiş ve bu yönden incelenmesinin dikkate değer olduğu not edilmiştir. Bu belirtilen enerjinin yine büyük bir kısmı kabin ısıtması için olduğu d tespit edilmiştir. Her ne kadar yürütülen çalışma soğuk bir bölgedeki belirli bir hat üzerinde de olsa, bu tip çalışmalar için öncül bir sonuç olarak kabul etmek yanlış olmayacak ve bu metodoloji farklı sistemlere uyarlanabilecektir.

Enerji tüketiminin azaltılması yönündeki çalışmalardan birisi de Lejeune [5] tarafından yayınlanmıştır. Çalışmada, enerji tüketiminin incelenmesinin öneminden bahsedilmiş ve bu konuda yapılan çalışmaların çoğunlukla seyahat süresi ile ilişkilendirilebileceği belirtilmiştir. Aslında yapılan araştırmaların kabaca enerji süresi ve enerji tasarrufu arasındaki tavizlerin dengelenmesinden ibaret olduğu ya da başka bir ifade ile her iki kriteri dikkate alan hız modellerinin optimizasyon problemi olduğu belirtilmiştir. Bu amaçla çalışmada, hız profillerine karar verecek kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak çeşitlilikte çözüm setleri elde etmek olduğu not edilmiştir. Geliştirilen algoritma çeşitlilik sağlayan çözümleri süreklilik gösteren bir uzayda incelemektedir. Yapılan analiz pareto analizine dayanmaktadır. Oluşturulan metodun doğrulaması gerçek bir hat üzerinde Saint Etienne-Rive de Giers hattı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Jong vd. ise çalışmalarında demir yolları elektrik tüketiminde önemli kullanıcılardan birisidir. Enerji tasarrufu programlarını ve ekonomik operasyon stratejilerini adapte edebilmek için enerji tahminleme modelleri gerekli olmaya başlamıştır. Çalışmada enerji tüketimini öngörebilmek için iki ayrı model önerilmiştir. Önerilen modelin doğrulaması için gerçek bir hat ve Tayvan demir yollarından bir tren seçilmiş ve deneyler bunlarla yürütülmüştür. Enerji tüketimleri önerilen modelle ve ticari bir program yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmış ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Aralarındaki farkın sadece %0.22 olması önerilen modelin enerji tüketimini tahmin etmedeki yeterliliğini göstermektedir. Modelin sonraki aşamalar ve uygulamalar için çoklu tren işletmelerinde ve enerji tüketimlerinin öngörülmesinde kullanılmaya yönelik geliştirilebileceği rapor edilmiştir.

### 3. Tren Hızının Optimizasyonu

Daha önce de belirtildiği gibi demiryollarındaki en önemli enerji tüketim basamağı aracın seyahati, bir diğer ifade ile çekişi esnasında tüketilen enerjidir. Bunun en iyilenmesi araştırmaları farklı açılardan yürütülmekle birlikte üzerinde odaklanılan konuların başında tren hızlarının en uygun çalışma aralıklarına çekilerek harcanan enerjinin azaltılmasıdır.

Bu yönde yapılan incelemelerden birisi Çin'de yayınlanmıştır. Araştırmacılar belirtilen çalışmada [7] öncelikle hatları ve yolcu trenlerini çalışmışlar, sonra çekiş enerji tüketimine simülasyon yaklaşımını izah etmişler, çalışmanın takip eden bölümlerinde çekiş enerji tüketimini farklı tip yolcu trenleri için farklı hedef hızlarda 10000 km / yolcu için ameliorated yaklaşımı kullanarak karşılaştırmalı olarak rapor etmişlerdir.

Çalışmada çekiş enerji tüketimi farklı konfigürasyon ve çekiş güçlerinde hedef hızların artışına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Enerji maliyetlerinin önem kazanması ile birlikte Çin demiryolları taşımacılığında kullanılmakta olan araçların bilgisayar destekli simülasyonu araştırmacılar tarafından farklı formasyonlarda ve kapasitelerde hızının arttırılması için yapılmıştır. Analizler sonucunda hızlı trenin Çekme enerji maliyetinin artışı, hedef hızın artışının iki katından fazla olduğu belirlenmiştir. Buna karşın metro araçlarında aynı maliyet hedef hızdaki artışa oranla dörtte bir oranında kalmaktadır. İlave olarak hızlı tren setlerinde daha uzun dizilerin hız limitlerine sınırlama getirdikleri de ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarda ayrıca metro ve konvansiyonel lokomotif dizilerinin genişletilmesi ile ivmelenme kabiliyetindeki azalmadan ötürü enerji maliyetlerinde azalma olduğu da görülmüştür.

Çindeki yüksek hızlı tren seyahatlerinin geliştirilmesi yönündeki çalışmalar devam ederken, yüksek hızın enerji tüketimi üzerindeki etkileri tam olarak araştırılmamıştır. Feng vd. başka bir çalışmalarında [8] yüksek hızlı trenin belirli hatlar üzerinde çekiş enerji tüketimi belirli hedef hızlara göre simülasyonlar vasıtası ile incelenmeye çalışılmıştır. Duraklar arası mesafe içerisinde yüksek hızlı trenin eğim ve kurb gibi karakteristikleri de dikkate alınarak, inceleme yapıldığında 100 km den kısa olan mesafelerde süratin 190 km/h ten daha düşük olması gerektiği belirtilmiştir. İlave olarak çalışmada gerçekte kullanılan YHT operasyonlarından farklı olarak, hattın taşıma kapasitesinin kullanılmadığı durumlarda duraklar arası mesafe dikkate alınarak hedef hızların dinamik olarak ayarlanabileceği belirtilmiştir. Belirtilen hat uzunlukları için daha doğru hızların tespit edilebilmesi için yol karakteristiklerinin tam olarak bilinmesi gerektiği de gene araştırmada not edilmiştir. Benzer bir simülasyon çalışması [9] metro araçları içinde aynı çalışma grubu tarafından yürütülmüş ve sonuçlar gene 10000 yolcu / km için farklı istasyonlar arasındaki görece olarak düz bir hatta değişen maksimum hızlara göre enerji tasarrufu ve verimlilik analizi çalışmada sunulmuştur. İncelemede 1800m den kısa olan hatlar için maksimum hızın 70 km/ h ten daha az ve 30 km/h ten yüksek olması gerektiği ampirik olarak tespit edilmiştir. Kısa duraklamalı seyahatlerde enerji ve zaman tasarrufu için daha düşük maksimum hızlara gerek olduğu not edilmiştir. Belirtilen hız aralığında en doğru hız limitinin belirlenebilmesi için trenin yolcu kapasitesinin, motorunun, aerodinamik tasarımı gibi detayların bütünleşik etkilerinin bilinmesi gerektiği belirtilmiştir. 1800 m nin üzerindeki mesafeler için ise artan hızla birlikte enerji ve zaman maliyeti düşmeye başlamaktadır. Başka bir çalışmada [10] yolcuların araca binişinin enerji sarfiyatı üzerine etkilerini de dikkate alan bir çalışma yürütmüşler, ve boarding rate 60% dan büyük olduğu durumlarda aracın hızındaki artışın yolcu km başına düşen enerji tüketimi ve seyahat zamanında ufak değişiklikler meydana getireceği belirtilmiştir.

Feng ve arkadaşları bir diğer çalışmalarında [11], yük trenlerinde duraklar arası mesafenin enerji maliyetlerine etkisini incelemişlerdir. Tren çekiş (cer) hesaplama teorisine göre çalışma ilk olarak tipik yük trenlerini simüle etmiştir. Buna göre doğru çekiş enerji maliyeti farklı durak mesafelerinde farklı hedef hızlar için incelenmiştir. Buna göre enerji maliyetini azaltabilmek için, duraklar arası mesafe görece olarak yüksek hedef hızlar için 20 km den daha az olmamalıdır. İlave olarak, demiryollarında taşıma operasyonunda her bir taşıma işlemi için gerekli sürenin de kesinlikle dikkate alınması gerektiğinin altı da çizilmiştir.

Miyatake çalışmasında [12] demiryolu aracının toplam enerji tüketiminin minimizasyonunu tartışmıştır. Son yıllarda enerji depolama aygıtları yeterli enerji ve güç yoğunluğuna ulaşmış ve bunlar kabin içi depolama aygıtları haline dahi dönüşmüştür. Bu aygıtlar araçların hızlanması ve yavaşlamalarında yardımcı olabilmekte ve enerji tüketimlerini azaltmaktadırlar. Bu konuda birçok çalışma yayınlanmış olmakla birlikte hiçbirinin bu cihazların en iyilenmesi üzerine odaklanmadıkları da belirtilmiştir. Optimizasyon analizine göre araç hızının ve şarj ve deşarj işleminin birlikte en iyilenmesi gerektiğini belirtmişler ve genel optimizasyon tekniğine bağlı olarak matematik model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerle sabit transfer zamanı ve mesafelerde, optimal ivmelenme ve yavaşlamanın başarılabileceği gösterilmiştir. Çalışmada sahip olduğu yüksek güç yoğunluğu ile çift tabakalı kapasitörün enerji depolama aygıtı olarak önerilmiştir. Başka bir çalışmalarında [13] demiryolu sistemlerinin enerji tüketimlerinin minimizasyonu incelenmiştir. Önelikle enerji tasarrufu sağlayan tren hızlarının belirlenmesinde kullanılacak ölçüler tespit edilmiş, sonra tren operasyonlarının optimizasyonuna yönelik parametreler belirlenir ve bunun akabinde optimal kontrol teorisine bağlı olarak optimizasyon

gerçekleştirilir. Araştırmacılar üç metot kullanmışlardır, bunlar: dinamik programlama, gradyant metodu, ardışık kuadratik programlama. Gradyant metodu, ardışık kuadratik programlama ile enerji depolama aletlerinin de kontrolünde kullanılabileceği not edilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçlarının konvansiyonel nitel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan çok ilerde olması çalışmanın önemine işaret ettiği not edilmiştir.

#### 4. Trenlerin İşletiminin Optimizasyonu

Enerji verimliliğinin artırılması hususunda araştırmacıların yoğunlaştığı bir diğer çalışma başlığı ise, trenlerin operasyonel anlamda daha etkin kullanılabilmesidir. Tren işletmesinin daha verimli hale getirilebilmesini konu alan bu çalışmalardan bir kısmı bölümde özetlenmeye çalışılmıştır.

Li vd. çalışmalarında [14], günlük metro operasyonlarında, tarife ve hız profillerinin yolcu taleplerini karşılamak üzere enerji tüketimini de en aza indirerek karşılamak gerektiğini belirtmişlerdir. Bu sorunu çözebilmek adına dinamik tren çizelgesi ve kontrol çerçevesi önerilmiştir. İlk olarak yolcu taleplerini tahmin etme ve tek yön ve çift yön sefer süresini belirleme olduğu belirtilmiş, bir sonraki tur için aynı süreleri belirtilen kısıtlara göre optimize etmişlerdir. Son olarak, referans tarife ve hız profillerine göre gerçek koşullarda trenleri kumanda etmek için otomatik tren kontrol sistemi kullanılmıştır. Çalışmada ağırlıklı olarak tarife ve hız profillerinin optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Genel anlamda başlangıçta güzergah kısıtlarına bağlı olarak sefer zamanını farklı istasyonlar ve istasyon araları için dağıtıp, sonrasında tren hızını istasyon aralarında çekiş enerjisini azaltmak için düzenlenmiştir. Farklı sistemler ve farklı hatlarda da bu optimizasyonun yapılabilmesi için lineer yaklaşım metoduyla hız profili optimizasyonu ve enerji verimlilik entegreli tarife, konveks optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Gerçek operasyon verilerine göre nümerik optimizasyon sonuçları, Yizhuang hattı (Pekin metrosu) 'nda kullanılmış ve entegre sistemin enerji tüketimini 11% azalttığı tespit edilmiştir. İlave olarak pik sefer saatlerinde dinamik tariflendirmenin statige göre 7% daha verimli olduğu da ortaya konmuştur.

Bir başka çalışmada [15], günümüz toplumunda şehirleşme ve artan çevre duyarlılığı, sürdürülebilir kalkınma için toplu taşımanın kilit bir role sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, yolcu başına enerji tüketimi gibi önemli avantajlarını koruyabilmek için önemli enerji verimliliği ölçümlerini analizlere katmak gerekmektedir. Şehir içi taşımacılıkta sık ve sayısız durak önemli karakteristiklerden birisidir, bu sık duraklar arasında sık olarak gerçekleştirilen frenleme, geri kazanım yolu ile enerji tüketimini azaltmada büyük bir potansiyele sahiptir. Gonzaelz Gil vd. tarafından yayınlanan çalışmada frenleme enerjisinin geri kazanımı ve yönetimini ele alan çalışmalar geniş kapsamlı bir biçimde literatür taraması olarak sunulmuştur. Her bir değerlendirme avantajları ve dezavantajları ayrı ayrı verilerek sunulmuştur. Çalışmada rejeneratif fren enerjilerinden daha fazla yararlanılabilmemesinin en önemli yolunun tarifelerin optimizasyonu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca elektronik depolama sistemlerinin, rejeneratif enerjinin kullanımı ve tasarruf için en verimli kullanım olduğu belirtilmiştir. İlave olarak Li-ion bataryalar kabin içinde verimli ve kullanışlı olmakla birlikte, elektrokimyasal çift tabakalı kapasitörlerin bu amaç için en uygun depolama aygıtları oldukları belirtilmiştir.

Demir yollarındaki kritik öneme sahip operasyon problemleri, operasyonel etkileşimler dikkate alınarak en iyi tren hareketlerinin belirlenebilmesi için Yang vd. [16] tarafından incelenmiştir. Maliyet kontrol metodu olarak önceden belirlenmiş rota ve çapraz talimat planlarına göre enerji tüketimi ve seyahat süreleri açıkça ele alınmıştır. Hesaplama zorluklarını giderebilmek için, enerji tüketimi ve gidiş geliş süresinde hesaba katılan trenin spesifik performansı üzerinden simülasyon temelli metodolojiler önerilmiştir. Yaklaşık bir optimal maliyet kontrol stratejisi aramak için genetik bir algoritma simülasyona

entegre edilebilmiştir. Önerilen algoritmanın etkinliği nümerik deneylerle test edilmiştir. Gerçek uygulamalarla son derece uyumlu çıktılar elde edilmiştir.

Bir diğer çalışmada, Liu vd. [17] demiryolu araçlarının optimal operasyon başarısını hesaplamada kullanılacak olan analitik bir proses tarif etmiştir. Enerji maliyetlerinin düşürülmesi yönündeki çalışmalar, enerjinin daha verimli kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Çalışmada en basit biçimde enerji verimliliği tren operasyonu optimal kontrol teorisine dayanmaktadır. Kesikli metot gibi klasik nümerik optimizasyon problemleri kabin bilgisayarlarında kullanılmak için çok yavaştır. Çalışmada hedeflenen katkı kontrol değişim noktalarını bulmak için optimal kontrol ve eşitlik sıralarını veren analitik sonuçların belirlenmesidir. Sonuç olarak enerji verimliliğine sahip tren kontrolü geliştirilmiş olacaktır. Çalışmada önerilen algortmanın kullanım yerleri olarak tam ya da kısmi otomatikleştirilmiş tren kumanda mekanizmaları olduğu belirtilmiştir. BU sistemlerde Ptc adı verilen pozitif tren kontrol sistemleri tren güvenliği için büyük miktarlarda veri toplamakta ve bu veriler hazırlanan algortima ile optimum kontrol için de kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Pek çok giriş datası (yol planı, çekiş ve frenleme karakteristikleri, hız limitleri, gerekli seyahat süreleri) kabin içinde yada radyo frekansı vasıtası ile aktarılarak kullanılabilir ve e algortima da proses edilebilecektir.

## 5. Süper Kapasitörler Yardımıyla Enerji Geri Kazanımı

Son yıllarda enerji verimliliğinin artırılması konusunda önem kazanan bir diğer yöntem ise enerjinin geri kazanımıdır. Bu yöntemde enerji ya sisteme geri beslenerek ya da depolanarak verimliliği artırılması hedeflenmektedir.

Steiner vd. [18] kabin içinde kullanılmak üzere demir yolu araçlarında yeni bir enerji depolama sistemini çalışmalarında göstermişlerdir. Enerji depolama metodu ile pek çok uygulamada aracın enerji verimliliğini arttırmanın mümkün olduğu ve özellikle artan enerji maliyetleri, çevresel etkiler (düşük emisyon) politik ve teknik regülasyonlar, nedeniyle oldukça büyük bir öneme sahip olduğu çalışmada belirtilmiştir. Çalışmada konvansiyonel sistemlere nazaran daha verimli olan süper kapasitörlerin tüketimi azaltma yönünde çok önemli oldukları belirtilmiştir. Kullanılan kabin içi depolama birimi ile %40 a varan tasarrufun elde edilebildiği ve güç hattından çekilen gücün frenleme esnasından depolanan bu enerjinin kullanımı ile oneli ölçüde azaltıldığı not edilmiştir.

Enerji verimliliği kavramında, elektrik motorlarında elektrik enerjisinin rolü önemlidir. Yüksek verimlilikli enerji depolama sistemleri enerji geri kazanımı, güç kalite fonksiyonu gibi fiziksel niceliklerinin iyileştirilmesine izin vermektedir. Ancak bu sistemlerin entegrasyonlarının maliyetleri ve önemlerine bağlı olarak, en doğru dizayn için teknolojik ve ekonomik optimizasyon yapılması gerekmektedir. Yapılan bir diğer çalışmada [19] birkaç elektrik sürücüsünün gücünün yeniden geri kazanımı için merkezleştirilmiş depolama sistemi sunulmuştur. Sürücünün belirli bir güç çevrimini izlediği kabul edilmekle birlikte, belirsiz miktarda kaydırıldığı göz önüne alınmıştır. Böylece geri kazanılabilir enerji ve sonucu olarak depolama büyüklüğü, ünitenin maliyeti ve tasarrufunu birden içeren rasgele maliyet hesabına göre optimize edilmiştir. Bununla birlikte güç profili için tahmini modelin bütüncül olarak sürülmesi Markov zincir yapısına göre olduğunun da altı çizilmiştir.

Doğru akım beslemeli devrelerde güç kaynağını stabilize etme metotları oldukça önemlidir. Bu nedenle birçok enerji depolama uygulaması son yıllarda farklı kişiler tarafından çalışılmıştır. Gene aynı çalışmalarda [20] elektrikli araçlarda güç sürücülü kaynaklar için enerji depolama birimlerindeki gelişme dikkat çekicidir. Hase vd. DC elektrikli demiryolu araçları için çift tabakalı kapasitörlü, diod köprülü



dönüştürücülü, akım kesicili bir enerji depolama prototip geliştirmişlerdir. Makalelerinde bu sistemin karakteristiklerini ve deneysel sonuçlarını paylaşmışlardır.

Bir diğer çalışmada [21], kabin içi enerji depolama sistemlerinin enerji tasarrufunda çok önemli bir adım olduğunu belirtmişlerdir. Bu tür sistemlerin kullanımlarının pik enerji ihtiyacındaki azalmayı 30% gibi önemli bir oranda düşürdüğü not edilmiştir. İlave olarak bu sistemler sayesinde kataner hattı kullanılmadan ve pantograf devrede değilken dahi hafif raylı sistem aracının yüzlerce metre yol kat edebildiği gözlenmiştir. Prototip aracın 2003 den beri kullanıldığı eklenen yazılım ile enerji tasarrufunun optimize edildiği belirtilmiştir. Elde edilen tecrübe ile sistemin dizel araçlara uygulanabilmesine olanak sağlamış ve bu şekilde dizel araçlarda dahi yakıt tasarrufu ve ivmelenmede destek sağlanabilmiştir. Enerji tasarrufu yer yer 30% lara ulaştığı ve bunun da emisyon azalmalarına da yol açarak çevresel politikalara uyabilmeye katkısı olduğu görülmüştür.

Demiryollarındaki rejeneratif frenlemeden üretilen güç ile ilgili olarak ortaya konmuş çeşitli öneriler literatürde yer almaktadır. Ibaiondo ve Romo çalışmalarında[22] yeni bir konvertör topolojisi ile çalışan geri dönüşüm sistemi önermişlerdir, önerdikleri sistem gerçek dataya ve doğrulanmış simülasyona dayanmaktadır. Sistem temelde basamkalandırılmış DC/ DC elevatöründen 3 fazlı çeviriciye bağlantıya dayanmaktadır. Bu şekilde sistem şebekedeki voltaj dalgalanmasından etkilenmeyecek ve en düşük kataner voltajında dahi en yüksek geri kazanımı sağlayabilecektir. Bir diğer çalışmada, Iannuzzi vd. [23] kabin içi süper kapasitörlerin hafif raylı sistemlerdeki kullanımını aktarmışlardır. Süper kapasitörler uygulamada, gücün elektrik hattı ve elektrik motoru arasında doğru biçimde regüle edilebilmesi için dc ve dc güç çeviricisi arasında çift yönlü kontrolüne ihtiyaç duymaktadır. Kontrolün temel hedefi araç pantografındaki voltaj değişimleri ve güç kayıplarını en aza indirmektir. Bu şekilde elektrik temas hattındaki pik akımı sınırlamak mümkün olabilir ve frenleme esnasındaki kinetik enerji kısmi olarak geri kazanılabilir. Laboratuvar ölçeğindeki protoip üzerinde yapılan testler, matematiksel olarak gerçekleştirilen kontrol sisteminin etkili olduğunu ortaya koymuştur. Wang vd. ise enerji tasarrufu konusunda çok başka bir yol izlemiş ve çalışmalarında [24] önermişlerdir. Yol üzerindeki bozukluklardan kaynaklanan titreşimlerden güç elde etmeye çalışmışlar ve bunu da enerji hasadı olarak tanımlamışlardır. Daha önce önerilen hasat metodlarında elde edilebilen gücün çok düşük olduğu ve ancak miliwatt mertebesinde olduğu ancak önerilen hasat ekipmanında yüksek güçler için olacağı ve uyarı cihazları, anahtarlar ve sağlık monitörleri gibi 10 Watt ya da altında güce ihtiyaç duyan cihazlar uygun olacağını belirtmişlerdir. Bunu yapabilmek için çift yönlü vuruş tipi titreşimleri yönlendirilmiş rotasyonel hareketlere çeviren bir mekanizma geliştirmişlerdir. Tasarlanan bu sistemin protoipi üzerinde yapılan çalışmalarda sistem yükünde azalma, jeneratör hızında regülasyon ve sürekli DC güç elde edilebildiği gözlenmiştir [25].

## 6. Enerji Verimliliğini Geliştirilmesi

Araştırmalarda verimliliğin geliştirilmesi hususuna ayrıca odaklanan incelemeler de söz konusudur. Cheng ve diğerleri çalışmalarında [26] Amerika Birleşik Devletlerinde ki komine taşımacılıkta yer alan yük trenlerini incelemişlerdir. Kombine taşımacılık trenleri kuzey Amerikadaki en hızlı işletilen trenlerdir. Ekipmanların tasarım kısıtları ve çeşitlilik nedeniyle en kötü aerodinamik karakteristiklere sahiptirler, bu da mevcut araçların diğer trenlerden daha fazla enerji tüketmelerine neden olmaktadır. Trenlerdeki yüklenme şeklinin geliştirilmesi aerodinamik karakteristiklerin geliştirilebilmesi açısından önemlidir ve bunun da yakıt verimliliğine olumlu katkılarının olacağı kaçınılmazdır. Bu amaçla aerodinamik dirençler farklı yüklenme çeşitleri üzerinde denenmiş, uygun yüklenme tipleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Hesaplamalar sonunda konteynerler arası mesafeyi kısaltmanın akışı düzenleyeceği bunun da direnci azaltacağını rapor etmişlerdir. Gözlemlenen ve test edilen yüklenme tiplerinde daha az yer kaplamak adına yapılan yanlış yüklemelerin yüksekliği artırarak verimi düşüreceği gibi dingil başına yükü

arttıracığı riskini de not etmişlerdir. Uygulanacak tren konfigürasyonuna bağlı olarak tren direncinin 27% azaltılabileceği ve bunun sonucu olarak da trenlerde dakikada 1 galonluk tasarruf sağlanabileceği aktarılmıştır. Enerji verimliliğinin üzerine yapılan bir diğer çalışmada [27] Gonselmann, elektrikli demiryolu sistemlerinin farklı yollarla enerji verimliliklerinin artırılmasını genel hatları ile belirtmeyi amaçlamıştır. Ana çekiş devrelerinde ki güç sistemlerinden başlayarak, ilave optimizasyon çalışmaları ile ortaya çıkan verimlilik çözümleri, hafifleyen araçlar, aerodinamik ve verimli otomasyon başlıkları incelemede sunulmuştur. Farklı hususlar belirtilmesine rağmen, ağırlık çekiş sistemlerinde enerji depolanması üzerinde olmuştur. Kabin içinde kullanılan sistemler tanıtılmış ve avantajları bir dizi uygulama da sunulmuştur.

Enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalardan birisi de Barrero vd. [28] tarafından yapılmıştır. Çalışmada enerji metro araçlarında depolama sistemlerine dayanan süper kapasitörlerin etkileri değerlendirilmektedir. Enerji depolama sistemlerinin etkileri ve dağılımı hat boyunca farklı trafik koşullarında ele alınacaktır. Enerji depolama sistemleri enerji türüne, voltaj değişimine, maksimum akıma ve güç kaybına göre düzenlenebilmektedir. Sebep sonuç ilişkisi ya da eski bakış açısıyla inceleyebilmek için hafif demiryolu araçlarının elektrik hatları Matlab/simulink ile modellenmiştir. Bağlantı voltajını ve ESS şarjında enerji akışını idare eden güç kontrolü çalışmada önerilmiştir.

Benzer bir araştırma [29] Ciccarelli ve Del Pizzo tarafından hafif raylı sistem araçları için yürütülmüştür. Çalışmalarında enerji depolama temelli Li-ion kapasitörlerinin kullanımı enerji yönetimi stratejisi olarak ele alınmıştır. Süper kapasitörlerin kurulumu ile sistem verimliliğini arttırmak için frenleme enerjisinin geri kazanımı hedeflenmiş bu aynı zamanda daha iyi bir pantograf voltaj profili elde edilmesini sağlamıştır. Çalışmada yeni bir tip süper kapasitör, LiC arayüzlü doğru akım konvertörlü bir model sunulmuştur. Sunulan bu teknoloji pillerle kıyaslanabilecek enerji yoğunluğuna sahiptir hatta güç yoğunluklarında daha iyi oldukları da not edilmiştir. Araştırmacılar, çalışan araçlarda frenleme işlemlerinde maksimum kinetik enerji geri kazanımına dayanan bir kontrol stratejisi önermişlerdir. Depolanan enerji hızlanma esnasından tekrar siteme geri dönmektedir. Sistem özelinde kontrol algoritması, LiC voltajının ve akımının referans değerlerinin araç atalet kuvvetleri ve hızlanmasının tahminine dayanarak ve sistemdeki güç kayıplarını hesaba katarak yapar. Çalışmalar sonunda 30% a varan performans artışının gözlemlendiği rapor edilmiştir.

## 7. Sonuç

Raylı sistemler alanında giderek artan bir öneme sahip olan enerji verimliliği konusu, çalışma kapsamında literatürde yer alan raporların, makalelerin detaylı olarak incelenmesi ve derlenmesi biçiminde sunulmuştur. Enerji yönetimi konusunda yapılan çalışmalar genel olarak beş ana başlık altında toplanmış (enerji tüketiminin en aza indirilmesi, tren ve tren setlerinin hızları ve optimizasyonları, operasyonların optimizasyonu, enerji geri kazanımları ve süper kapasitörler, enerji verimliliğinin geliştirilmesi) ve her bir başlık altından yapılan çalışmalar dikkatlice özetlenmiş, bu konu üzerinde yapılacak çalışmalara ışık tutabilmesi amacıyla bütüncül bir yaklaşımla sunulmuştur.

## Kaynaklar

[1 ]Walter Gonselmann, Technologies for Increased Energy Efficiency in Railway Systems, LOB 2005

ISBN: 90-75815-08-5

[2] P.G. Howlett \_\_, P.J. Pudney, Xuan Vu, Local energy minimization in optimal train control, Automatica 45 (2009) 2692\_2698

- [3] A. Gonzalez-Gil, R. Palacin, P. Batty, J.P. Powell, A systems approach to reduce urban rail energy consumption, *Energy Conversion and Management* 80 (2014) 509–524
- [4] J.P. Powell, A. González-Gil\*, R. Palacin , Experimental assessment of the energy consumption of urban rail vehicles during stabling hours: Influence of ambient temperature, *Applied Thermal Engineering* 66 (2014) 541-547.
- [5] LeJeune A., Chevrier R., Rodriguez J., Improving an evolutionary multi objective approach for optimizing railway energy consumption, *procedia-social and behavioral science* 48 (2012) 3124-3133.
- [6] Jyh-Cherng JONG, En-Fu CHANG, Models For Estimating Energy Consumption Of Electric Trains, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 278 - 291, 2005
- [7] Xuesong Feng, Jia Feng, Keqi Wu, Haidong Liu, Qipeng Sun, Evaluating target speeds of passenger trains in China for energy saving in the effect of different formation scales and traction capacities, *Electrical Power and Energy Systems* 42 (2012) 621–626
- [8] Xuesong Feng , Optimization of target speeds of high-speed railway trains for traction energy saving and transport efficiency improvement, *Energy Policy* 39 (2011) 7658–7665
- [9] Xuesong Feng, Baohua Mao, Xujie Feng, Jia Feng, Study on the maximum operation speeds of metro trains for energy saving as well as transport efficiency improvement, *Energy* 36 (2011) 6577e6582
- [10] Jia Feng, Shunping Jia, Hongqin Peng, Baohua Mao, Study on the Technical Speeds of Metro Trains for Traction Energy Saving and Transport Efficiency Improvement, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 43 ( 2012 ) 758 – 763
- [11] Xuesong Feng, Yi Liu, Quan Wang, Haidong Liu, Yong Ding and Qipeng Sun, Influence of Inter-Stop Transport Distances of a Freight Train upon Its Traction Energy Cost Intensities for Different Target Speeds, *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology* 7, 3 (2014), 35-44.
- [12] Masafumi Miyatake, Kunihiko Matsuda, Energy Saving Speed and Charge/discharge Control of a Railway Vehicle with On-board Energy Storage by Means of an Optimization Model, *IEEE Transactions On Electrical And Electronic Engineering* IEEE Trans 2009; 4: 771–778.
- [13] Masafumi Miyatake, Hideyoshi Ko, Optimization of Train Speed Profile for Minimum Energy Consumption, *IEEEJ Trans* 2010; 5: 263–269
- [14] Xiang Li, Hong K. Lo, Energy minimization in dynamic train scheduling and control for metro rail operations, *Transportation Research Part B* 70 (2014) 269-284
- [15] Arturo Gonzalez-Gil, Roberto Palacin, Paul Batty, Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy, *Energy Conversion and Management* 75 (2013) 374-388.
- [16] Lixing Yang , KepingLi,ZiyouGao,XiangLi, Optimizing trains movement on a railway network, *Omega* 40 (2012) 619–633
- [17] Rongfang (Rachel) Liu, Iakov M. Golovitcher, Energy-efficient operation of rail vehicles, *Transportation Research Part A* 37 (2003) 917–932
- [18] Michael Steiner, Johannes Scholten, Heinz Steinegger and Thomas Jenewein, Energy Storage Systems for Improved Efficiency of Railway Vehicles
- [19] V. Musolino, A. Pievatolo, E. Tironi, A statistical approach to electrical storage sizing with application to the recovery of braking energy, *Energy* 36 (2011) 6697-6704.

- [20] Shin-ichi Hase, Takeshi Konishi, Akinobu Okui, Yoshinobu Nakamichi, Hidetaka Nara, and Tadashi Uemura, Fundamental Study on Energy Storage System for DC Electric Railway System, 2002 IEEE, PCC-Osaka, 1456-1460.
- [21] Michael Steiner, Johannes Scholten, Energy Storage on board of railway vehicles, EPE 2005, ISBN:90-7581508-5
- [22] Harkaitz Ibaiondo, Asier Romo, Kinetic Energy Recovery on Railway Systems with Feedback to the Grid, 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2010, IEEE T9-94-98
- [23] Diego Iannuzzi, Pietro Tricoli, Optimal Control Strategy of Onboard Supercapacitor Storage System for Light Railway Vehicles, 2010 IEEE, 280-286
- [24] John J. Wang, G.P. Penamalli, and Lei Zuo, Electromagnetic Energy Harvesting from Train Induced Railway Track Vibrations, 2012 IEEE, 29-35
- [25] Hansang Lee, Jiyoung Song, Hanmin Lee, Changmu Lee, Gilsoo Jang and Gildong Kim, Capacity Optimization Of The Supercapacitor Energy Storages On Dc Railway System Using A Railway Powerflow Algorithm, International Journal of Innovative Computing, Information and Control ICIC International, 2011 ISSN 1349-4198 Volume 7, Number 5(B), May 2011.
- [26] Yung-Cheng (Rex) Lai and Christopher P. L. Barkan, Options for Improving the Energy Efficiency of Intermodal Freight Trains, Transportation Research Record 1916
- [27] Walter Günselmann, Technologies for Increased Energy Efficiency in Railway Systems, LOB 2005 ISBN: 90-75815-08-5
- [28] Ricardo Barrero, Xavier Tackoen, Joeri Van Mierlo, Improving energy efficiency in public transport: stationary supercapacitor based energy storage systems for a metro network, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 3-5, 2008, Harbin, China
- [29] Flavio Ciccarelli, Andrea Del Pizzo, Improvement of Energy Efficiency in Light Railway Vehicles Based on Power Management Control of Wayside Lithium-Ion Capacitor Storage, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 29, No. 1, January 2014

# ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE KENT İÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN SEÇİMİ

Özlem Battal<sup>1\*</sup> ve Tuğrul Bayraktar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: ozlembattal@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: tugrulbayraktar@karabuk.edu.tr

## Özet

Hızlı kentleşme, yoğun nüfus artışı, hava kirliliği ve enerji sıkıntısı ile birlikte ulaşımı en önemli sorunlardan biri haline getirmiştir. Bu amaçla insana öncelik veren, yatırım ve işletmecilikte kaynakların verimli ve etkin kullanımını sağlayan, mevcut ulaşım altyapısının kapasitesini en üst düzeyde kullanan, enerji verimi yüksek, çevreye zarar vermeyen, sessiz, konforlu, toplu ulaşım araçlarının kullanımını ve toplu taşıma araçlarının en önde geleni olan raylı ulaşım sistemine geçiş zorunlu hale gelmiştir. Raylı sistem taşımacılığının, yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, işletme maliyetleri karayolu taşımacılığına göre daha düşüktür. Ayrıca kaza riskleri, enerji tüketimi, trafik sıkışıklığı ve personel istihdamı kara yolu taşımacılığına göre daha azdır. Bu çalışmada, toplu taşıma türü seçim sürecine etki eden faktörler bir arada değerlendirilip çok kriterli karar verme yaklaşımlarından olan Analitik Hiyerarşik Proses ve VIKOR yöntemleri yardımı ile karar modeli oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Raylı sistem, Toplu taşıma, Çok kriterli karar verme, Analitik Hiyerarşik Proses, VIKOR.

## Abstract

Rapid urbanization, dense population growth, air pollution and energy shortages have made transportation one of the most important problems. For this purpose, it is aimed to provide the people with the highest priority of human resources, efficient and effective use of resources in investment and management, using the capacity of the existing transportation infrastructure at the highest level, using energy efficient, environmentally friendly, quiet, comfortable and convenient means of public transportation and public transportation vehicles transition to the transportation system has become compulsory. Railway transport is less expensive than road transport, with high investment costs. In addition, accident risks, energy consumption, traffic congestion and personnel recruitment are less than road transport. In this study, the factors affecting public transportation type selection process are evaluated together and a decision model is created with the help of Analytic Hierarchical Process and VIKOR methods which are multi criteria decision making approaches.

**Keywords:** Railway system, Public transportation, Multi criteria decision making, Analytic Hierarchical Process, VIKOR.

## 1. Giriş

Ulaştırma insanın ve eşyanın bir noktadan diğer bir noktaya belli bir amaç için yer değiştirmesidir. Söz konusu yer değişiminin belli araçlar kullanılarak belli amaçlar doğrultusunda yapılması, ulaştırmanın ekonomik bir kavram olarak ele alınmasını gerektirir [1]. Şehirlerdeki nüfus artışı ile birlikte hareketlilik ihtiyacı da artmaktadır. Artan ihtiyaç sebebiyle ulaşım günümüzde gelişmiş ya da gelişmekte olan şehirlerde önemli bir sorun haline gelmiştir. Şehir içi ulaşımın toplu taşıma ile geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Çünkü toplu taşıma, insanlara ulaşım kolaylığı ve olanağı sağlayan bir sistemdir. Ayrıca kentlerdeki nüfus yoğunluğu ve özel araç sayısının artması trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, gürültü, fazla enerji tüketimi, vb. olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu yüzden kent içi ulaşımın temel amaçları, bu gibi sorunların çözümü, ulaşım ihtiyacının karşılanması ve kentsel gelişimin sağlanması olmalıdır [2]. Bu amaçlara erişmeye olanak verecek hedef ve politikalar ise: taşıtlara değil insana öncelik veren, yatırım ve işletmecilikte kaynakların etkin kullanımını sağlayan, mevcut ulaşım altyapısının kapasitesini en üst düzeyde kullanan, çevresel, kentsel, insani ve tarihi değerleri bozmayan aksine koruyan ve destekleyen, toplumun farklı kesimleri arasındaki eşitliği sağlamada katkıda bulunan, modern teknolojileri kullanan ulaşım türlerinin kullanılması olmalıdır [3]. Sıralanan hedef ve politikalara uygun düşen ulaşım ise ancak toplu taşıma araçları ile elde edilebilmektedir.

## 2. Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri

Ülke nüfusundaki artış, kentsel nüfus oranının hızla büyümesi ve gelişen ekonomik faaliyetler sonucunda kişi başına yapılan günlük yolculuk oranlarının giderek artması, toplam kentsel yolculuk sayılarında büyük artışlara neden olmaktadır. Bunun sonucunda kent içi ulaşım boyutları hızla artarken kapsamı genişlemekte, her geçen gün biraz daha yayılan ve sayıları artan kentsel alanlardaki yolculukların uzunlukları da artmakta ve daha çok yaya yolculuğu motorlu taşıt yolculuğuna dönüşmektedir [2].

Kent içinde etkin, sağlıklı ve ekonomik bir ulaştırma sisteminin kurulması gerekir. Bu amaçla insanlara öncelik veren, yatırım ve işletmecilikte kaynakların verimli ve etkin kullanımını sağlayan, mevcut ulaşım altyapısının kapasitesini en üst düzeyde kullanan, çevresel, kentsel ve tarihi değerleri bozmayan, koruyan ve destekleyen, toplumun farklı kesimleri arasındaki eşitliği sağlamada katkıda bulunan ve modern teknolojileri kullanan ulaşım türlerinin kullanılmasına öncelik verilmelidir.

Bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Çelik, Aydın ve Gümüş [4] raylı taşıma sistemlerinde müşteri memnuniyetini anketler ile ele alıp, etkileyen faktörleri değerlendirmek için, istatistiksel analiz, bulanık analitik hiyerarşi süreci, trapezoid bulanık kümeler ve Choquet integralini birleştiren bir çerçeve ile ölçmüşlerdir. Çelik ve diğ. [5] ise İstanbul toplu taşımacılığında müşteri memnuniyetini değerlendirmek ve iyileştirmek için TOPSIS ve GRA'ya dayalı yeni bir aralıklı tip 2 çok kriterli karar verme metodunu kullanmışlardır. Akman ve Alkan [2] toplu taşıma alternatiflerinde karar vermeyi etkileyen değişkenleri aksiyom tasarım yöntemini kullanarak belirlemişlerdir. Saatçioğlu ve Yaşarlar [3] İstanbul'da ulaşım sorununun temel nedenlerini ve etkilerini ele almışlar ve karayolu, raylı ulaşım ve denizyolu ulaşımına ilişkin çeşitli çözüm ortaya koymuşlardır. Gümüş ve Yılmaz [6] İstanbul Boğazında yüksek hızlı toplu taşıma için deniz taşıtı seçimi kararını VAHP ve ANP yöntemleriyle incelemişlerdir. Karacasu [7], ELECTRE metodunu kullanarak kentiçi toplu taşıma yatırımlarını değerlendirmek için karar destek modeli oluşturmuştur. Akad ve Gedizoğlu [8] toplu taşıma türü seçimini etkileyen koşulları göre toplu taşıma sistemlerinin performansının nasıl değiştiğini analitik hiyerarşi yöntemini kullanarak simülasyon modeli geliştirmişlerdir. Kırancıoğlu [9] ise raylı sistemler güzergâh tasarımında Coğrafi

Bilgi Teknolojileri tabanlı, çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı bir model geliştirerek, tasarım sürecine etki eden tüm faktörler bir arada değerlendirilmiştir. Jeansonne ve Kapavik [10] çalışmalarında çok fonksiyonlu bir ulaşım transfer merkezi için en uygun yer seçiminde çok kriterli karar verme yöntemleriyle 20 faktör belirlenmiş ve 50 alternatif konum karşılaştırılarak en uygun yer tespit edilmiştir. Aydın ve Kahraman [11] çok kriterli karar verme yöntemleri ile toplu taşıma için araç seçimini geliştirmişlerdir.

### 3.Toplu Taşımacılık Sistemlerinin Sınıflandırılması

Toplu taşıma sistemleri karayolu, raylı sistem ve deniz yolu olmak üzere üç alt türde sınıflandırılmaktadır. Karayolu toplu taşıma türleri otobüs, dolmuş-minibüs, son dönemlerde yaygın olarak kullanılan metrobüstür [3]. Günümüzde kent içi toplu taşımacılıkta kullanılan raylı ulaşım sistemleri; hafif raylı sistemler, tramvaylar, metrolar, banliyö trenleri, manyetik yataklı sistemler ve üst yollu elektrikli, toplu taşıma sistemi olan Monorail'den oluşmaktadır. Bu sistemlerden ilk dördü ülkemizin değişik kentlerinde etkin olarak kullanılmaktadır [12].

Kent içi yolcu taşımacılığında en çok kullanılan toplu taşıma aracı otobüslerdir. Otobüs hizmetleri kentin tüm yerleşik alanını çeşitli ringlerle bir ağ gibi sarar. Otobüsler diğer toplu taşıma araçlarına göre daha az altyapı yatırımları gerektirmekte ve tek bir hat üzerinde yolcu taşıma zorunluluğu olmadığından, yollarda daha rahat hareket olanağı bulabilmektedir [3]. Dolmuş ve minibüs ise ara yolcu taşıma sistemleri olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemler yolculuk talebinin yüksek olduğu kentlerde verimsizliğe, trafik sıkışıklığına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Türkiye'deki adı ile Metrobüs, dünyada yaygın olarak kullanılan adı ile Bus Rapid Transit (BRT) yüksek standartlı bir toplu taşıma sistemidir. En önemli özelliği hızlı, rahat, konforlu ve altyapı maliyeti düşük bir toplu taşıma sistemi olmasıdır [13]. Metrobüs, lastik tekerlekli kendisine ayrılmış özel bir yolda hareket eden, elektrik enerjisiyle çalışan, boş ağırlığı 21 tonu bulan, hibrit motoruyla saatte 96 km hıza ulaşan, çevreyle dost, metro ile otobüsün birleşimi ile ortaya çıkmış bir toplu taşıma aracıdır [2].

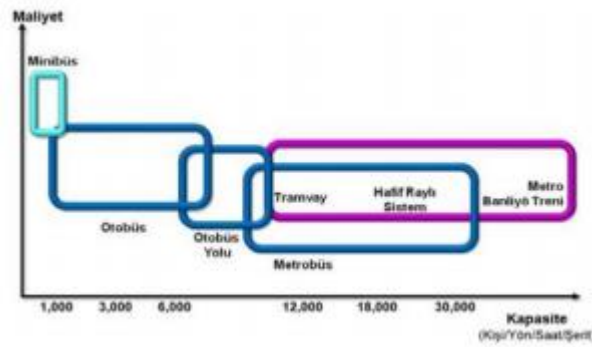
Hafif raylı sistemler, esas olarak klasik tramvayın modernleştirilmiş ve evrimleşmiş halidir. Hafif raylı taşımacılık; tek araba veya kısa dizi halinde işletilebilen yer seviyesinde veya yükseltilmiş yollarda, diğer kullanıcılardan ayrılmış kendine ait özel bir yolu olan, kent içi elektrikli ulaşım sistemidir. Genellikle yapılaşmış ve nüfus artışlarının sınırlı kaldığı çevre bölgelerde etkin olarak kullanılmaktadır. Bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen, her 600-1000 m mesafede özel istasyonlarda yolcu indirip bindiren, ortalama 60-80 km/saat süratle kendine ait hatlarda işletilen raylı toplu taşıma sistemleridir. Hafif raylı sistemlerin saatlik yolcu kapasiteleri 10 bin-20 bin kişi arasında değişmektedir [12].

Bunun yanında tramvaylar, mevcut kent yolları üzerinde döşenen hatlarda elektrikle çalışan, yol ve trafik durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilen, daha çok bir adım atılarak binilebilen alçak zeminli araçların kullanıldığı toplu taşıma sistemleridir. Yolcu taşıma kapasiteleri en çok 10 bin kişi/saat, ortalama ticari hızları 14-16 km/saat, durak aralıkları 400-600 metre olup, kent içinde çevre kirlenmesi ve enerji tasarrufu açısından avantajlıdır [12].

Metro sistemleri ise diğer türlerin ulaşamadığı hızlara ulaşabilir ve genellikle 2-10 vagon oluşurlar. Diğer toplu taşıma türlerine göre en yüksek kapasiteye sahip (60.000 kişi/saat) sistemdir. Yüksek

düzeyde otomasyon gerektirmektedir ve yüksek yatırım maliyetlerine karşılık en düşük işletme giderleriyle çalışmaktadır [12].

Toplu ulaşım türlerinin kapasite ve maliyetleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Buna göre herhangi bir yöndeki en yüksek saatlik yolculuk talep düzeyi 10-12 bin yolcu düzeyine kadar otobüs sistemleri, saatte bir yönde 10-12 bin yolcu düzeylerinde tramvaylar etkin olarak kullanılabilir, talep düzeyleri 18-20 bin yolcu düzeylerine ulaştığında HRS öne çıkmakta, talep düzeyleri 30 bin yolcu düzeylerini aştığında söz konusu koridorun özelliklerine göre metro veya banliyö demiryolu sistemleri optimum ulaşım türleri olmaktadır. Metrobüs lastik tekerlekli taşımacılıkta bir yönde saatte 48 bin yolcu taşıma düzeylerine ulaşıldığında ve yüksek talep düzeylerinde raylı sistemlere kıyasla daha düşük maliyetlidir [3].



Şekil 1. Kent içi ulaşım türlerinin kapasite ve maliyet ilişkisi [3].

#### 4. Karabük Üniversitesi Kampüs İçi Ulaşımı

Karabük Üniversitesi, 29 Mayıs 2007 tarih ve 26536 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan 5662 sayılı kanun ile kurulmuştur. Karabük Üniversitesi 15 Fakülte, 4 Yüksekokul, 8 Meslek Yüksekokulu, 4 Enstitü ile eğitim öğretim ve araştırma faaliyetlerini sürdürmektedir. Kütüphane, stadyum, cami, sosyal yaşam merkezi, kapalı spor salonu ve öğrenci yurtları da kampüs içinde yer almaktadır.

Karabük Üniversitesi'nde ulaşım kentten kampüs kapısına kadar dolmuş, belediye otobüsleri, özel halk otobüsleri, özel yurt servisleri, özel araçlar ve yaya olarak sağlanmaktadır. Karabük şehir merkezinden 26 dolmuş, Safranbolu ilçesinden ise 20 dolmuş Karabük Üniversitesi'ne çalışmaktadır. 2 tanesi Aydınlık Evler mevkiinden olmak üzere, 200 Evler, Soğuksu-TOKİ, Esentepe, 5000 Evler mevkiilerinden birer tane olmak üzere 6 tane halk otobüsü çalışmaktadır. Soğuksu-TOKİ ve 200 Evler mevkiinden birer tane olmak üzere 2 adet belediye otobüsü çalışmaktadır.

Kampüs içi ulaşım ise üniversite ana giriş kapısına gelen toplu taşıma araçlarının ve özel yurt servislerinin üniversite içerisinde önceden belirlenmiş duraklar ve yol güzergahında ring yapmaktadır. Toplu taşıma araçlarından yalnızca Safranbolu ve Bostanbükü'nden gelen dolmuşlar üniversite içine alınmaktadır. Karabük'ten gelen dolmuşlar içeri alınmamaktadır. Bunun yanı sıra Safranbolu üniversite



arasında belediye otobüsü bulunmamaktadır. Bu güzergahta ulaşım sadece dolmuşlarla sağlanmaktadır.

## 5. Yöntem

Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden birisi olan VIKOR (Vise Kriteijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yaklaşımından faydalanılmıştır. VIKOR yöntemi genellikle karmaşık yapıların çok kriterli optimizasyonu için kullanılmaktadır.

Öncelikle alternatifleri değerlendirmek üzere ele alınan karar kriterleri uzman görüşleri yardımı ile belirlenmiş ve Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) yaklaşımı ile bu kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra, [23] çalışmasındaki VIKOR yöntemi ile daha önceden kriterlerle göre puanlanan alternatiflerin; alternatif grup puanı (S), alternatif için en kötü grup puanı (R) ve kriter ağırlıklarının (w) çoğunluğunun aldığı değer olan “v” değerine göre değişen “Q” değerleri hesaplanmıştır. Puanlamadan sonra ise her bir alternatif S, R ve Q değerlerine göre sıralanmıştır.

VIKOR yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır:

### Adım – 1:

Uygulama kapsamındaki tüm kriterler için en iyi ( $f_i^*$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) değerler belirlenir. Eğer i kriteri fayda sağlayan bir kriter ise;

$$(f_i^*) = \max_j f_{ij} \quad (f_i^-) = \min_j f_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

### Adım – 2:

S<sub>j</sub> ve R<sub>j</sub> değerleri j= 1, 2, ..., J için hesaplanır. Hesaplama aşağıdaki formüllere göre yapılır. Formüllerdeki; S<sub>j</sub>: j. alternatif için ortalama grup skoru, R<sub>j</sub>: j. alternatif için en kötü grup skoru olarak ifade edilir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (2)$$

$$R_j = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (3)$$

### Adım – 3:

$Q_j$  değerleri tüm  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  için belirlenir;

$$Q_j = v(S_j - S^*)/(S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*)/(R^- - R^*) \quad (4)$$

Burada;

$$S^* = \min_j S_j \quad S^- = \max_j S_j \quad R^* = \min_j R_j \quad R^- = \max_j R_j$$

Formüldeki “v” değeri kriterlerin çoğunluğunun ağırlığını yani maksimum grup faydasını ifade etmektedir.

#### **Adım – 4:**

$S_j$ ,  $R_j$  ve  $Q_j$  değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama belirlenir. Sıralamada en küçük  $Q_j$  değeri, alternatifler arasındaki en iyi seçeneği belirtir.

#### **Adım – 5:**

Elde edilen sonuçların geçerli olması iki koşula bağlıdır;

##### **• Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu**

$$Q(a'') - Q(a') \geq DQ$$

$a'$  :  $Q$  değerine göre birinci sıradaki alternatif

$a''$  :  $Q$  değerine göre ikinci sıradaki alternatif

$DQ$  :  $1/(J-1)$ ;  $J$  alternatif sayısını göstermektedir.

##### **• Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu**

En iyi  $Q$  değerine sahip  $a'$  alternatifi,  $S$  ve  $R$  değerlerinin en az birinde en iyi puanı elde etmelidir. Fakat birinci ve ikinci koşullardan biri sağlanmıyorsa uzlaşık çözüm kümesi şu şekilde olmaktadır:

İkinci koşul sağlanmıyorsa, birinci sıradaki a' ve ikinci sıradaki a" alternatiflerinin ikisi de en iyi uzlaşmış ortak çözüm olarak belirlenir.

Birinci koşul sağlanmıyorsa a', a", ..., a(M) alternatifleri ve değeri maksimum M için  $Q(a(M)) - Q(a')$  < DQ ile belirlenir.

Q değerlerine göre sıralanan en iyi alternatif, minimum Q değerine sahip alternatiflerden birisidir [23].

## 6. Uygulama

VIKOR yaklaşımının ele alınmasından evvel öncelikle uzman görüşlerine dayanılarak Tablo-1'deki kriterler matrisi oluşturulmuştur. Kriterler ise numara sırasına göre; yolculuk talebi (K01), bekleme süresi (K02), işletme maliyeti (K03), yolculuk ücreti (K04), entegrasyon kolaylığı (K05), erişilebilirlik (K06), sefer sıklığı (K07), çevreye duyarlılık (K08), konfor (K09), güvenlik (K10) ve engelliler için erişim kolaylığı (K11) olmak üzere 11 adettir. Kriterlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin tutarlılık oranı %7,38 olup makul seviye olarak kabul edilen %10'un altında kalmaktadır. Bu da yapılan derecelendirmelerin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Alternatifler ise numara sırasına göre; raylı ulaşım (A01), belediye otobüs hizmetleri (A02) ve minibüs, halk otobüsü gibi özel ulaşım (A03) olmak üzere 3 adettir. Alternatiflerin on bir kriterle göre puanlandırılması ise farklı aralıklar içinde yine uzman görüşüne başvurularak Tablo-2'deki gibi belirtilmiştir.

Tablo 1. Kriterlerin Birbirine Göre Üstünlüğünü Gösteren Matris

	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11
K01	<b>1,00</b>	5,50	1,50	5,50	4,50	4,50	4,75	3,75	5,50	5,50	5,75
K02	0,18	<b>1,00</b>	0,50	1,50	0,75	1,50	4,50	1,75	1,50	1,75	1,75
K03	0,67	2,00	<b>1,00</b>	2,50	1,00	1,00	3,50	2,50	1,75	1,75	1,75
K04	0,18	0,67	0,40	<b>1,00</b>	1,75	1,75	1,75	1,75	3,50	3,50	1,75
K05	0,22	1,33	1,00	0,57	<b>1,00</b>	2,75	2,75	1,25	1,25	1,25	1,75
K06	0,22	0,67	1,00	0,57	0,36	<b>1,00</b>	2,50	1,25	1,25	1,25	5,50
K07	0,21	0,22	0,29	0,57	0,36	0,40	<b>1,00</b>	1,25	1,25	1,25	1,25
K08	0,27	0,57	0,40	0,57	0,80	0,80	0,80	<b>1,00</b>	2,50	1,50	1,50
K09	0,18	0,67	0,57	0,29	0,80	0,80	0,80	0,40	<b>1,00</b>	3,50	2,50
K10	0,18	0,57	0,57	0,29	0,80	0,80	0,80	0,67	0,29	<b>1,00</b>	1,50

<b>K11</b>	0,17	0,57	0,57	0,57	0,57	0,18	0,80	0,67	0,40	0,67	<b>1,00</b>
------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------------

Tablo 2. Alternatiflerin Kriterlere Göre Puanlandırılması

	K01	K02	K03	K04	K05	K06	K07	K08	K09	K10	K11
<b>A01</b>	90	1	1	1	3	9	80	95	95	80	95
<b>A02</b>	60	2	2	5	7	5	40	20	40	30	50
<b>A03</b>	40	4	3	3	9	5	60	25	20	20	10

Alternatiflerin önem katsayılarının hesaplanabilmesi için, kriterler AHP yöntemi ile ağırlıklandırıldıklarında ise numara sırasına göre kriterlerin ağırlıkları; W01=0,28, W02=0,09, W03=0,12, W04=0,10, W05=0,09, W06=0,08, W07=0,04, W08=0,06, W09=0,06, W10=0,04, W11=0,04 olarak hesaplanmıştır. Bu ağırlıklara göre “v” katsayısının 0,09 civarında olması gerektiği görülmektedir.

Bütün bu hesaplamalar neticesinde ise alternatifler VIKOR yöntemine göre Tablo-3'deki gibi S, R ve Q değerlerini almıştır.

Tablo 3. Alternatiflerin Beş Farklı VIKOR Yöntemine Göre Önem Sırası

	S	Sıra	R	Sıra	Q (.09)	Sıra
<b>A01</b>	0,3904	1	0,1198	1	0,0000	1
<b>A02</b>	0,6034	2	0,1681	2	0,3537	2
<b>A03</b>	0,6309	3	0,2801	3	1,0000	3

Tablo-3'deki VIKOR önem sırasına bakıldığında Raylı Ulaşım alternatifi karar vermenin 5. aşamasındaki şartları bariz şekilde sağladığından bütün alternatifler arasında birinci dereceden öneme sahip olduğu görülmektedir.

## 7. Sonuçlar

Ulaştırma sistemlerinin toplumlar için vazgeçilmez sistemler olduğu ve tüm ekonomik, sosyal ve kültürel aktivitelerin oluşumunda taşıma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek sistem seçimi gerekse mevcut sistemlerin daha etkin kullanılması için yetkin kişiler tarafından özenli çalışmaların yapılması zorunludur.

Kentsel gelişmeye paralel olarak yeni toplu taşıma yatırımlarının söz konusu olduğu durumlarda yalnızca bir tür üzerinde durulmayıp alternatif türler için gerekli etütler yapılmalı ve yatırım kararları popülist yaklaşımlarla değil, bilimsel gerçekler doğrultusunda alınmalıdır.

Yapılan çalışmada; toplu taşıma türü seçimi, VIKOR yaklaşımının ele alınmasından evvel öncelikle uzman görüşlerine dayanılarak kriterler belirlendi ve kriterler matrisi oluşturulmuştur. Alternatiflerin önem katsayıları AHP yöntemi ile ağırlıklandırıldı. Bütün bu hesaplamalar ile alternatiflerin beş farklı VIKOR değeri hesaplanmıştır. Önem sırasına bakıldığında raylı ulaşım alternatifinin diğer alternatifler arasında birinci dereceden öneme sahip olduğu görülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Kaya E., Karadayı E., Nalçakan M., Gerede E., Aras H., Battal Ü., Kuyucak F., "Ulaştırma Sistemleri" pp 3-8, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir, 2012
- [2] Akman, G., & Alkan, A. (2016). İzmit kent içi ulaşımda alternatif toplu taşıma sistemlerinin aksiyomlarla tasarım yöntemi ile değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 22, ss 54-63, 2016.
- [3] Saatçioğlu C, Yaşarlar Y. "Kent içi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri: İstanbul Örneği," Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3, ss 117-144, 2012
- [4] Celik E, Aydın N, Gumus AT. "A Multiattribute Customer Satisfaction Evaluation Approach for Rail Transit Network: A Real Case Study for Istanbul, Turkey," Transport Policy, 36, pp 283-293, 2014.
- [5] Celik E, Bilisik ÖN, Erdogan M, Gumus AT, Baracılı H. "An Integrated Novel Interval Type-2 Fuzzy MCDM Method to Improve Customer Satisfaction in Public Transportation for İstanbul," Transportation Research Part E, 58, pp 28-51, 2013.
- [6] Gumus AT, Yılmaz G. "Sea Vessel Type Selection Via an Integrated VAHP-ANP Methodology for High-Speed Public Transportation in Bosphorus," Expert Systems with Applications, 37, pp 4182-4189, 2010.
- [7] M. Karacasu, "Kent içi Toplu Taşıma Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Karar Destek Modeli (Electre Yöntemi) Kullanımı," 7. Ulaştırma Kongresi, ss. 155-164, 2007.
- [8] M. Akad, E. Gedizlioğlu, "Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı", İtü Dergisi, cilt 6, ss.88-98, 2007.

- [9] C. Kırancıoğlu, "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması", İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi, pp. 53-71, 2016.
- [10] G. Jeansonne, B. D. KAPAVIK, "Case Study: Site Selection of Multibillion Dollar Multimodal Transportation Center," Esri International User Conference, 2003.
- [11] S. Aydın, C. Kahraman, "Vehicle Selection for Public Transportation Using an Integrated Multi Criteria Decision Making Approach: A Case of Ankara", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 26, pp 2467–2481, 2014.
- [12] İ. Şenlik, "Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi". EMO Samsun Şubesi Haber Bülteni, 14, ss 23-26, 2013.
- [13] M. E. Kılıoğlu, "İstanbul Metrobüs Sisteminin Kapasitesinin Artırılması için Alınması Gerekli Önlemler," Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [14] Reichardt T. "Mehrkriterielle Entscheidungen mit dem AHP-Verfahren". Seminar zur Allgemeinen Betriebswirtschaftlehre, Halle (Saale), Deutschland, 2003.
- [15] D. Çol, H. Gerçek, "Analitik Hiyerarşi Yöntemi İle İstanbul'da Bütünleşik Bisiklet Ağı Kümelerinin Önceliklendirilmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 20, No. 6, ss. 215-224, 2014.
- [16] Saaty T. "Decision Making for Leaders. Pittsburgh", USA, RWS Publications, 2000.
- [17] C. Albayrak, E. Albayrak, "Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması". I. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu-Bildiriler-I, 1995.
- [18] MK. Starr, M. Zeleny, MCDM: "State and Future of the Arts. Editors: Starr MK, Zeleny M. Multiple Criteria Decision Making", 5-29, 1977.
- [19] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill International Book Company, ss 79, New York, 1980.
- [20] A. Özbek, "Akademik Birim Yöneticilerinin MOORA Yöntemiyle Seçilmesi: Kırıkkale Üzerine Bir Uygulama", Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, ss 1-18.
- [21] M. Dağdeviren, D. Akay, M. Kurt, "İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19, 131-138, 2004.

[22] F. Ersöz ve A. Atav, "Çok Kriterli Karar Verme Problemlerinde MOORA Yöntemi", Yöneylem Araştırması Ve Endüstri Mühendisliği 31.Ulusal Kongresi, Sakarya Üniversitesi, ,s s. 79, 2011.

[23] Uçakcıoğlu, B, Eren, T. "Hava Savunma Sanayinde Yatırım Projelerinin Çok Ölçütlü Karar Verme ve Hedef Programlama ile Seçimi". Journal of Aviation 1 (2017): 39-63

# RAYLI SİSTEMLER PROJELERİNDE YAPILABİLİRLİK ETÜTLERİNİN ÖNEMİ

Özlem Battal<sup>1\*</sup> ve M. Kürşat Çubuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: ozlembattal@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Ankara, 06570, Türkiye, ckursat@gazi.edu.tr

## Özet

Büyük kaynaklar gerektiren ve sonuçları ülkenin ekonomik ve sosyal yaşamını köklü biçimde etkileyen ulaştırma yatırımlarının gerekli kapsam ve ayrıntılar dahilinde analizler yapılarak değerlendirilmesi tartışmasız bir zorunluluktur. Gelişmekte olan ülkelerde ulaştırma ağı henüz tamamlanamadığı için büyük ulaştırma yatırımlarının gündeme gelmesi ve yatırım karar sürecinin yetersiz ve sağlıklı olması bu ülkeler için konunun önemini daha da artırmaktadır. Günümüzde, Türkiye’de yapılan raylı sistem yatırımları sayısı gittikçe artmaktadır. Bu yatırımların performanslarını değerlendiren çalışmalar ise bir o kadar kısıtlıdır. Hangi beklentiler içerisinde planlandıkları ya da işletilmeye başlandıktan sonra beklentileri karşılayıp karşılamadıkları bilinmemektedir. Bu sebeple, raylı sistem yatırımlarının planlama aşamalarını, yatırım amaçlarını ve ortaya çıkan sonuçları araştırarak çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışma kapsamında raylı sistem yatırımlarında yapılabilirlik etütlerinin önemine dikkat çekilerek gerekliliğini değerlendirilecektir.

## Abstract

It is an indisputable requirement that transport investments, which require large resources and whose outcomes will have a fundamental impact on the economic and social life of the country, should be analyzed and analyzed within the necessary scope and details. As the transportation network in developing countries has not yet been completed, major transport investments are on the rise and the investment decision process is inadequate and unhealthy. Today, the number of rail systems is increasing investment in Turkey. The studies evaluating the performance of these investments are limited. It is not known which expectations are planned or whether they meet the expectations after the start of operation. For this reason, there is a need to study the planning stages of investment in investments, investment objectives and results. Within the scope of this study, the importance of feasibility studies in rail system investments will be emphasized and the necessity will be evaluated.

**Keywords:** Transportation, railway systems, feasibility studies

## 1. Giriş

Ulaşım insanların ve nesnelerin belirli bir amaca yönelik olarak bir yerden başka bir yere yer değiştirmeleridir. Ulaştırma ise, insanların yer değiştirme ve haber veya mal gönderme ihtiyaçlarını gidermek için belirli bir taşıt, teknik veya teknoloji aracı kullanılarak bir kurum (kamu veya özel)



tarafından bu hizmetin verilmesidir. İnsanlar çeşitli nedenlerle ile seyahat ederler. Eşyalar ise bir fayda katkısı elde etmek için yer değiştirirler. Bu yer değiştirme ulaşım sistemleri ile gerçekleştirilir. Ulaşım sistemleri toplumlar için vazgeçilmez sistemlerdir ve bir kent için en önemli alt yapıyı oluştururlar [1].

Ulaştırma bir ülkenin ekonomik gelişimini ve refah seviyesini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Etkili ulaştırma sistemleri, pazarlara, işlere ve yatırımlara erişilebilirliği kolaylaştırarak sosyoekonomik fırsatlar ve yararlar oluşturmaktadır. Ulaşım günümüz dünyasında küreselleşme ve ekonomik büyümeye paralel olarak hızlı bir değişim göstermektedir. Bilim ve teknolojinin hızlı gelişimi ve nüfus artışı; kapasitesi yüksek, daha hızlı, daha güvenli ve daha konforlu ulaşım isteğini öne çıkarmaktadır [2]

## 2. Toplu Taşıma Sistemleri

Hızla büyüyen kentli nüfusun günlük faaliyetlerini sürdürmek amacıyla gerçekleştirdiği yolcu ve mal hareketlerini kapsayan kent içi ulaşım bireysel ve toplu ulaşım olarak ikiye ayrılabilir. Toplu ulaşım; raylı ulaşım, karayolu ulaşımı, denizyolu ulaşımı şeklinde sınıflandırılmakta, bireysel ulaşım ise otomobil, yaya ve bisiklet türlerini kapsamaktadır [3].

Kent sakinlerinin özel araçlarıyla ulaşım ihtiyaçlarını karşılama isteği, şehirlerin gelişmesi ve bu şehirde yaşayanların ekonomik gelişimi ile günden güne zorlaşmaktadır. Dolayısı ile trafik sıkışıklığını çözmek için ne kadar yatırım yapılırsa bu sorunun istenen ölçüde çözülemeyecektir. İnsanların ekonomik durumu iyileştikçe, trafiğe çıkan özel araç sayısı günden güne artmakta ve trafiği iyileştirme için yapılan bütün çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla kişilerin ulaşım ihtiyaçlarını karşılamamanın en iyi yolu, kent genelinde toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılmasıdır [4].

Karayolu altyapısını ortaklaşa kullanan sistemlerde (otomobil, dolmuş, minibüs, otobüs) karşılıklı etkileşme nedeniyle bu taşıtlar arası süre kuramsal değerlere erişemeyebilmektedir. Ulaşım sürelerinin yolcu kapasitelerinin hesaplanmasında, taşıtların doluluk oranları konusundaki varsayımlar belirleyici rol oynamaktadır. Doruk saatler dışında kamu taşımasındaki doluluk oranları, özellikle yüksek kapasiteli araçlarda, çok düşük olmaktadır [5].

Tablo 1. Yolcu Taşıma Sistemlerinin Kapasiteleri- Kapasiteye Göre Sıralanmış

Yolcu Taşıma Sistemi	Yolcu Kapasitesi (Yolcu/saat/yön)
Banliyö Treni / Metro	40.000-60.000
Hafif Raylı Sistem (LRT / HRS)	15.000-22.000
Körüklü Otobüs (özel yolda)	12.000-20.000
Körüklü Otobüs	10.000-15.000
Otobüs	8.000-12.000
Minibüs	6.000-10.000
Otomobil	2.000-5.000

### 3. Raylı Ulaşım Sistemleri

Modern, hızlı, konforlu ve güvenli olması; trafik sıkışıklığından etkilenmemesi ve herhangi bir sıkışıklığa sebebiyet vermemesi; karayolu ulaşım sistemlerine göre daha az gürültülü olması ve havayı daha az kirletmesi; iklim şartlarından diğer ulaşım sistemlerine göre daha az etkilenmesi; trafikte kaza riskinin çok düşük olması; taşıdığı yolcu sayısına oranlandığında karayolu ulaşımından daha az alana ihtiyaç duyması; fayda-maliyet oranlarına bakıldığında uzun vadede diğer sistemlere göre daha yüksek değerlere sahip olması; daha az enerji tüketmesi; düzenli sefer aralıklarına sahip olması vb. avantajlarından dolayı raylı sistemlerin küçük şehirlerden büyük şehirlere kadar birçok değişik ölçekli uygulama alanında öncelikli tercih olarak değerlendirilmesi gerekmektedir [6].

Bugün raylı sistemler modern ülkelerin öncelikli olarak tercih ettikleri ulaşım sistemleridir. Tarihi 150 yıl öncesine kadar ulasan raylı toplu taşıma sistemleri, bazı dönemlerde özel otomobil kullanımı dolayısıyla ikinci plana atılmış olsa da her zaman ulaşımına bağlı olarak ortaya çıkan ekonomik, sosyal ve çevreyle ilgili sorunların çözümünde ilk akla gelen uygulamalar olmuşlardır. Modern ülkelerde, nüfusu 1 milyonu aşmış olan bütün kentlerde istisnasız olarak raylı toplu taşıma türlerine yer verilmektedir.

Büyük kentlerde doruk saatlerde yaşanan yüksek talebin karşılanması için toplu taşıma araçlarına gereksinim duyulmaktadır. Diğer yandan özellikle doruk saatlerde özel oto kullanımı ve ara toplu taşıma araçlarının yüksek talebe cevap verememeleri, bununla birlikte yol yüzeyini oldukça verimsiz kullanmaları hem trafik sıkışıklığına neden olmakta hem de ekonomik ve sosyal kayıplara yol açmaktadır. Bu nedenle fiziksel özerkliğe, geçiş üstünlüğüne ve yüksek güvenilirliğe sahip olan raylı sistem alternatiflerine başvurmak kaçınılmaz olmaktadır.

Belirli bir yönde doruk saatlerde ulaşım talebi 6 000 yolcuyu asmıyorsa, bu yönde otobüs talebe cevap verecektir. Ancak bu rakam artınca, mutlak olarak geçiş üstünlüğü olan türlere müracaat edilmelidir. Saatte 20 000 yolcuya kadar olan yönlerde ise tercihli veya bölünmüş yolda işletilen otobüs ya da trolleybüslere, tramvaylara, hafif raylı sistemlere yer verilmeli; ancak 20 binin üzerindeki yolculuk taleplerinin karşılanması için hafif metro ve metro seçeneklerine müracaat edilmelidir.

Dolayısıyla kapasite tür seçiminde belirleyiciliği olan bir etken olarak ön plana çıkmaktadır. Raylı sistemlerin tercih edilmesinde ya da kaçınılmaz alternatif haline gelmesinde kapasitelerinin diğer sistemlere oranla yüksek olması en önemli etkidir. Kapasite, en elverişsiz kesitten birim zamanda geçirilebilecek yolcu sayısı ile ölçülmekte olup, bir dizide taşınan yolcu ile iki dizi arasındaki süreye bağlıdır. Ancak kapasite tek belirleyici etken değildir. Gelişmiş ülkelerde enerjide dışa bağımlılıktan kurtulmak, enerji tasarrufu sağlamak, yolculara güvenilir, konforlu hizmet sunmak ve bunlarla birlikte gelişen çevre bilincine paralel olarak çevresel değerleri korumak amacıyla toplu taşıma türleri arasında raylı sistemlere öncelik verilmektedir.

Kent içi raylı sistemlerin başlıca tercih edilme nedenleri şunlardır [7]:

- Toplu taşımanın daha yaygın kullanımı yoluyla hareketliliği artırmak,

- toplu taşımayı çekici kılarak özel otomobil kullanımını azaltmak,
- otomobilin kent merkezi dışında kullanılmasını sağlamak
- sıklığı ve talebi artırarak ekonomik canlılığı sağlamak,
- otomobil kullanımını azaltarak enerji tüketimini ve hava kirlenmesini azaltmak,
- trafik kazalarını azaltmak,
- kent merkezinin kirlenmesini engellemek,
- kent gelişimini yönlendirebilmek, yeni bir kentsel yerleşimin (konut, sanayi sitesi) gelişmesini sağlamak,
- yaşlılar ve engelliler için yaklaşılabılır ulaşım olanağı sunmak
- daha konforlu ve güvenilir bir alternatif sunmak,
- trafik sıkışıklığını çözmek,
- merkeze uzak bir yolculuk odağının (üniversite, sanayi, vb.) doruk saatteki yolculuk talebini karşılamak,
- toplu taşıma arzındaki yetersizlikleri (aşırı doluluk, düşük sıklık, vb.) ortadan kaldırmak,
- ve merkezde ara toplu taşıma araçlarının neden olduğu sorunların önüne geçmektir.

#### **4. Raylı Sistemlerde Yapılabilirlik Etütleri**

##### **4.1. Ulaştırma Yatırımları**

Ulaştırma yatırımları uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, bu tür büyük altyapı projelerine ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar

getirecek biçimde kullanılması çok önemlidir. Dolayısıyla yanlış kararlarla oluşturulan herhangi bir ulaştırma projesinin daha sonra yapılacak ulaştırma yatırımlarının yerini ve biçimini bağlayıcı etkileri vardır. Kent yönetimleri ulaşım altyapısı yapım kararı alırken, sistemin ekonomik olmasına da gereken önemi vererek, özenle karar vermek zorundadır [4].

Ulaşım yatırımlarının etkileri, teorik ve pratik açıdan şehir plancılarını ve kamu sektörü karar vericileri yakından ilgilendirmelidir. Çünkü bu etkilerin tamamı, söz konusu yatırımların birer kamu yatırımı olmasından hareketle, toplumsal refahı ve kalkınma üzerinde doğrudan rol oynar. O nedenle, olası etkilerin tamamı, bu yatırımların fayda-maliyet analizleri içinde yer almalıdır. Söz konusu ulaşım altyapıları, mevcut ulaşım ağındaki kapasite artırımlarını, yeni karayolu yatırımlarını, yeni toplu taşıma olanaklarını ve mevcut toplu taşıma stokundaki farklı düzenlemeleri içermektedir [8].

#### **4.2. Raylı Sistemlerde Yapılabilirlik Etütlerinin Önemi**

Demiryolu yatırımları, çevreci, ekonomik, daha yüksek kapasiteli olması, az yer kaplaması ve enerji verimli olması gibi sebeplerle 20. yüzyılın başından itibaren yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Takip eden yıllarda, otomobilin icadı ve yaygınlaşması ve karayolu standartlarının yükselmesiyle, karayolu ulaşım türü dünya çapında geniş bir yaygınlık kazanmıştır. Cumhuriyet'in ilk yıllarında önemli bir miktarda demiryolu yatırımı gerçekleştirilmiş olup, dış politik angajmanlarla, karayoluna yapılan yatırımlar önemli ölçüde yaygınlık kazanmış, kısa sürede de neredeyse tek ulaştırma türü halini almıştır [2].

Raylı toplu taşıma sistemlerinin modern şehircilik anlayışında yerinin yadsınamaz olmasının gerçeği dışında bu sistemler maliyetleri açısından pahalı yatırımlardır. Bu da yapım öncesi plan/proje/etüt aşamasında çok büyük bir titizlik gösterilmesini gerektirmektedir. Öngörülemeyen her durum proje maliyetini artırmakta yapım sürelerini uzatmakta ve sistemin daha devreye alınmadan verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilecek sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Türkiye'de yer alan raylı sistemlerin birçoğu bulunduğu şehrin yerel yönetimleri tarafından kısıtlı kaynaklar kullanılarak veya borçlanma yoluyla hayata geçirilmiştir. Bu da bu büyük yatırımların belli kişi veya kuruluşların inisiyatifine bırakılmasının ne kadar yerinde olacağı sorusunu akla getirmektedir.

Raylı sistemlerin yapılabilirlik etütlerinin hazırlanmasında genel olarak dört temel amaç göze çarpar:

•Ellerindeki kaynakları etkin olarak kullanmak amacıyla gerek makro gerekse mikro açıdan yatırım kararını verecek olanlar fizibilite etüdü hazırlarlar.

•Devlet çeşitli sektörlerde özel kesim yatırımlarını teşvik etmek ve desteklemek amacı ile yatırım teşvikleri ve krediler verir. Bunlardan faydalanmak isteyen özel firmalar projeleri için yapılabilirlik etüdü hazırlarlar.

•Yatırım yapacak kuruluşlar bunu gerçekleştirmek için eğer bir finansman kuruluşundan kredi talebinde bulunacaklarsa, finansman kuruluşuna sunmak üzere bir fizibilite etüdü hazırlarlar.

•Projenin uygulanması aşamasında karşılaşılabilecek muhtemel güçlükleri önceden görmek ve önlemleri almak için yapılabirlik etüdü hazırlanır.

Yapılabirlik etüdü çalışmaları yukarıda bahsedilen genel yararlar yanında, düşünölen yatırımın türüne göre, aşağıda verilen özel nitelikli amaçlara da hizmet etmektedir;

•Yatırımın kesin olarak gerçekleştirilmesine karar vermek,

•İşletmenin kuruluş yerinin belirlenmesine imkân vermek,

•İşletmenin hangi büyüklükte kurulacağını (kapasite) tespit etmek,

•İşletmenin kurulması için iç ve dış finansman ihtiyacının ne olduğunun tespit edilmesi sonucu, finansman kaynaklarının sağlanması için bankalara ve diğer finansman kuruluşlarına ön projeyi sunmak,

•Yatırım indirimlerinden, kredi ve döviz tahsislerinden ve benzeri teşvik imkânlarından faydalanmak için ilgili kuruluşlara yatırım projesini tanıtıcı bir belge sunmak,

•Projenin gerektirdiği teknik donanımın ve güçlüklerin neler olduğunu tespit edebilmek,

•Projenin uygulanması döneminde karşılaşılabilecek güçlükleri önceden görmek ve gerekli tedbirleri almak,

•Projenin gerçekleştirilmesi ile ilgili yasal engeller olup olmadığını araştırmak [9].

Ayrıca her yatırım başlangıçta ne kadar iyi etüt edilirse edilsin proje süresince birtakım riskler ve belirsizlikler ortaya çıkar. Risk ve belirsizlik faktörü karar aşamasında önemli bir etkidir. Yatırımcılar belirsizliğin miktarını ve riskin muhtemel etkilerini öğrenmek isterler. Yapılabirlik etütlerinde ekonomik ve mali analizlerde risk ve belirsizlik analiz yöntemleri kullanılarak riskin ve belirsizliğin karar kriterleri üzerindeki etkisi tahmin edilmeye çalışılır [10].

## 5. Sonuçlar

Yatırımlar ölkeler ve işletmeler için büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden yatırımlara karar vermeden önce gerçekçi bir şekilde hazırlanacak olan yapılabirlik etüdüyle, mevcut belirsizliklerin büyük bir bölümü ortadan kaldırılarak karar vermede kolaylık sağlanmış olacaktır. Raylı sistemler için hazırlanacak yapılabirlik etüdü, o projenin ekonomik, teknik ve mali yönlerinin kapsamlı bir incelemesidir. Bu incelemenin sonucunda yatırım önerisinin kabul veya reddine karar verileceği için

yatırım proje aşamalarının temelini oluşturmaktadır. Projelerin hazırlanmasındaki ekonomik, teknik ve mali etütler iç içe girmiş ve birbirini tamamlar nitelikte olmasına rağmen mali etüt yatırım projesinin maliyet ve finansman yönünü incelediği için diğer etütlere göre daha önemli bir konumdadır. Çünkü raylı sistem yatırımının toplam tutarının tespit edilmesi ve bu tutarın finansman şeklinin araştırılması sonucu yatırımla ilgili ilk karar verilip diğer aşamalara geçilebilecektir.

Karar verme ve raylı sistem projelerinin gerçekleşmesi aşamasında, mali ve ekonomik yönden değerlendirilme çalışmaları, fizibiliteleri yapımı konusundaki yöntemlerde farklılıkların ve ortak yönlerin ortaya konularak, fizibilite yapımının etkin bir hale gelmesi ile kamudaki kaynakların doğru kullanımı ve verimliliğin artırılması yönünden önem arz etmektedir.

## Kaynaklar

- [1] G. Akman and A. Alkan, "Evaluation of alternative public transportation systems in Izmit urban transportation via axiomatic design method," *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 54–63, 2016.
- [2] I. Mustafa, K. M. Çağrı, and E. Esad, "Toplu Ulaşım Planlamasında Hizmet Parametrelerine Göre Türel Seçim."
- [3] T. Aycı, "İstanbul Şehir Hatları'nın Gemi ve Hat Analizi," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [4] Z. Öztürk and D. M. Tarık, "Metro Sistemlerinde Yapım ve İşletme Maliyetlerinin Optimizasyonu İçin Bir Yaklaşım," 2013.
- [5] B. Göktuğ, "Kent içi rayli toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması," Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Kent, 2014.
- [6] U. Railway, C. Planning, M. Criteria, D. Making, and T. Cem, "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması Urban Railway Corridor Planning Based on Multi Criteria Decision Making Techniques," vol. 33, no. 2016, 2019.
- [7] M. Türkmen, "Kent İçi Toplu Taşımada Raylı Sistemlerin Yeri ve Ankara Metrosu ile Ankaray Örneklerinin Değerlendirilmesi," Gazi Üniversitesi, 2001.
- [8] Y. Uğur and Ç. H. Murat, "İzmir Metrosunun Konut Fiyatları Üzerindeki Etkilerinin Hedonik Fiyat Yöntemi İle Modellenmesi," vol. 20, no. 2, pp. 61–79, 2005.
- [9] Yi. C. Ayanoğlu Kamil , Düzyol M. Cüneyd , İter Niyazi, *Kamu yatırım projelerinin planlanması ve analizi*. 1996.
- [10] S. H. Gümüşkaynak, "Fizibilite Raporlarının Hazırlanmasında Risk ve Belirsizlik Analizlerinin Kullanılması," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2004.

# ANALYZING EFFICIENCY OF HIGH SPEED RAILWAY STATIONS IN ATTRACTING PASSENGERS

Melody Khadem Sameni<sup>1\*</sup> and Ali Momeni Yazdi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, e-mail: sameni@iust.ac.ir

<sup>2</sup> Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, e-mail: alimomeni@rail.iust.ac.ir

## Abstract

Numerous studies have been conducted to analyze efficiency of railways, however, limited research has been focused on efficiency of high speed railway. In this research we compare efficiency of 17 major high speed railway stations of the world by using Data Envelopment Analysis (DEA) which is based on operations research. The inputs of the model are population of the city, number of high speed services per day and the output is number of passengers using high speed services. The model is solved by output orientation and stations of the case study are ranked according to their efficiency. Tokyo and Ankara station got the highest efficiency scores. Impact of type of traffic, being old or newly built as well as being through or dead end is also studied.

**Keywords:** High Speed Rail; Data Envelopment Analysis; Stations; Efficiency

## 1. Introduction

Since the inauguration of the first high speed railway line of the world in Japan in 1964, this sustainable mode of transportation has been constructed at different countries. Figure 1 shows major high speed railways of the world and their percentage of market share. Apart from these countries, Turkey, Saudi Arabia and Morocco are some of the new comers to this club while countries such as Iran, Brazil, South Africa have plans for construction.

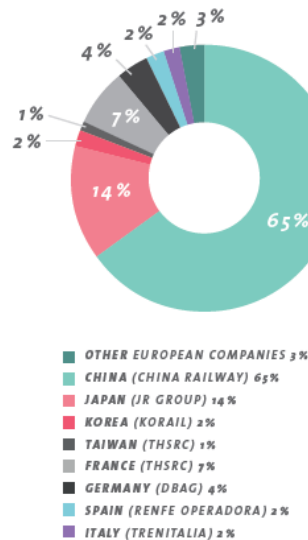
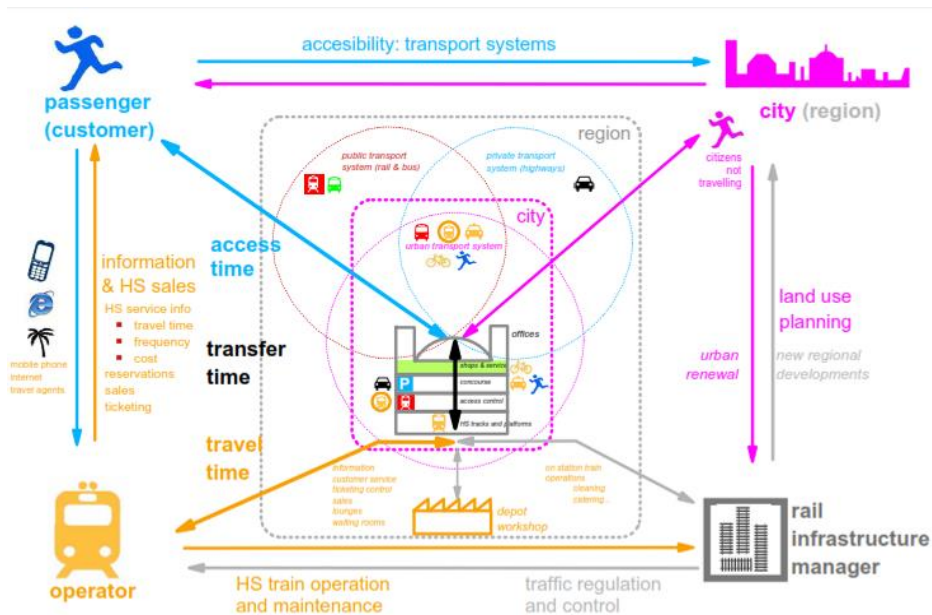


Figure 1- Major High Speed Railways and their market share based on passenger-km [1]

Building high speed railway lines is time consuming and very capital intensive. It is therefore very important to attract passengers and reach a commercially viable modal share. For this end, stations play a critical role as Figure 2 demonstrates. Stations are where passengers board and alight trains therefore accessibility is an important issue. The better stations integrate with their urban area and the city, the higher they can contribute to the success of overall high speed railway project.



**Figure 2-Different roles of High Speed Railway Stations [2]**

In this study we evaluate efficiency of high speed railway stations which upon the knowledge of the authors is for the first time in the literature.

## 2. Literature Review

Efficiency is a term that is in close connection with economy and effectiveness and together they make the concept of “value for money”[3] . Efficiency can be calculated based on the ratio of outputs to inputs. Index numbers can provide efficiency in simple case of one output and one input but in more complex cases, more advanced techniques such as Data Envelopment Analysis (DEA) should be used. Detailed mathematical background of this method is explained in [4] and [5].

Railway transportation is a research field with numerous applications of DEA and Table 1 presents a summary of them.

**Table 1- Efficiency analysis by DEA in the railway transportation surveyed by [6] and updated by [7]**

Study	Sample	Inputs	Outputs
[8]	19 railways in Europe and Japan	Staff; energy consumption; rolling stock	Passenger-km; freight-tonne-km
[9, 10]	17 European railways 1988-1993	Staff; rolling stock; track length	Passenger-km; freight-tonne-km
[11]	17 European railways 1970-1995	Operating cost; track-km	Passenger-km; freight-tonne-km
[12]	54 railways in 27 countries 2000-2004	Staff; rolling stock; track-km; operating expenditure	Train-km; passenger-km; freight-tonne-km
[13]	14 European railways 1990-2001	Staff; track length; rolling stock	Passenger-km; freight-tonne-km
[14]	16 European rail systems 1985-2004	Staff; rolling stock (Passenger vs. freight); network length	Passenger-km; freight-tonne-km
[6]	43 Swedish, German and British train operating firms	Material (Annual amount spent on operation including depreciation and rolling stock lease costs but excluding all staff costs); total staff; Material; managerial and administrative staff; the	Train-km  Train-km; passenger-km

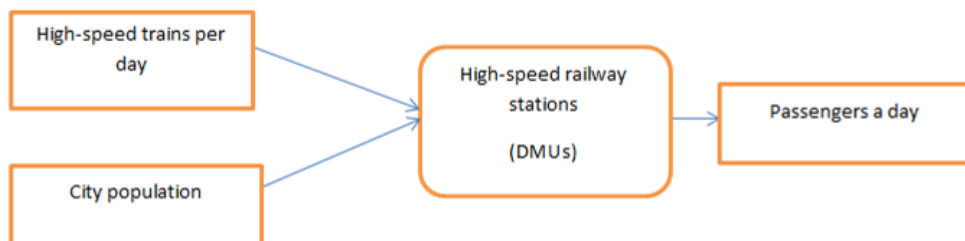


Study	Sample	Inputs	Outputs
		remaining production staff Material; managerial and administrative staff; the remaining production staff	Train-km; Tonne-km
[15]	31 railway companies of the world	Operating costs Number of employees Length of lines Number of traction vehicles Number of passenger cars Number of freight cars	Total revenue Number of passengers Number of passengers per km Tonnes transported Tonnes per km transported Car-km
[16]	17 urban rail transit systems in China	Length of lines Number of employees Number of Rail Cars Car-km Average trip length Population Density	Number of passengers
[17]	20 urban rail systems of the world	Number of employees Number of cars	Car-km Patronage
[18]	23 European railway companies	Length of lines Number of employees Number of passenger cars Number of freight wagons	Passenger-km Tonne-km
[19]	218 rail enterprises	Number of employees Length of lines Number of locomotives Number of passenger cars Number of freight wagons Length of electrified lines	Passenger-km Tonne-km

Most of the applications of DEA in railways have been focused on comparing the efficiency of railways in different countries or operators. There is limited research for analysing efficiency of stations by using DEA. A DEA model is proposed by [20] to analyse technical efficiency of stations in which number of platforms and percentage of through lines are used as inputs and number of train stops is the output. DEA has also been used for selection of location of railway stations [21]. In this research we intend to analyse how efficient high speed railway stations are in attracting passengers.

### 3. DEA Model and the Results

Schematic representation of the model is shown in Figure 3. In this model, stations are decision making units (DMU) and the inputs are high speed trains that serve the station per day as well as total population of the city. The only output of the model is passengers entering the station per day.



**Figure 3- Proposed DEA model of High Speed Railway Stations**

The model was solved for 17 stations and 12 cities from all around the world including Barcelona, Berlin, London, Madrid, New York City, Paris, Rome, Ankara, Beijing, Seoul, Taipei and Tokyo. Required data was extracted from [2]. Descriptive statistics of inputs and outputs are presented in

**Table 2- Descriptive statistics of the variables- Data extracted from [2]**

Variable	obs	mean	std.Dev	Min	Max
HS train/day	17	134.9412	135.9634	8	600
City population	17	5168795	3751282	1673075	1.32e +07
passengers/day	17	54043.18	104658.8	1500	450000

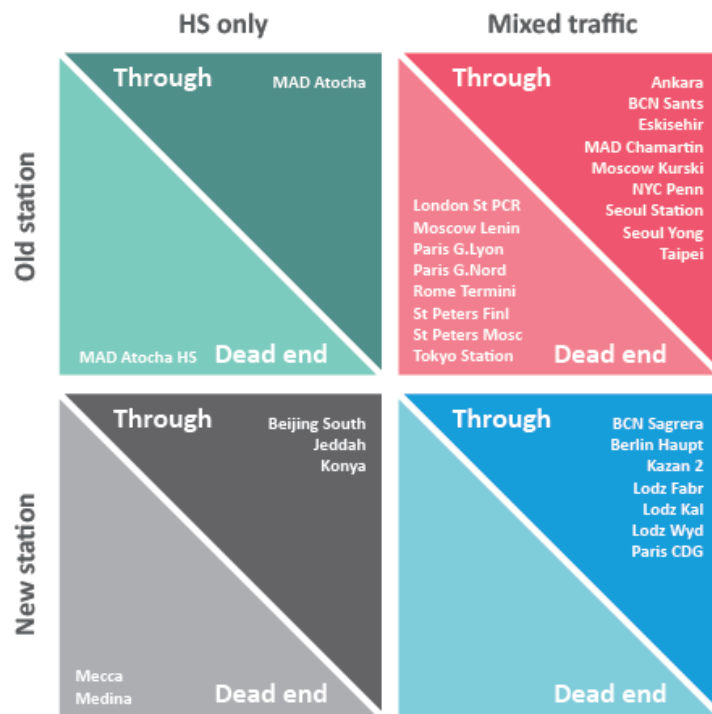
Results of the model solved by output orientation are presented in Table 3.

**Table 3- Results of the DEA Model**

Rank	station	Efficiency
1	Ankara	100
2	Tokyo	100
3	Roma	98.16
4	Barcelona-Sagrera	97.49
5	New York Penn	30.83
6	Seoul-Yongsan	29.13
7	Madrid Chamartin	29.08
8	Madrid Atocha	23.87
9	Taipei	23.12
10	Berlin	22.36
11	London (St. Pancras)	13.69
12	Beijing south station	12.1
13	Barcelona-Sants	11.27
14	Paris-Gare de Lyon	5.71
15	Paris-Charles de Gaulle	2.84
16	Paris-Gare de Nord	1.33
17	Seoul-Seoul Station	1.04

In this model an efficient station would be the one(s) that relative to the population of the city and the number of high speed train services attract most passengers. It can be seen that the where there are more than one stations in a city (like the case of Paris, Madrid and Seoul), overall efficiency of them decreases (as passengers are divided between them although the accessibility for passengers is improved). Therefore in such cases detailed financial benefits should be considered to assess whether adding new stations is worth the costs.

Other parameters that could impact efficiency of a high speed station are whether the station is an upgraded old one or a totally newly built as well as whether the traffic is mixed. Figure 4 shows categorisation of high speed railway stations based on these parameters (the figure includes more stations than the ones included in our case study).



**Figure 4- Different Types of High Speed Railway Stations [1]**

In Table 4, average efficiency is compared for the 17 stations of the case study according to the nature of traffic (mixed or high speed only), old or newly built and topology (through or dead end).

**Table 4- Comparison of Efficiency based on 3 parameters**

Item	Average of Efficiency
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ankara</li> <li>Tokyo</li> <li>Roma</li> <li>New York Penn</li> <li>Seoul-Yongsan</li> <li>Madrid Chamartin</li> <li>Madrid Atocha</li> <li>Taipei</li> </ul> <p>Old stations</p> <p>35.94</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>London (St. Pancras)</li> <li>Barcelona-Sants</li> <li>Paris-Gare de Lyon</li> <li>Paris-Gare de Nord</li> <li>Seoul-Seoul Station</li> <li>Barcelona-Sagrera</li> <li>Berlin</li> <li>Beijing south station</li> <li>Paris-Charles de Gaulle</li> </ul> <p>New Stations</p> <p>33.70</p>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ankara</li> <li>Barcelona-Sagrera</li> <li>New York Penn</li> <li>Seoul-Yongsan</li> <li>Madrid Chamartin</li> <li>Madrid Atocha</li> <li>Taipei</li> </ul> <p>Through Stations</p> <p>31.93</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berlin</li> <li>Beijing south station</li> <li>Barcelona-Sants</li> </ul>

		Paris-Charles de Gaulle	
		Seoul-Seoul Station	
		Tokyo	
		Roma	
	Dead end Stations	London (St. Pancras)	43.78
		Paris-Gare de Lyon	
		Paris-Gare de Nord	
	HS only traffic	Madrid Atocha	17.99
		Beijing south station	
		Ankara	
		Tokyo	
		Roma	
		Barcelona-Sagrera	
		New York Penn	
		Seoul-Yongsan	
3		Madrid Chamartin	
	Mixed traffic	Taipei	37.74
		Berlin	
		London (St. Pancras)	
		Barcelona-Sants	
		Paris-Gare de Lyon	
		Paris-Charles de Gaulle	
		Paris-Gare de Nord	
		Seoul-Seoul Station	

It can be seen that old stations have slightly higher average efficiency than newly built ones. This can be because of better urban development around the older stations. Through stations have lower average efficiency compared to dead end ones. This result may sound surprising at first but the reason could be having less capacity at dead end station results in lower daily train stops (input) hence higher efficiency. While through stations have higher capacity and accommodate more train stops than what is actually needed.

Stations that have mixed traffic have much higher efficiency than the HS only ones. This can be due to better connectivity for passengers that can change between conventional and high speed trains. It must be mentioned that usually at stations with mixed traffic, different tracks are allocated for high speed and conventional trains which alleviates capacity problems.

#### 4. Conclusions

High speed railway is rapidly developing around the world. However there are limited studies focused on their efficiency analysis especially when it comes to stations. In this study we proposed a DEA model that based on the population of a city and the number of daily high speed train stops as inputs and the number of passengers as the output could identify the efficiency of stations. The results show that Ankara and Tokyo were the most efficient ones. What results in low (relative) efficiency scores is low outputs (number of passengers) and high inputs (train stops and population). Where there were more than one high speed railway station in a city, the efficiency scores were generally lower. Further analysis showed that old stations have higher efficiency comparing to the new ones potentially due to better urban developments around them. Efficiency for through stations was lower than dead ends the results of which could be having more than optimum level of inputs (train stops). Stations with mixed traffic were more efficient than the ones with only high speed traffic which can be because of better connectivity for passengers. Finally it must be mentioned that as this is the first research of its kind in the field of efficiency of high speed railway stations, results should be interpreted with caution and further research is suggested.

## References

- [1] UIC. *High Speed Rail: Fast Track to Sustainable Mobility*. 2018 [19/05/2018]; Available from: <https://uic.org/highspeed>.
- [2] UIC. *High Speed and the City*. 2018 [cited 2018 20/05/2018]; Available from: <https://uic.org/highspeed>.
- [3] Booz & Company *Rail Value for Money Study: Research on Value for Money Assessment 2011*, Commissioned by Department for Transport and Office of Rail Regulation. Available online at [www.dft.gov.uk](http://www.dft.gov.uk): London.
- [4] Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, *Measuring the efficiency of decision making units*. *European Journal of Operations Research*, 1978. 2(6): p. 429-44.
- [5] Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, *Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis*. *Management Science*, 1984. 30(9): p. 1078-1092.
- [6] Merkert, R., A.S.J. Smith, and C.A. Nash, *Benchmarking of train operating firms—a transaction cost efficiency analysis*. *Transportation Planning and Technology*, 2010. 33(1): p. 35-53.
- [7] Khadem Sameni, M. and M.R. Kashi Mansouri, *Analyzing Efficiency of Railway Transportation by Considering Quality of Services: NewData Envelopment Analysis Models*. *International Journal of Railway Research*, 2017. 4(1): p. 47-55.
- [8] Oum, T.H. and C. Yu, *Economic efficiency of railways and implications for public policy: a comparative study of the OECD countries' railways*. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1994. 28(2): p. 121-138.
- [9] Coelli, T. and S. Perelman, *A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways*. *European Journal of Operational Research*, 1999. 117(2): p. 326-339.
- [10] Coelli, T. and S. Perelman, *Technical efficiency of European railways: a distance function approach*. *Applied Economics*, 2000. 32(15): p. 1967 - 1976.
- [11] Cantos, P., J.M. Pastor, and L. Serrano, *Cost and revenue inefficiencies in the European railways*. 2002: Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas.
- [12] Growitsch, C. and H. Wetzel, *Testing for economies of scope in European railways: An efficiency analysis*. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPE)*, 2009. 43(1): p. 1-24.
- [13] Driessen, G., et al., *The impact of competition on productive efficiency in European railways*. 2006: CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
- [14] Cantos, P., J.M. Pastor, and L. Serrano, *Vertical and horizontal separation in the European Railway Sector and its effects on Productivity*. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPE)*, 2010. 44(2): p. 139-160.
- [15] Kutlar, A., A. Kabasakal, and M. Sarikaya, *Determination of the efficiency of the world railway companies by method of DEA and comparison of their efficiency by Tobit analysis*. *Quality & Quantity*, 2013. 47(6): p. 3575-3602.
- [16] Qin, F., X. Zhang, and Q. Zhou, *Evaluating the impact of organizational patterns on the efficiency of urban rail transit systems in China*. *Journal of Transport Geography*, 2014. 40: p. 89-99.
- [17] Tsai, C.-H.P., C. Mulley, and R. Merkert, *Measuring the Cost Efficiency of Urban Rail Systems An International Comparison Using DEA and Tobit Models*. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPE)*, 2015. 49(1): p. 17-34.
- [18] Bojović, N., et al., *Innovations Impact on Efficiency of European Railway Companies*. *Management (1820-0222)*, 2016(79).
- [19] Kleinová, E., *Does liberalization of the railway industry lead to higher technical effectiveness?* *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 2016. 6(1): p. 67-76.
- [20] Khadem Sameni, M., J. Preston, and M. Khadem Sameni, *Evaluating efficiency of passenger railway stations: A DEA approach*. *Research in Transportation Business & Management*, 2016. 20: p. 33-38.
- [21] Mohajeri, N. and G.R. Amin, *Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis*. *Computers & Industrial Engineering*, 2010. 59(1): p. 107-114.

# BÖLGESEL DEMİRYOLLARININ BÖLGESEL GELİŞİME KATKISI: ADAPAZARI-HAYDARPAŞA BÖLGESEL DEMİRYOLLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İrfan Pamuk<sup>1</sup>, Abdulmuttalip Demirel<sup>2</sup> ve Hakan Güler<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, e-mail: ipamuk@sakarya.edu.tr

<sup>2</sup> Kocaeli University, Kocaeli, Turkey, e-mail: ademirel@kocaeli.edu.tr

<sup>3</sup> Sakarya University, Sakarya, Turkey, e-mail: hguler@sakarya.edu.tr

## Özet

Bölgesel demiryolları birden fazla bölgeye hizmet götüren ve günlük seferleri sık olan demiryolları olarak ifade edilirler. Bu bölgeler genelde farklı il merkezleri ve ilçelerden oluşurlar ve bu bölgeler arasında sosyo-ekonomik ilişkiler kuvvetlidir. Türkiye’de de, TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları) hatlarında, hemen hemen her bölgede faaliyet gösteren bölgesel trenler mevcuttur. Bu çalışmada, Adapazarı-Haydarpaşa Bölgesel Demiryolu’nun ulaşım planlama teknikleri kullanılarak incelemesi yapılmıştır. Bu amaçla, Adapazarı-Haydarpaşa demiryolu hattı arasındaki demiryolu ağı ve duraklar yolculuk bilgileri ile birlikte bir ulaşım planlama yazılımına aktarılmıştır. Yolculuk analizleri için, sefer sayıları ve duraklar arası yolculuk miktarları tespit edilerek atama analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, Adapazarı-Haydarpaşa bölgesel Treni’nin geçmişi, mevcut durumu ve mevcut potansiyeli ortaya konarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bölgesel demiryolları, Demiryolu İşletmesi ve ulaşım planlaması

## Abstract

The regional railways are often referred to as railways serving railway services to more than one regions and they have frequent train services between these regions in daily based. These regions generally consist of different provincial centers and regions and the socio-economic relations are strong among these regions. In Turkey, TCDD (Turkish State Railways) has regional train operations in almost TCDD’s all regions. In this study, Adapazarı-Haydarpaşa regional railways were examined by using transportation planning techniques. For this purpose, the railway network and stops as well as passenger numbers between Adapazarı and Haydarpaşa railway line were transferred into a transportation planning software. In conclusion, the past, existing situation and existing potential of Adapazarı-Haydarpaşa regional railways were exhibited and some evaluations were made.

**Keywords:** Regional railways, Railway operation and Transportation planning

# MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF SPA-H STEEL SHEETS USED IN RAILWAY VEHICLES IN RESISTANCE SPOT WELDING

Erdem FERİK<sup>1\*</sup> and Nuri AKKAŞ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Bursa Technical University, Bursa, Türkiye, e-mail: erdemferik@gmail.com

<sup>2</sup> Sakarya University, Sakarya, Türkiye, e-mail: akkas.nuri@gmail.com

## Özet

Bu bildiri, raylı sistem araçlarının yan duvar ve dam kısımlarında kullanılan SPA-H çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı üzerine deneysel bir çalışma sunmaktadır. 2.3 mm kalınlığa sahip SPA-H çelik saclar, üst üste bindirilerek direnç nokta kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Numuneleri hazırlamak için 120 kVA akım ve zaman kontrollü pinomatik bir direnç nokta kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak zamanı 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot = 0,02 s) olarak seçilmiştir. Kaynak akım şiddeti 6 kA ile 11 kA arasında 0,5 kA artırılarak uygulanmıştır. Elektrot kuvveti 4 kN olarak sabit tutulmuştur. Nokta kaynaklı numunelerin mikro ve makro yapıları, SPA-H çelik sacların direnç nokta kaynağında birleştirilme kabiliyetini görmek için optik bir mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Direnç nokta kaynağı-Raylı sistem araçları-Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler

## Abstract

This paper presents an experimental study on resistance spot welding of SPA-H steel sheets used in side wall and roof in rail vehicles. SPA-H steel sheets having 2.3 mm thicknesses were joined by using resistance spot welding as lap joint. A timer and current controlled resistance spot welding machine having 120 kVA capacity and a pneumatic application mechanism with a single lever was used to prepare the specimens. Welding periods were chosen as 10, 15, 20, 25 and 30 cycles (1 cycle = 0,02 s) and also welding currents were increased from 6 kA up to 11 kA by rise of 0,5 kA. The electrode force was kept constant at 4 kN. The micro and macro-structures of prepared welding specimens were investigated by means of an optical microscope in order to see the joinability of SPA-H steel sheets by resistance spot welding.

**Keywords:** Resistance spot welding-Rail vehicles-Atmospheric corrosion resistant steels

## 1. Giriş

Günümüzde özellikle otomotiv ve raylı sistem endüstrisinde olmak üzere pek çok endüstride yaygın olarak kullanılan [1,2] direnç nokta kaynağı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın tatbikiyle yapılan bir kaynak usulüdür. Isı, kaynak edilecek kısımlarda meydana gelir ve basınç kaynak makinasındaki elektrotlar vasıtasıyla uygulanır [3,4].

Otomasyona uygun olması, zaman tasarrufu sağlaması ve maliyetinin düşüklüğü gibi faktörler bu yöntemin kullanım alanlarını oldukça arttırmıştır.

Düşük karbonlu çelikler, düşük alaşımlı ve yüksek dayanımlı çelikler, yeni nesil çelikler ve paslanmaz çelikler ile demir dışı malzemelerden alüminyum, titanyum, nikel ve bakır alaşımlarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir [5].

Atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclarda korozyon dayanımı, çeliğin bileşimine yaklaşık olarak %0,35 oranında bakır ilave edilmesiyle elde edilir [3]. Bu çelikler, karbon çeliklerine göre yaklaşık iki kat daha fazla atmosferik korozyon direncine sahiptir.

Atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar düşük karbonlu çeliklerdir. Karbon oranı, bu çeliklerin kaynak kabiliyetini de belirler. Kaynak kabiliyeti, çeliğin bileşimi, ısının tesiri altındaki bölgedeki ilgili mikro yapılar ve bu bölgedeki uygun olmayan mikro yapılardan kaçınma yeteneği ile belirlenir. SPA-H

atmosferik korozyona dayanıklı çelikler raylı sistem araçlarının yanı sıra petrol, petrokimya, elektrik, gıda ve gemi inşa gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

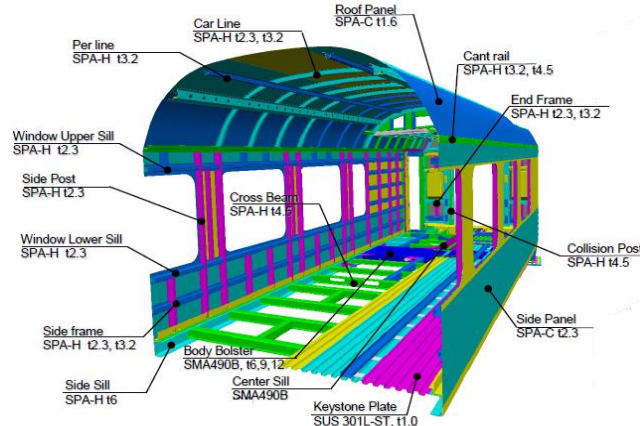
Elektrik direnç nokta kaynağında en önemli parametreler kaynak akımı, kaynak zamanı ve elektrot kuvvetidir. Bu parametrelerin kontrolü istenilen bağlantının elde edilebilmesi için son derece önemlidir. Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı üretilen ısı girdisi değerini direkt olarak etkiler. Bu parametrelerin artırılması, kaynak bölgesine giren ısı girdisi değerinin artmasına ve dolayısıyla kaynak bölgesinde bir takım termomekanik değişikliklere neden olmaktadır. Bununla birlikte aşırı akım şiddeti ve süresi fişkıma, gözenek ve çatlak oluşumu, bağlantının dayanımının düşmesi, kötü bir yüzey görünümü ve elektrotların deformasyonu gibi istenmeyen durumlara neden olur [6,7].

Dolayısıyla kaynak işleminden sonra kaynak çekirdeğinde ve ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) mekanik ve metalürjik olarak oluşan değişikliklerin incelenmesi emniyetli bir nokta kaynağı için çok kritik bir öneme sahiptir.

Bu nedenle, bu çalışmada söz konusu parametreler ışığında raylı sistem araçlarında kullanılan SPA-H çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantılarının mikroyapısında oluşan değişiklikler incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Deney malzemesi olarak Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.'de (TÜVASAŞ) üretilen raylı sistem araçlarının dam ve yan duvarlarında kullanılan 2.3 mm kalınlığında ki SPA-H atmosferik korozyona dayanıklı çelik saclar kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Raylı sistem araç gövdesi.

SPA-H çelik sacların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 1'de ve Tablo 2'de verilmiştir.

Çizelge 1 Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi (%).

Malzeme	C	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Ni
SPA-H	0.081	0.419	0.426	0.031	0.315	0.664	0.328

Çizelge 2 Deney malzemelerinin mekanik özellikleri.

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
SPA-H	457	572.7	40

Deney parçaları, giyotin makas ile (200x30) mm boyutlarında kesildikten sonra, derin bir kap içerisinde %96 saflıktaki etil alkol içerisinde yıkanmış ve temiz bir bezle silinerek yüzeyleri yağ, pas ve kir gibi yabancı maddelerden arındırılmış ve üst üste bindirilerek kaynak edilmiştir.

Ön deneylerde kaynak akım şiddeti ve zamanı değiştirilerek, kaynak işleminin gerçekleştiği en küçük değerden malzemelerin delindiği en büyük değere kadar kaynak yapılmıştır.

Elektrot kuvveti tüm deney boyunca 4 kN değerinde sabit tutulmuş ve sürekli olarak kontrol edilmiştir. Kaynak zamanı 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot= 0.02 s) olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma ve



tutma süreleri 25 periyot olarak sabit tutulmuştur. Kaynak akım şiddeti 6 kA'den 11 kA'e kadar 0,5 kA artırılarak değiştirilmiştir.

Yapılan kaynaklı birleştirmelerin mikroyapılarını incelemek amacı ile deney parçalarının her birinden alınan numuneler, mekanik olarak çekirdek ortasından kesilmiş ve bakalit içine gömülmüştür. Bakalit içerisindeki bu numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra %2 çözeltili nitrik asit ile dağlanmıştır. Ana malzemenin, kaynak çekirdeğinin ve ısının tesiri altındaki bölgelerin (ITAB) optik mikroskop kullanılarak mikro yapı fotoğrafları çekilmiş ve kaynak sonrası oluşan içyapı değişimleri incelenmiştir.

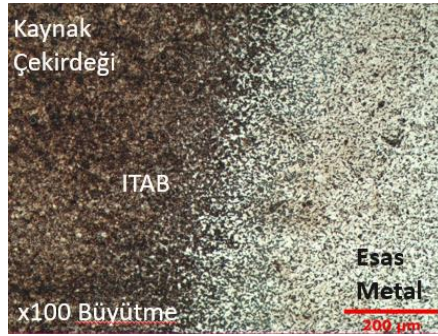


Şekil 2. Optik mikroskop.

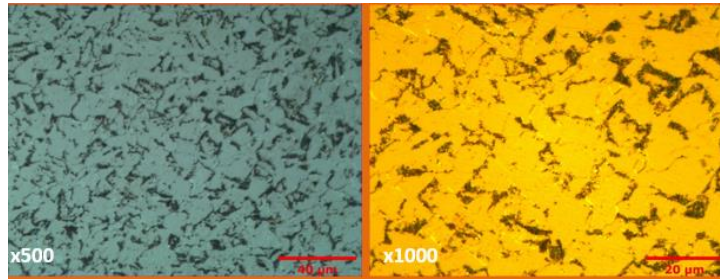
### 3. Deneysel Sonuçlar

SPA-H nokta kaynaklı bağlantılar, kaynağın merkezine olan yakınlığa göre şekil 3'de görüldüğü gibi üç farklı metalürjik alandan oluşur:

- i) Kaynak çekirdeği
- ii) Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)
- iii) Esas Metal

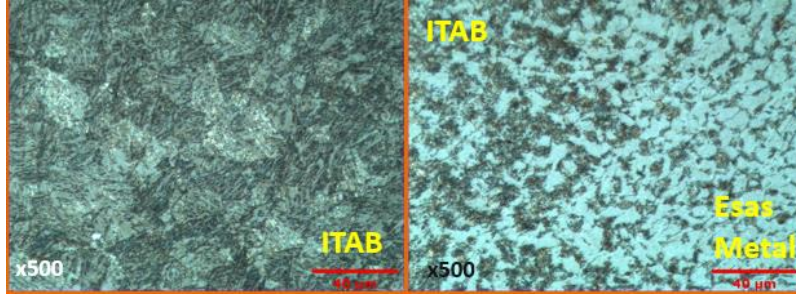


Şekil 3. SPA-H bağlantılarının mikroyapısal alanları .



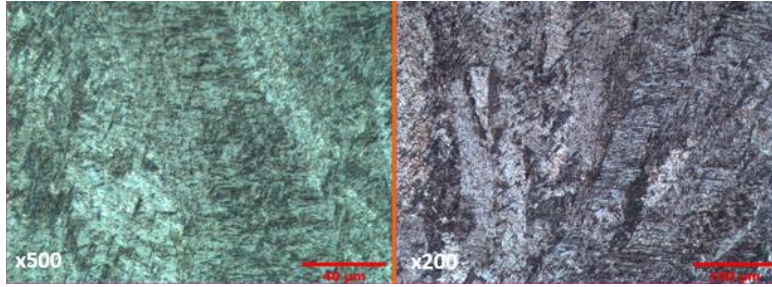
Şekil 4. SPA-H bağlantılarda esas metale ait mikro yapı fotoğrafları.

Şekil 4'de ki esas metale ait x500 ve x1000 büyütmelemede çekilen mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde çeliğin içerdiği karbon miktarına (%0,081) bağlı olarak yapının ferrit (açık renk alanlar) ve az miktarda da perlit (koyu renk alanlar) tanelerinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5. SPA-H bağlantılarda esas metal ve ITAB'a ait mikro yapı fotoğrafları.

Şekil 5'de ki SPA-H bağlantılarda ki esas metal ve ITAB'a ait mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde; ITAB'ın ferrit+perlit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Ancak kaynak bölgesine giren ısının etkisiyle koyu renk bölgelerin ve tane boyutlarının artarak tane sınırlarının yavaş yavaş kaybolduğu görülmektedir.



Şekil 6. SPA-H bağlantılarda kaynak çekirdeğine ait mikro yapı fotoğrafları.

Kaynak çekirdeğinin olduğu bölgede ise malzemenin düşük karbon oranına rağmen hızlı soğuma nedeniyle şekil 6'da da görüldüğü gibi martenzitik bir yapı oluşmuştur.

#### 4. Sonuçlar

Raylı sistem araçlarının dam ve yan duvarlarında kullanılan SPA-H çelik saclar elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirilerek nokta kaynaklı numuneler elde edilmiştir. Kaynak işlemlerinde, kaynak zamanı ve kaynak akımı değiştirilirken sıkıştırma ve tutma zamanları 25 periyot, elektrot kuvveti de 4 kN olarak sabit tutulmuştur.

SPA-H çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantılarının mikro yapıları optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Mikroyapı fotoğrafları incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. SPA-H bağlantılarda esas metal yapısı büyük oranda ferrit ve düşük bir oranda perlit fazından oluşmaktadır.
2. ITAB'da oluşan yapı da ferrit ve perlit tanelerinden oluşmaktadır. Bununla birlikte kaynak bölgesine giren ısının etkisiyle ITAB'da tane irileşmesi meydana gelmektedir.
3. Çekirdek bölgesinde ise düşük karbon miktarına rağmen hızlı soğumanın etkisiyle martenzitik bir yapı oluşmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Al-Mukhtar, A. M., Doos, Q., 2013, "The Spot Weldability of Carbon Steel Sheet", Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2013, 6 pages.

- [2] Khodabakhshi F., Kazeminezhad M., Kokabi A. H., "Resistance spot welding of ultrafine grained steel sheets produced by constrained groove pressing: Optimization and characterization", *Materials Characterization* 69:71-83, 2012.
- [3] ASM, *Metals Handbook: Welding, Brazing and Soldering*, Volume 6, 1993.
- [4] S. Anık, E. S. Anık, M. Vural, *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [5] Ö. Savaş, *Acta. Phys. Pol. A* 127, 921 (2015), doi: 10.12693/APhysPolA.127.921
- [6] S. Aslanlar, "The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry", *Material Design* 27, pp. 125-131, 2006.
- [7] M.I. Khan, Ph.D. Thesis, University of Waterloo, 2007.

# RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN AĞIR HİZMET DİZEL MOTORLARININ KESTİRİMCİ BAKIM VE MOTOR YAĞ KİRLİTİCİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yasin İpek<sup>1</sup> \* and Doç. Dr. Mustafa Ertunç Tat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey, yasin.ipek.1@hotmail.com

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey, metat@ogu.edu.tr

## Özet

Raylı sistemlerde kullanılan ağır hizmet dizel motorları düşük motor hızlarında yüksek güç üretmektedir ve ekonomiktir. Bu nedenle bu tip motorlar raylı sistemlerde yoğun bir şekilde kullanılır. Kestirimci bakım; makine veya teçhizatın çalışma şartlarında sürekli gözlemlenmesini, gözlem parametrelerinin analiz edilmesini, oluşabilecek muhtemel arızaların önlenmesini ve analizler neticesinde uygun bakım zamanının tahmin edilmesini içerir. Motorun durumu sürekli veya periyodik ölçümlerle gözlemlendiğinden dolayı, yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri kontrol altına alınabilir. Mekanik sistemlerin sürtünme direncinin ve aşınmasının azaltılması amacıyla yağ kullanılır. Eğer bu yağın performansında düşüş görülürse yüksek sürtünmeden dolayı aşınma ve ısınmalar ortaya çıkabilir. Yağlar için iki çeşit analitik analiz vardır. Bunlardan ilki yağın fiziksel özelliklerinin analizi diğeri kirlilik seviyesi analizidir. Yağ analizi yöntemiyle yağ performansını değerlendirerek motor aşınması ve oluşabilecek arızalar önceden tespit edilebilir. Yağ analizinin temel amacı motorun ve motorda kullanılan yağın durumu hakkında bilgi edinmektir. Bu bilgiler beklenmedik arızaların önlenmesinde, yağ değişim zamanlarının ve motor ömrünün uzatılmasında kullanılır. Yağ performansının ana parametresi olarak viskozite gösterilir. Viskozite periyodik olarak takip edilip, yağın performansını kaybetmeye başladığı noktada, motorun yağ değişimi sağlanarak arıza oluşmadan kontrol altına alınmış olur.

**Anahtar kelimeler:** Ağır hizmet dizel motorları, Kestirimci bakım, Motor performansı, Motor yağı parametreleri, Viskozite

## Abstract

Heavy duty diesel engines used in railway systems produce high power at low engine speeds and are economical. For this reason, these types of engines are extensively used in railway systems. Predictive maintenance includes monitoring of machinery or equipment under operating conditions, analysis of the monitoring parameters, estimation of the appropriate maintenance time scale on the basis of the analyses and as a result prevention of possible failures. Since the status of the engines is continuously or periodically monitored, by means of analysis, defect sources and progress of failure can be taken under control. Oil is used to reduce wear and tear of mechanical systems. If engine oil loses its performance, wear and heats may occur due to high friction. There are two types of analytical analysis for engine oils. The first one is the physical property analysis, the other one is the contamination level analysis. By evaluating oil performance by oil analysis methods, engine wear and possible failures can be determined in advance. The main purpose of oil analysis is to get informed

about the condition of oil and about the engine through engine oil. This information can be used to prevent unexpected failures, to prolong oil change time and engine life. Viscosity is can be considered as the main parameter of oil performance. Viscosity can be monitored periodically and at the point where the oil starts to lose its performance, by means of providing timely oil change, it might be possible to take engine failures under control before they occur. Viscosity can be monitored periodically and at the point where the oil starts to lose its performance, by timely oil change, it might be possible to take engine failures under control before they occur.

**Keywords:** Heavy duty diesel engines, Predictive maintenance, Engine performance, Engine oil parameters, Viscosity

## 1. Giriş

Günümüzde motorlar endüstriyel gelişmeyle beraber teknolojik yaşamın vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Dizel motorları içten yanmalı motorların çeşitlerinden biridir. Yakıtın motor yanma odası içinde yakılması sonucu açığa çıkan ısı enerjisini mekanik işe çevirir. Dizel motoru sıkıştırma ile ateşleme gerçekleştirir. Dizel motorları deniz, demir ve kara yolu ulaşımında, tarımda, sanayide, madencilikte, enerji üretiminde olduğu gibi pek çok alanda güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Demir yolu ulaşımında dizel motorları gerek anahat gerekse manevra lokomotiflerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen raylı sistemler teknolojisiyle beraber demir yollarında kullanılan dizel motorlarda gelişmektedir. Uygun bakım ve kontrollerinin yapılmasıyla dizel motorlar raylı sistemlerde varlığını uzun yıllar devam ettirecektir.

Kestirimci bakım, sensörler kullanılarak yapılan periyodik gözlem, muayene ve kayıt izleme sistemiyle motor, parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda gerçekleştirilmesidir. Motor sistemi digital olarak sürekli gözlemlenir ve olası arıza durumu ortaya çıkmadan bakım faaliyeti gerçekleştirilir. Motor sistemi gözlemlenerek, olası arıza durumlarında bakım faaliyetleri düzenlenir.

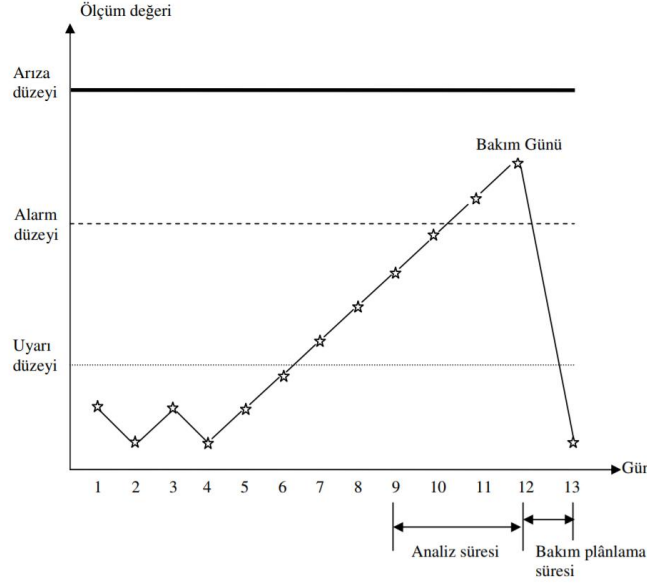
Mekanik sistemlerde yağlama yağı yağlama yüzeyinde ince bir yağ tabakası oluşturarak sürtünmeyi en aza indirir ve yüzeylerin birbirine karşı çalışması sonucu oluşan ısıyı yüzeylerden uzaklaştırır. Motor yağları, motorun performansını ve ömrünü direkt olarak etkiler. Motor yağlarının performansı; yüksek sıcaklık ve basınç şartları altında yüzeyler arasındaki sürtünmeyi ne kadar azalttığı, oskidasyona karşı direncinin ne kadar olduğu, yüzeyleri korozyona karşı ne kadar fazla koruduğu, su, yakıt, hava gibi kirleticilere karşı yağlama özelliğini ne kadar iyi koruduğuyla değerlendirilmektedir.

Dolayısıyla raylı sistemlerde kullanılan dizel motorları motor yağı referans alınarak kestirimci bakım stratejileriyle korunabilir, etkili ve verimli işletilebilir.

## 2. KESTİRİMCİ BAKIM (PREDICTIVE MAINTENANCE)

Motorlarda kestirimci bakım, motorların olağan koşullarda çalışıp çalışmadığının sürekli sensörlerle kontrol edilmesi, elde edilen sonuçların değerlendirilerek arıza olasılığının olup olmadığının belirlenmesidir.

Arıza olasılığı var ise arıza gerçekleşmeden uygun bakım onarım faaliyeti planlanarak gerçekleştirilir. Kestirimci bakım, motorların güvenilirliğini, etkinliğini, verimliliğini ve dolayısıyla ekonomikliğini sağlar.



Şekil 1: Kestirimci bakım grafiği [2]

Şekil 1'de zamana bağlı olarak belirli bir parametrenin ölçüm değerleri üç kademede tanımlanmıştır. Uyarı düzeyi, alarm düzeyi, arıza düzeyidir. Şekil inceleneceği üzere altıncı günden sonra sistem uyarı düzeyine geçmektedir, onuncu günden sonrada alarm düzeyine geçmektedir. Sistem uyarı düzeyini geçtikten, alarm düzeyine gelmeden önce analiz süresi olarak tanımlanır. Analiz süresi sonunda bakım planlaması gerçekleştirilir. Bakım yapılarak arızanın önüne geçilmiş olur. Arıza parça değişimini gerektirebilir. Kesinlikle zaman, emek, para kaybını getirir. Hatta bazı durumlarda can kaybına bile yol açar.

Kestirimci bakım, gerektiğinde özel aygıtlar kullanarak yapılan periyodik gözlem ve durum izleme sistemiyle motor, parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda bu faaliyetin gerçekleştirilmesidir. Böylece daha az işçilik ve malzeme harcamasına neden olunmakta, parça ömürlerinden daha uzun süre yararlanılmaktadır. Bu sistemde oluşan yada oluşabilecek arızanın nedeni önceden tespit edildiği ve bakım sırasında gerekli yedek parçalar önceden sipariş edildiği için zaman kaybı yaşanmamaktadır. Yine bu sistem sayesinde, ekipmanlar tam olarak arızalanıp dağılmadan önce bakıma alındığı için, ikincil hasarlar da önlenebilmektedir. Örneğin herhangi bir motorda pistonun arızalanması durumunda, pistonun tamamen kullanılmaz hale gelmesinden kısa bir süre önce değiştirilerek, pistonun arızalanması sonucu oluşabilecek motor parçalarının hasara uğraması önlenebilmekte, bu şekilde parçaların daha verimli olarak kullanılması da sağlanmış olmaktadır.

Ağır dizel motorlarında kestirimci bakım için motor yağları büyük önem taşır. Motor yağları motor ile ilgili önemli teknik bilgileri sağlayabilirler. Örnek olarak, silindir piston arasındaki aşınma ile yanma odasındaki sıkıştırılmış yakıt hava karışımının özellikle yanma sonrası yanmış gazların kartere inmesi hem motor yağını bozacaktır hem de motor yağı içindeki yanma emisyon kalıntı miktarından silindir piston arasındaki aşınma değerlendirilebilecektir.

Bir diğer örnek ise su ceketlerinden kaynaklanan kartere su sızıntısıdır. Aynı şekilde su motor yağının yapısını bozmakla beraber, yağ içerisindeki su miktarı motorun durumu hakkında önemli bilgi verecektir.

Dolayısıyla motor yağının korunması motor ömrü için çok önemli olmakla beraber, kestirimci bakım için motor yağıda motor için en önemli parametrelerdendir.

### **3.MOTOR YAĞLARI**

Yağlamanın amacı birbirine göre bağılı hareket eden iki farklı yüzeyi, sıvı filmi yardımı ile ayırabilmektir. Motor yağlarının işlevi, hareket halindeki yüzeyler arasında ince bir film tabakası oluşturarak mekanik aşınmayı en aza indirmek ve güç kaybını azaltabilmektir. Ayrıca yağlama yağlarının motorun hareketli parçalarının yağlanması dışında sürtünme kayıplarını azaltabilmek, piston gibi hareketli parçalarda sürtünmeden doğan ısıyı uzaklaştırarak yüzeylerin soğutulmasını sağlayabilmek, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirebilmek ve yüzeylerde tortu birikimini önleyebilmek gibi işlevleri de vardır. Motorlarda hareketli parça ile sistem arasındaki ara alan sürtünme ve ısı transferi alanıdır. Enerji veriminin artırılabilmesi için sürtünmeyi minimum seviyeye indirilmesi önemlidir.

Yağlamada düşük viskoziteli yağlar daha az direnç göstererek iç sürtünmelerin azalmasına sebep olabilmektedir. Ancak düşük viskoziteli yağların kullanılmasını yağ tüketimini artırırken yağ filmi kalınlığının azalmasına hatta yağ filminin yırtılmasına neden olabilmektedir. Motor yağları temelde ham petrolden rafine edilen madeni baz yağlardan oluşmaktadır. Sentetik baz yağlar aşırı sıcaklık farklılıkları gibi zorlu çalışma şartlarına dayanmak ve daha uzun kullanım ömrü sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Düşük viskoziteli sentetik ve yarı sentetik yağların daha az uçucu olmaları nedeniyle kullanımları sırasında yağ tüketimleri azaltabilmektedir. Bu tür yağlarda sürtünmeyi azaltıcı katkı maddeleri kullanılarak özellikle sınır kullanım şartlarında sürtünme azaltılarak metal yüzeyler korunmaktadır. Motorların gelişmesine paralel olarak daha iyi yağlamanın gereği ortaya çıkmış ve bu konudaki çalışmaları hızlandırılmıştır.

Motor yağlarının düzgün bir şekilde yağlama yapabilmesi için uygun viskozite değerine, sıcaklığa ve basınca sahip olması gerekir aksi takdirde yağın ömrü kısalır. Uygun bakım yapılmazsa motor ve motor parçalarına zarar verebilir.

Tablo 1 : SAE Motor Yağı Sınıflandırılması [11]

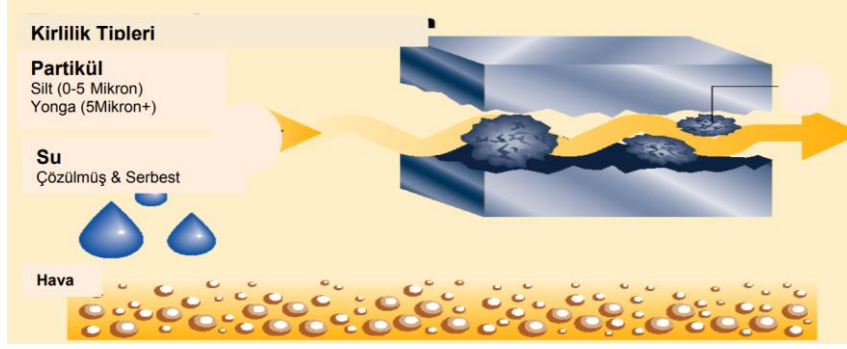
Engine Oils – SAE J 300 , June J3002001 ( dec.1999)					
SAE Viscosity Classes	Low temperature (°C) Cranking viscosity (ASTM D 5293)  (mPa.s)  Max.	Low temperature (°C) Pumping viscosity (ASTM D 4684) (mPa.s) With no yield stress  Max.	Low shear rate Kinematic viscosity (ASTM D 445) (cSt) at 100 °C		High shear rate viscosity (ASTM D 4683,CEC L-36-A-90 (ASTM D 4741 ) D 5481 (mPa.s) at 150 °C and 10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup> min.
			Min.	Max.	
0W	6200 at -35	60 000 at -40	3.8	-	-
5W	6600 at -30	60 000 at -35	3.8	-	-
10W	7000 at -25	60 000 at -30	4.1	-	-
15W	7000 at -20	60 000 at -25	5.6	-	-
20W	9500 at -15	60 000 at -20	5.6	-	-
25W	13000 at -10	60 000 at -15	9.3	-	-
20			5.6	< 9.3	2.6
30			9.3	<12.5	2.9
40			12.5	<16.3	2.9 (0W-40,5W-40,10W-40)
40			12.5	<16.3	3.7 (15W-40,20W-40,25W-40,40)
50			16.3	<21.9	3.7
60			21.9	<26.1	3.7

#### 4. MOTOR YAĞ KİRLİTİCİLERİ

Çok uzun süreli motor çalıştırmalarında yağda bazı istenmeyen değişiklikler olur. Bunların başında oksidasyon gelir. Oksidasyon yağın hizmet ömrünü azaltabilir. Yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Toz, kir, yakıt, su, metalik parça ve diğer metal partiküllerin yağlama yağına karışmasıyla oluşan dış etkenlere bağlı yağ kirliticiyi yağlama yağını eskitmesinden dolayı dikkate alınması gereken bir unsurdur. Motor için zararlı bu partiküllerin girişi genellikle hava filtresi ve yakıt filtresinden olur. Bu partiküllerin yağlama yağına karışıp motora zarar verme süreci yanma odasında başlar. Bu durum devamlı yağlanan silindir gömleği, piston kafası ve segmanlarını olumsuz yönde etkileyecek metal yüzey üzerinde sürtünmeyi artırır.

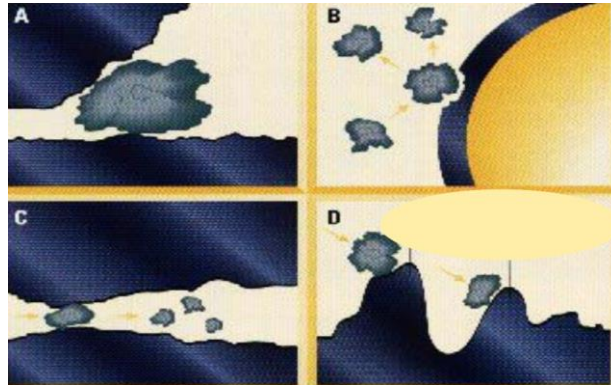
Ağır dizel motorlarının yağlama sistemindeki arızaların ana sebebi yağdaki kirlenme ve bozulmalardır. Sistemdeki kirli yağ sıklıkla yağ değişimine, genel bakım maliyetlerindeki artmaya, ve hurda oranlarındaki artışa neden olur. Yağdaki kirlilik yağdan beklenen enerji iletiminin sağlanması, hareketli iç parçalar arasındaki yağlama görevi, ısı transferinin sağlanması ve hareketli parçaların birbirleri arasındaki sızdırmazlık toleransının sağlanması gibi görevlerin yapılamamasına neden olabilir.





Şekil 4: Kirlilik Tipleri : Partikül, Su ve Hava [1]

Partikül kirliliği, motorlarda rastlanan ve zarar veren kirlilik tipidir. Genelde, 5 mikrondan küçük parçacıklar Silt (ince tanecikler) olarak adlandırılmakta ve sistem elemanlarına uzun sürede zarar vermektedirler. Öte yandan, 5 mikrondan büyük parçacıklar. Yonga olarak tanımlanırlar ve sistem elemanlarına ani olarak zarar verebilme özelliğine sahiptirler. [1]



Şekil 5: Partikül kirliliği oluşum şekilleri [1]

Motor yağının içinde su bulunması motor yağını kirlitici özellik göstermesine sebep olur. Aynı şekilde havada kirliticidir. Motor yağının içindeki su ve havanın motorun içinde dolaşması yüksek sıcaklık ve basınç altında yağın performansını etkileyebilir ve kullanılan yağın ömrünü kısaltabilir.

## 5. SONUÇ

Raylı sistemlerde kestirimci bakım ve motor yağı konuları araştırılarak, ağır dizel motorda kestirimci bakım uygulamasının uygunluğu araştırılmıştır. Bu tip motorlarda kestirimci bakım uygulamasıyla motorun durumu sürekli veya periyodik ölçümlerle gözlemlendiğinden dolayı, yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri kontrol altına alınabilir.

Tüm makine, elektronik ve biyolojik sistemlerde önemli olduğu gibi içten yanmalı motorlarda da kestirimci bakım önemlidir. Ağır dizel motorlarının yağlama sistemi kestirimci bakım ile sürekli olarak takip edilip bakımları yapıldığı takdirde bakım maliyetlerinde önemli oranda düşüş yaşanabilmektedir. Motorun ve yağlama sistemini oluşturan parçaların ömrü uzayabilmektedir.

Motorlarda kullanılan yağlama sisteminin temel amacı mekanik sürtünmelerden dolayı oluşan sürtünme direncini, ısıyı ve sürtünmeden kaynaklı enerji kayıplarını minimize etmektir. Motor yağ kirleticileri yağlama sistemini olumsuz etkilemektedir. Bu hususta motor yağlama sisteminin takibi önem arz etmektedir.

Motor yağı aracılığıyla etkin bir kestirimci bakım yapılabilir. Motor yağının sıcaklık, basınç değerleri takip edilerek ve motor yağı içerisindeki toz, kir, yakıt, kül, partikül, hava ve su miktarları ölçülerek motor yağı üzerinden motor durumu araştırılabilir. Yağ kaynaklı bakım maliyetleri minimum düzeyde tutulabilir.

## **Kaynaklar**

- [1] ÜNAL, G., 2009, Güvenilirlik Merkezli Bakım Ve Bir Endüstriyel Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Carnero, M., 2006. An evaluation system of the setting up of predictive maintenance programmes, Reliability Engineering & System Safety, 91, 945-963.
- [3] Chu, C., Proth, J.M., and Wolff, P., 1998. Predictive maintenance: The oneunit replacement model, Int. J. Production Economics, 54, 285-295
- [4] Anonim, 2017, Motor Yağları, <http://www.motor-yagi.com/?p=motor-yagi-hakkinda>, erişim tarihi: 15.8.2018.
- [5] EMANET, S., 2001, Hidrolik Sistemlerde Filtrasyon Ve Filtre Elemanının Özellikleri, II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Ve Sergisi, İSTANBUL.
- [6] Baskak, M., 2005. İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü Bakım Yönetimi Ders Notları.
- [7] Anonim, 2010, Motor Deneylerine İlişkin Genel Bilgi, [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14\\_03\\_00\\_e3c58.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_03_00_e3c58.pdf), erişim tarihi: 15.8.2018.
- [8] Durak, E., Kaleli, H., Karaosmanoğlu, F., 2001. Motor Yağları ve Katıkları, VII Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi, Bursa, 26-27 Ekim 2001, 129-138.

[9] Durak, E., Karaosmanoğlu, F., 2002. Taşıtlarda Yağ Seçimi-Kullanımı ve evre, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim 2002, İstanbul, 983-991.

[10] Karaosmanoğlu, F., Özgülsün, A., Bayraktar, L., 1995. Yağlama Yağları, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 35-429, 1995, s.26-31.

[11] Anonim, 2015, API Engine Oil Service Classifications,  
<http://www.jopetrol.com.jo/EchoBusV3.0/SystemAssets/Oil/%D8%AA%D8%B5%D9%86%D9%8A%D9%81%20%D8%B2%D9%8A%D9%88%D8%AA%20IOS.pdf>, erişim tarihi 16.8.2018.

# PREDICTING THE DYNAMIC BEHAVIORS OF THE RAILWAY VEHICLE USING THE FINITE ELEMENT METHOD AND FUZZY LOGIC

M. EROĞLU<sup>1\*</sup>, M.A. KOÇ<sup>2</sup> İ. ESEN<sup>3</sup>, and N.G. ADAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Sakarya University, Sakarya/Turkey, [mustafaeroglu@sakarya.edu.tr](mailto:mustafaeroglu@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup>Sakarya University, Sakarya/Turkey, [makoc@sakarya.edu.tr](mailto:makoc@sakarya.edu.tr)

<sup>3</sup>Karabuk University, Karabük/Turkey, [iesen@karabuk.edu.tr](mailto:iesen@karabuk.edu.tr)

<sup>4</sup>Bursa Technical University, Bursa/Turkey, [gokhan.adar@btu.edu.tr](mailto:gokhan.adar@btu.edu.tr)

## Abstract

The dynamic behavior of the railway vehicle is an important part of railway transport. Suspension elements affect the dynamic behavior of passenger comfort and railway vehicle components in rail vehicles. In this study, a solid model of 2-degree-of-freedom railway wheels is generated. This model is analyzed with Finite element software. Primary suspension and the ballast elements used in the substructure are used in the finite element model. The primary suspension system reduces the sudden loads from the wagon. On the other hand, the ballast reduces loads by spreading over large areas and absorbing vibrations. In this study, the damping ratio of the primary suspension element is 3 different values (0-39.2-80 Ns/mm) while the ballast spring coefficient is 3 different values (30-65-100 kN/mm) and the ballast damping ratio is 3 different values (0-30-60 Ns/mm). So 27 different analyzes are carried out with the finite element program. As a result of the analysis, the stress of the rail surface, displacement of the rail and the vibration values are determined. A system is formed based on fuzzy logic. Using the fuzzy logic, the dynamic behavior of the railway vehicle for the desired spring and damping values is estimated. The results of the fuzzy logic model and the finite element model are compared, and the fuzzy logic model is accurate up to 90%.

**Keywords:** Fuzzy logic, FEM, Railway vehicle, Dynamic analysis.

## 1. Introduction

Interaction of rail-wheel is an important concept in railway transportation. There are many problems encountered in railway vehicles due to rail-wheel interaction. The main ones of these problems are the vibrations of the railway vehicle. Rail vehicle vibrations adversely affect passenger comfort and the environment. In addition, the components of the railway vehicle are also adversely affected by vibrations. Suspension systems are used to minimize these negative effects. Suspension systems consist of spring and damping elements. The values of the spring coefficient and the damping coefficient also affect the rail vehicle dynamics. In this study, it was investigated how dynamic behavior of the railway vehicle with different values of spring and damping elements will be exhibited.

There are some topics that have been studied in the literature in railway systems. There are also many studies on controlling the vibrations of the rail vehicle. Mızrak and Esen investigated the effect of rail speed, wagon mass and rail irregularities on passenger comfort. Using fuzzy logic, they optimized the

suspension parameters of the railway vehicle according to these three parameters [1]. Sezer and Atalay firstly created dynamic models of a full-rail vehicle and then used a fuzzy logic controller for ride comfort and safety [2]. Güçlü has shown that it will be a better ride comfort by controlling the vehicle body and passenger seat with fuzzy logic in his work [3]. Esen and Eroğlu created the real 3D model of the railway vehicle and analyzed it with the finite element method. As a result of the study, they determined the stresses and deformations of the rail and wheel surfaces as a result of the interaction. They have also shown that surface worn rails increase railway vibrations [4-5].

## 2. Dynamical Model of Railway Vehicle

A railway vehicle is generally consisting of wagons, bogies and wheels, while the railway line is consist of rail, traverse and ballast elements. In addition to these, suspension systems are also available. Suspension systems have an important place in railway engineering. Suspension systems have the effect of driving comfort and safety of the railway vehicle as much as noise and vibration.

In order to examine the dynamic behavior of the rail vehicle, it is necessary to obtain the mathematical model. The mathematic model of the railway vehicle is given figure 1. In this model, wagon, bogies, wheels, rails, sleeper and ballast are represented.

There are the primary suspension element with the spring coefficient  $k_{s1}$  damping coefficient  $c_{s1}$  between the bogie and the wheels, the secondary suspension element with the spring coefficient  $k_{s2}$  damping coefficient  $c_{s2}$  between the wagon and the bogie, and elastic pad with the spring coefficient  $k_p$  damping coefficient  $c_p$  between the rail and the traverse, and finally ballast with the spring coefficient  $k_b$  damping ratio  $c_b$  under the rail.

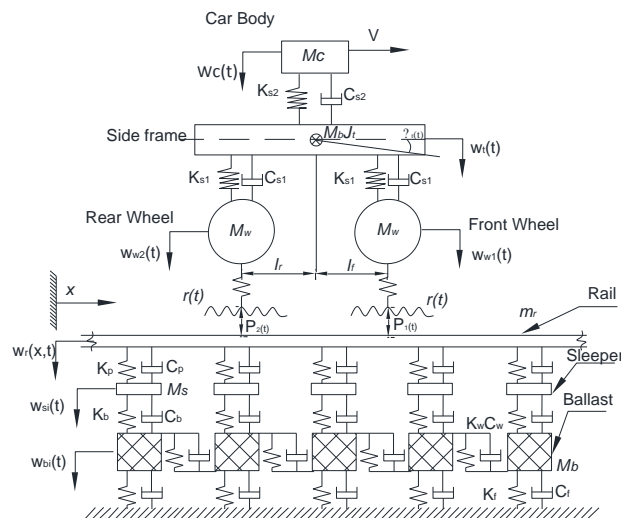


Figure 1. Mathematical model of railway vehicle.

In the model given in Figure 1, the motion equation of the system is given by lagrange expression as follows.

Vertical motion of the wagon.

$$M_c \ddot{w}_c + C_{s2} \dot{w}_c + K_{s2} w_c - C_{s2} \dot{w}_t - K_{s2} w_t = 0 \quad (1)$$

Vertical motion of the bogie

$$M_t \ddot{w}_t + K_{s1}(w_t + l_f \psi_t - w_{w1}) + K_{s1}(w_t - l_f \psi_t - w_{w2}) + K_{s2}(w_t - w_c) + C_{s1}(\dot{w}_t + l_f \dot{\psi}_t - \dot{w}_{w1}) + C_{s1}(\dot{w}_t - l_f \dot{\psi}_t - \dot{w}_{w2}) + C_{s2}(\dot{w}_t - \dot{w}_c) = 0 \quad (2)$$

Vertical movement of the front wheel

$$M_w \ddot{w}_{w1} + C_{s1}(\dot{w}_{w1} - \dot{w}_t) + K_{s1}(w_{w1} - w_t) + C_{s1} l_f \dot{\psi}_t - K_{s1} l_f \psi_t + P_1(t) = 0 \quad (3)$$

Vertical movement of the rear wheel

$$M_w \ddot{w}_{w2} + C_{s1}(\dot{w}_{w2} - \dot{w}_t) + K_{s1}(w_{w2} - w_t) + C_{s1} l_f \dot{\psi}_t - K_{s1} l_r \psi_t + P_2(t) = 0 \quad (4)$$

Here, the model given in figure 1 is a five-degree-of-freedom quarter-railway vehicle model. However, in this study, two degrees of freedom model is considered in terms of ease of operation. The mathematical equation of the model with a two-degree-of-freedom railway vehicle model is given in figure 2.

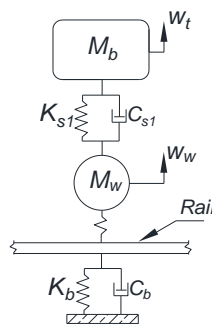


Figure 2. Mathematical model of 2 dof railway vehicle.

There are two suspension system in figure 2. These are the primary suspension between the bogie and the wheel and the ballast on the railway line.

$$M_w \ddot{w}_w + C_b \dot{w}_w + K_b w_w + C_{s1} (\dot{w}_w - \dot{w}_t) + K_{s1} (w_w - w_t) = 0 \quad (5)$$

$$M_b \ddot{w}_t + C_{s1} (\dot{w}_t - \dot{w}_w) + K_{s1} (w_t - w_w) = 0 \quad (6)$$

The motion equations of the two-degree-of-freedom rail model used in this study are arranged in matrix form as follows.

$$\begin{bmatrix} M_w & 0 \\ 0 & M_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{w}_w \\ \ddot{w}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_b + C_{s1} & -C_{s1} \\ -C_{s1} & C_{s1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w}_w \\ \dot{w}_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_b + K_{s1} & -K_{s1} \\ -K_{s1} & K_{s1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_w \\ w_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 3. Finite Element Model

In this study, the real dimensions of the two degree of freedom model mentioned in section 2 are modelled in the computer environment and then the dynamic analysis is performed using ANSYS Workbench.

After assembling the rail and vehicle, the analysis process was performed in the transient structural module in ANSYS Workbench program, using a train speed of 300 km/h. For each wheel a pay load of 91036 N was applied in the vertical direction. Between the wagon and the axle, spring and damping elements are used with coefficients of 1180 N/mm and 39.2 Ns/mm respectively. Spring and damping ratio of ballast are used 65 kN/mm and 30 Ns/mm respectively.

The rail length is 750 mm. Since the train speed is 300 km/h, the analysis time is very short. The analysis time was taken as 0,0072sn and 600 mm on the rail. In the analysis, the surface of the wheel and the rail are made of fine mesh to give precise results. The hex dominant method was applied to both elements to prevent the wheel and the rail, from triangular meshes. Thus, for the rail model 18625 meshes were obtained with 11058 nodes. Finally, for all the modelling have 54526 nodes and 93333 meshes.

For boundary conditions, a planar joint has been added so that the axle and the wheel are free for two translations and one rotation degree of freedom. The part, on which the axle is attached, is limited only to move vertically and horizontally. There is a frictional contact between the rail and wheel with a dry friction coefficient of 0.3. The Axle and wheel are connected to each other by bonded contact so they cannot move independently. A frictionless contact is used between the axle and part on which the force from the pay load is applied (Figure 3).

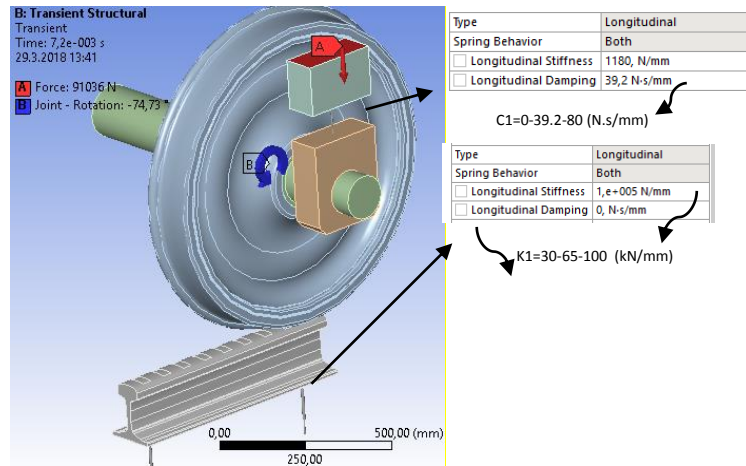


Figure 3. Boundary conditions of the ANSYS model.

In this study, in the model shown in figure 3, the damping ratio of the primary suspension element are 0-39.2-80 Ns/mm, the ballast spring coefficient is 30-65-100 kN/mm, the ballast damping ratio is 0-30-60 Ns / mm. All values given here were used in the analysis and a total of 27 analyzes were made. As a result of the analysis, 4 different results will be examined, including the stress of the rail, acceleration of the rail and displacement of the rail.

Some of the results of the analysis made in the ANSYS Workbench are given in table 1. The minimum and maximum values of the results obtained here constitute fuzzy inference system.

Table 1 Results of the solutions.

C1	K1	C2	Stress of the rail (MPa)
0	30	0	79.098
0	65	30	88.947
39.2	30	30	181.134
80	100	60	258.504
C1	K1	C2	Acceleration of the axle (m/s <sup>2</sup> )
0	30	0	17137.999
0	65	30	26961.947
39.2	30	30	14465.522
80	100	60	20938.310
C1	K1	C2	Acceleration of the rail (m/s <sup>2</sup> )
0	30	0	2504.065



0	65	30	3058.104
39.2	30	30	3166.085
80	100	60	4685.826
C1	K1	C2	Displacement of the rail (mm)
0	30	0	0.366
0	65	30	0.174
39.2	30	30	0.940
80	100	60	0.609

#### 4. Fuzzy Logic Method

The concept of fuzzy logic was first introduced by Zadeh in 1965 [14]. Fuzzy logic is based on fuzzy set and sub set.

The effects of the suspension parameters on railway vehicle performance are shown in the table 1. In this study, it is predicted how the railway vehicle will behave with the desired suspension coefficients using fuzzy logic. Previously, 27 different analyzes were made with ANSYS Workbench and fuzzy inference system was created by taking advantage of the analysis results. The fuzzy logic inputs are 3, which are the damping ratio of primary suspension, the spring coefficient of ballast and damping ratio of ballast. The fuzzy logic outputs are 4, which are stress of rail, acceleration of axle, acceleration of rail and displacement of rail.

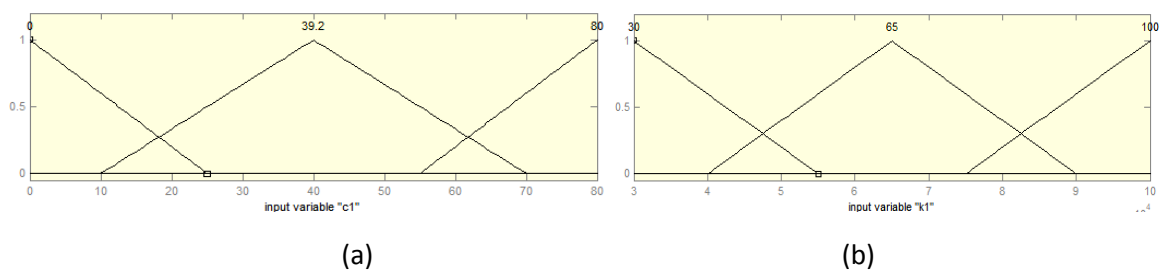


Figure 4. Membership function of damping ratio of primary suspension (a), and spring coefficient of ballast (b).

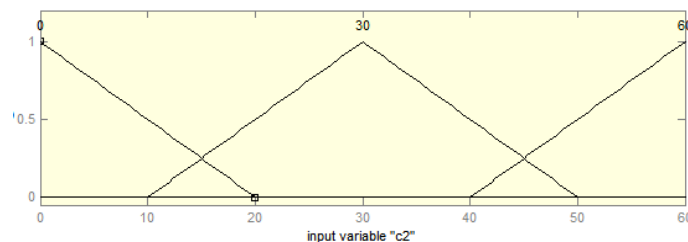


Figure 5. Membership function of damping ratio of ballast

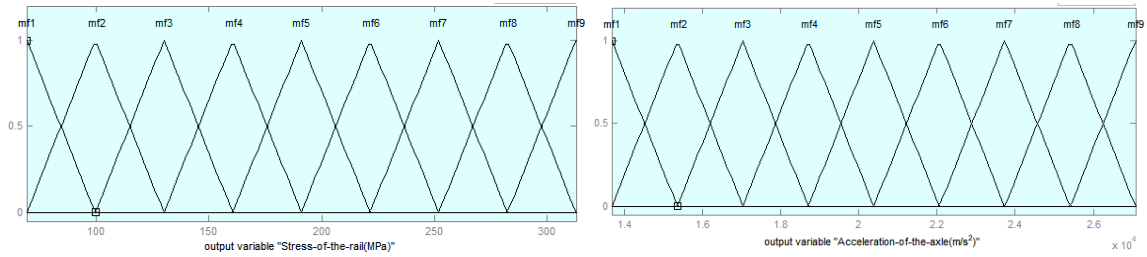


Figure 6. Membership function of stress of rail and acceleration of axle.

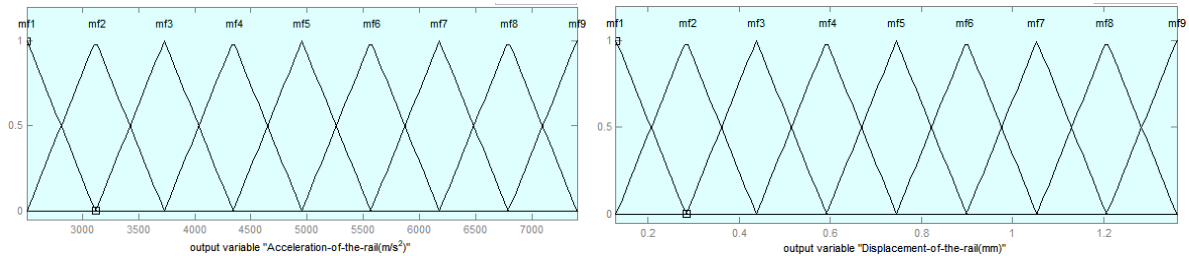


Figure 7. Membership function of acceleration of rail and displacement of rail.

Damping ratio of primary suspension, damping ratio and spring coefficient of the ballast element, which are the inputs of the fuzzy systems, are given in Figure 4-5. Here the membership function of the clusters is given as the value of the suspension element.

Stress of the rail, acceleration of the axle, acceleration of the rail and displacement of the rail which are the outputs of fuzzy inference systems, are given in figure 6-7. As a result of analyses conducted on ANSYS Workbench, stress of the rail minimum 693 MPa maximum 313 MPa, acceleration of the axle minimum  $1.368 \times 10^4$  m/s<sup>2</sup> maximum  $2.708 \times 10^4$  m/s<sup>2</sup>, acceleration of the rail minimum 2504 m/s<sup>2</sup> maximum 7404 m/s<sup>2</sup> and rail displacement is measured as minimum 0.13 mm maximum 1.36 mm. The fuzzy logic outputs are created in the range of these given values and divided into 9 equal subcluster. Fuzzy systems are also given in table 2. The rules here are based entirely on results from the ANSYS Workbench.

Table 2 Fuzzy Rules.

C1	K1	C2	Stress of the rail	Acceleration of the axle	Acceleration of the rail	Displacement of the rail
0	30	0	mf1	mf3	mf1	mf2
0	30	30	mf1	mf9	mf1	mf1
0	30	60	mf1	mf9	mf1	mf1

0	65	0	mf2	mf9	mf2	mf2
0	65	30	mf1	mf9	mf2	mf1
0	65	60	mf1	mf9	mf1	mf1
0	100	0	mf2	mf9	mf2	mf1
0	100	30	mf2	mf9	mf2	mf1
0	100	60	mf2	mf9	mf2	mf1
39.2	30	0	mf4	mf1	mf1	mf8
39.2	30	30	mf5	mf1	mf2	mf6
39.2	30	60	mf5	mf1	mf2	mf6
39.2	65	0	mf6	mf1	mf4	mf6
39.2	65	30	mf7	mf6	mf4	mf5
39.2	65	60	mf6	mf1	mf2	mf4
39.2	100	0	mf7	mf1	mf6	mf5
39.2	100	30	mf7	mf1	mf4	mf4
39.2	100	60	mf7	mf1	mf3	mf3
80	30	0	mf5	mf5	mf2	mf9
80	30	30	mf6	mf6	mf3	mf7
80	30	60	mf6	mf5	mf3	mf6
80	65	0	mf8	mf5	mf6	mf7
80	65	30	mf7	mf5	mf5	mf6
80	65	60	mf7	mf5	mf4	mf5
80	100	0	mf9	mf5	mf9	mf7
80	100	30	mf8	mf5	mf6	mf5
80	100	60	mf7	mf5	mf5	mf4

Table 2 shows the fuzzy logic rules. In the table, fuzzy system output clusters have 9 membership functions. Here, mf1 represents the lowest membership function, while mf9 represents the highest membership function.

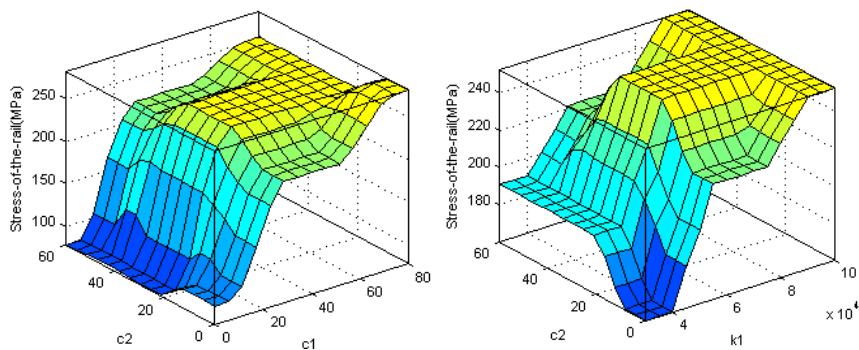


Figure 8. Surface of stress of the rail.

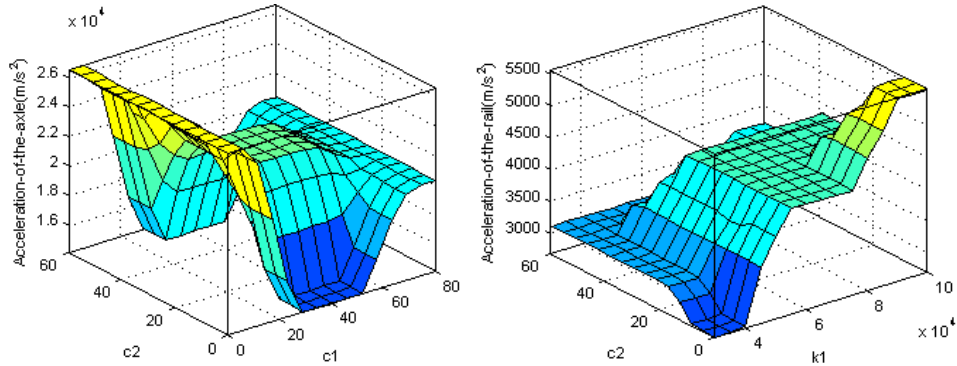


Figure 9. Surface of acceleration of the axle and acceleration of the rail.

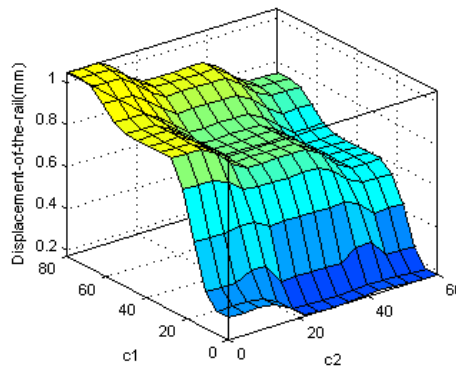


Figure 10. Surface of displacement of the rail.

The surfaces obtained from the fuzzy logic are given in the above figures. In Figure 8, there is a stress surface for the rail. Here, as the damping ratio of the primary suspension increases, the stress of the rail increases, while the stress of the rail decreases as the damping ratio of ballast increases. As the spring coefficient of ballast increases, the stress of the rail also increases. Acceleration surfaces for the axle are given figure 9. Figure 9 shows that when the acceleration surfaces of the axle are examined, there is a significant contribution of the primary damping value to the acceleration of the axle. If the damping ratio is too low, it causes high acceleration values. Here, the damping value of 39.2 Ns/mm is the optimum value. Figure 9 shows that as the spring coefficient of the ballast increases, the acceleration values of the rails also increase. However, as the damping ratio of the ballast increases, acceleration of the rail decreases. For the displacement of the rail, both damping values have different effects. Increasing the primary damping ratio increases the displacement of the rail while increasing the damping ratio of the ballast reduces the displacement of the rail.

## 5. Conclusion

In this study, 3D solid model of the railway vehicle was analyzed in ANSYS Workbench. Fuzzy inference systems were formed with the results obtained from ANSYS Workbench. As a result of the

study, the results of fuzzy logic were compared with the ANSYS Workbench. The results of fuzzy logic and ANSYS Workbench are given in table 3. According to Table 3, when fuzzy logic is compared with ANSYS results, fuzzy logic estimated about 90% accuracy.

As a result of this study, dynamic behavior of the railway vehicle can be easily detected by using fuzzy logic. In this study, while the ANSYS analyzes took about 3-4 hours fuzzy logic can be predicted in a much shorter time.

Table 3 Comprison of the Ansys and Fuzzy logic

			ANSYS	FUZZY LOGİC	
C1	K1	C2	Stress of the rail (MPa)	Stress of the rail (MPa)	% Accuracy
26	52	15	206	218	94.175
50	38	25	209	191	91.388
80	75	55	251	252	99.602
70	90	10	284	302	93.662
C1	K1	C2	Acceleration of the axle (m/s <sup>2</sup> )	Acceleration of the axle (m/s <sup>2</sup> )	% Accuracy
26	52	15	23169	19400	83.733
50	38	25	21690	14300	65.929
80	75	55	20919	20400	97.519
70	90	10	21021	2040	97.046
C1	K1	C2	Acceleration of the rail (m/s <sup>2</sup> )	Acceleration of the rail (m/s <sup>2</sup> )	% Accuracy
26	52	15	3991	3900	97.720
50	38	25	3782	3120	82.496
80	75	55	4591	4340	96.533
70	90	10	6106	7180	82.411
C1	K1	C2	Displacement of the rail (mm)	Displacement of the rail (mm)	% Accuracy
26	52	15	0.86	0.92	93.116
50	38	25	0.93	0.90	96.980
80	75	55	0.71	0.75	95.658
70	90	10	0.8	1.05	78.893

## 6.References

- [1] Mızrak, C. and Esen, İ., The optimization of rail vehicle bogie parameters with the fuzzy logic method in order to improve passenger comfort during passage over bridges, *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, 24.2, 113-139, 2017.
- [2] Sezer, S. and Atalay, A.E., Dynamic modeling and fuzzy logic control of vibrations of a railway vehicle for different track irregularities, *Simulation Modelling Practice and Theory* 19.9, 1873-1894 2011.
- [3] Güçlü, R., Fuzzy logic control of seat vibrations of a non-linear full vehicle model, *Nonlinear Dynamics* 40.1, 21-34, 2005.
- [4] Esen, İ. and Eroğlu, M., Dynamics Analysis of Wheel/Rail Interaction Using Finite Element Method, *2nd International Iron and Steel Symposium (IISS'15)*, 2015.
- [5] Esen, İ. and Eroğlu, M., 3D Finite Element Analysis of UIC 60 Rail and UIC 515 Wheel Rolling Contact and understanding starting mechanism of wear, *2nd International Iron and Steel Symposium (IISS'15)*, 2015.
- [6] Aly, A.A., Al-Marakeby, A. and Shoush, K.A. Active suspension control of a vehicle system using intelligent fuzzy technique, *International journal of scientific and engineering research* 4, 2013.
- [7] Güçlü, R. and Metin, M., Fuzzy logic control of vibrations of a light rail transport vehicle in use in Istanbul traffic, *Journal of Vibration and Control*, 15.9, 1423-1440, 2009.
- [8] Devdutt, M.L., Fuzzy Logic Control of a Semi-Active Quarter Car System, *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, Vol:8 No:1, 2014.
- [9] Güçlü, R. and Gulez, K., Neural network control of seat vibrations of a non-linear full vehicle model using PMSM, *Mathematical and Computer Modelling*, 47.11-12, 1356-1371, 2008.
- [10] Azimi, H. Galal, K. and Pekau, O. A., A modified numerical VBI element for vehicles with constant velocity including road irregularities, *Engineering structures*, 33.7, 2212-2220, 2011.
- [11] Aly, A. A. and Salem, F. A., Vehicle suspension systems control: a review, *International journal of control, automation and systems*, 2.2, 46-54, 2013.
- [12] Metin, M. and Güçlü, R., Active vibration control with comparative algorithms of half rail vehicle model under various track irregularities, *Journal of Vibration and Control*, 17.10, 1525-1539, 2011.
- [13] Dumitriu, M., Influence of the suspension damping on ride comfort of passenger railway vehicles, *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 74.4, 75-90, 2012.
- [14] Zadeh, L. A., Fuzzy Sets, *Information and control*, 8, 338-353, 1965.

# FUZZY LOGIC COUPLED WITH PERIDYNAMICS FOR IMAGE PROCESSING TO DETECT CRACKS IN RAILS

Cihan Mizrak<sup>1</sup>, Erdogan Madenci<sup>2</sup>, Yusuf Yurekli<sup>3</sup> and Fatih Pehlivan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Karabük University, Engineering Faculty, Karabük Turkey, e-mail: [cihanmizrak@karabuk.edu.tr](mailto:cihanmizrak@karabuk.edu.tr), <sup>2</sup>The University of Arizona, Tucson, AZ, USA e-mail: [madenci@email.arizona.edu](mailto:madenci@email.arizona.edu), <sup>3</sup>TCDD, Karabük, Turkey e-mail: [yurekliysf@gmail.com](mailto:yurekliysf@gmail.com), <sup>4</sup>Karabük University, Engineering Faculty, Karabük, Turkey, e-mail: [fatihpehlivan@karabuk.edu.tr](mailto:fatihpehlivan@karabuk.edu.tr)

## Abstract

Railways require high investment costs and need continuous and controlled monitoring for defects on the surface and inside the rail material. The existing nondestructive methods for crack detection are commonly based on image processing. This study provides a comparison of the existing methods, and presents a new method to detect cracks also based on image processing. The present approach utilizes the fuzzy logic coupled with the peridynamic differential operator. Its robustness is demonstrated by detecting cracks in an image of a rail with cracks.

**Keywords:** rail, crack, image, process, peridynamic

## 1. Introduction

A non-destructive material inspection is a method for detecting flaws without physically damaging the material. Non-destructive examinations can be performed by different methods such as visual inspection, radiographic inspection, ultrasonic inspection, magnetic particle inspection, liquid penetrant inspection and vortex flow inspection. Non-destructive inspection can also be performed accurately by employing high precision cameras with the advancement of image processing technologies. In the context of rail inspection, such precision cameras can be mounted on rail vehicles without any contact with the rails [1-4]. Limin et al. [5] presented a method using image processing techniques to detect defects on the rail surface. Trinh et al. [6] developed a new method using multiple cameras to eliminate the railway components that hamper image processing. Ying et al. [7] introduced an automatic rail track maintenance system for rail component detection by using the Sobel operator and the Hough transformation. Quingyong et al. [8] developed an image processing based control system to detect defects on the rail surface in real time.

Recently, Yaman et al. [9] demonstrated that image processing based non-contact inspection can detect failures on the rail surfaces. They placed two cameras at different angles on both sides of the rail to obtain images. They employed Canny edge detection and Hough transform to process these images and detect potential surface cracks on the rails. Zhang et al. [10] also presented an automatic crack detection and classification methodology to detect cracks in rails through their digital images. They specifically employed an average softening filter, threshold and morphological opening techniques along with shape-based image processing methods, and are able to detect only grouped defects in rails. Similarly, Liu et al. [11] estimates the regions experiencing material loss with dynamic thresholding and morphological filling techniques in conjunction with an averaging filter of images. As an extension of this study, Zhang et al. [12] presented a method to identify the defect through a known image of the rail. Unlike the previous investigations, this study employs the fuzzy logic concept along with the peridynamic differential operator to process images to detect cracks in rails.

## 2. Existing Crack Detection Techniques

The capillary cracks that form on the surface of the rail mushroom at the first stage are determined by different edge detection algorithms. These algorithms are based on the numerical derivative of the image with the help of a matrix called mask defined within a specific area. The first-order derivative of the image determines the locations where the contrast is maximum, such as edge transitions, while its the second-order derivative determines the transitions with zero values at the edges as shown in Fig. 1. The most commonly used edge detection algorithms are Sobel, Laplacian and Canny operators [13]. Before these algorithms are applied, the image is converted to gray scale and noise is eliminated through the use of the Gaussian mask [14]. In the Sobel operator, the derivative of the first order is applied with separate masks along the x- and y-directions [15]. In the Laplacian operator, a single mask is used for determining the second order derivatives. Canny operator is the customized version of the Sobel operator. At the last stage, the edges are made thinner and clearer by non-maximum pressing [14].

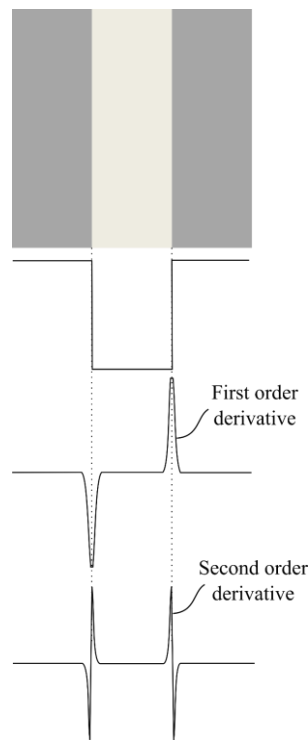


Fig. 1. PD differentiation of the image.

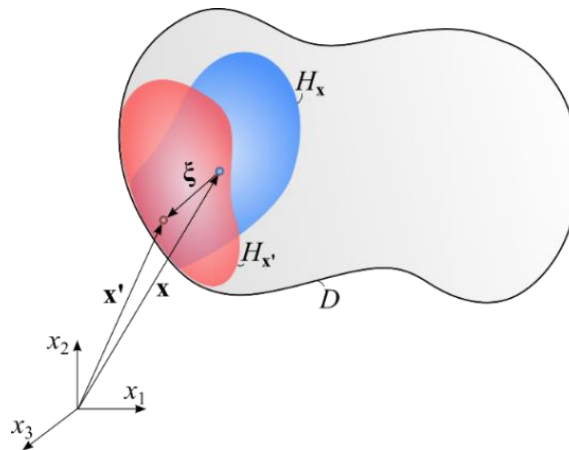
## 3. Peridynamic Differential Operator

Peridynamic theory introduced by Silling [16] and Silling et al. [17] provides the nonlocal representation of a scalar field  $f = f(\mathbf{x})$  at point  $\mathbf{x}$  by accounting for the effect of its interactions with the other points,  $\mathbf{x}'$ , in the domain of interaction, as shown in Fig. 2. Each point has its own family members in the domain of interaction (family), and occupies an infinitesimally small entity such as volume, area or a distance. The points  $\mathbf{x}$  and  $\mathbf{x}'$  only interact with the other points in their own



families,  $H_x$  and  $H_{x'}$ , respectively. Neither point  $\mathbf{x}$  nor  $\mathbf{x}'$  is necessarily symmetrically located in their interaction domains. The initial relative position,  $\xi$ , between the material points  $\mathbf{x}$  and  $\mathbf{x}'$  can be expressed as  $\xi = \mathbf{x} - \mathbf{x}'$ . This ability permits each point to have its own unique family with an arbitrary position. Therefore, the size and shape of each family can be different, and they significantly influence the degree of nonlocality. The degree of the interaction between the material points in each family is specified by a nondimensional weight function,  $w(|\xi|)$  which can vary from point to point. The interactions become more local with decreasing family size. Thus, the family size and shape are important parameters.

The Peridynamic Differential Operator (PDDO) introduced by Madenci et al. [18-20]. The PDDO employs the concept of PD interactions, and it is based on the orthogonality property of the PD functions. It restores the nonlocal interactions at a point by considering its association with the other points within an arbitrary domain of interaction. The PD differentiation recovers the local differentiation as this interaction domain approaches zero. It converts the local form of differentiation to its nonlocal PD form. It is simply a bridge between differentiation and integration. Therefore, the PDDO enables numerical differentiation through integration. The PDDO enables the computational solution of complex differential equations and evaluation of derivatives of smooth or scattered data in the presence of jump discontinuities or singularities.



**Fig. 2.** Interaction of peridynamic points,  $\mathbf{x}$  and  $\mathbf{x}'$  with arbitrary family size and shape.

In an  $M$ -dimensional space, the Taylor Series Expansion (TSE) of a scalar field  $f(\mathbf{x}') = f(\mathbf{x} + \xi)$  with many variables can be expressed as

$$f(\mathbf{x} + \xi) = \sum_{n_1=0}^N \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \cdots \sum_{n_N=0}^{N-n_1 \cdots n_{N-1}} \frac{1}{n_1! n_2! \cdots n_N!} \xi_1^{n_1} \xi_2^{n_2} \cdots \xi_M^{n_M} \frac{\partial^{n_1+n_2+\cdots+n_N} f(\mathbf{x})}{\partial x_1^{n_1} \partial x_2^{n_2} \cdots \partial x_M^{n_M}} + R(N, \mathbf{x}) \quad (1)$$

where  $\xi = \mathbf{x}' - \mathbf{x}$  with  $R(N, \mathbf{x})$  representing the remainder. Assuming the contribution of the remainder is negligibly small and invoking the property of the orthogonal function,  $g_N^{p_1 p_2 \cdots p_N}(\xi)$ , result in the PD nonlocal expression for the partial derivatives of any order as

$$\frac{\partial^{p_1+p_2+\dots+p_N} f(\mathbf{x})}{\partial x_1^{p_1} \partial x_2^{p_2} \dots \partial x_M^{p_N}} = \int_{H_x} f(\mathbf{x} + \xi) g_N^{p_1 p_2 \dots p_N}(\xi) dx_1 dx_2 \dots dx_M \quad (2)$$

in which  $p_i$  denotes the order of differentiation with respect to variable  $x_i$  with  $i=1, \dots, M$ . The PD functions  $g_N^{p_1 p_2 \dots p_N}(\xi)$  possess the orthogonality property of

$$\frac{1}{n_1! n_2! \dots n_N!} \int_{H_x} \xi_1^{n_1} \xi_2^{n_2} \dots \xi_M^{n_M} g_N^{p_1 p_2 \dots p_N}(\xi) dx_1 dx_2 \dots dx_M = \delta_{n_1 p_1} \delta_{n_2 p_2} \dots \delta_{n_{N-1} p_{N-1}} \delta_{n_N p_N} \quad (3)$$

in which  $n_i = 0, \dots, N$ . They can be constructed as

$$g_N^{p_1 p_2 \dots p_N}(\xi) = \sum_{q_1=0}^N \sum_{q_2=0}^{N-q_1} \dots \sum_{q_N=0}^{N-q_1 \dots q_{N-1}} a_{q_1 q_2 \dots q_N}^{p_1 p_2 \dots p_N} w_{q_1 q_2 \dots q_N}(|\xi|) \xi_1^{q_1} \xi_2^{q_2} \dots \xi_M^{q_M} \quad (4)$$

where  $w_{q_1 q_2 \dots q_N}(|\xi|)$  are the weight functions associated with each term  $\xi_1^{q_1} \xi_2^{q_2} \dots \xi_M^{q_M}$  in the polynomial expansion. Depending on the nature of the nonlocality, the weight function representing the degree of interaction may be the same or different for each term in the TSE.

The unknown coefficients,  $a_{q_1 q_2 \dots q_N}^{p_1 p_2 \dots p_N}$ , can be determined from the solution of

$$\sum_{q_1=0}^N \sum_{q_2=0}^{N-q_1} \dots \sum_{q_N=0}^{N-q_1 \dots q_{N-1}} A_{(n_1 n_2 \dots n_N)(q_1 q_2 \dots q_N)} a_{q_1 q_2 \dots q_N}^{p_1 p_2 \dots p_N} = b_{n_1 n_2 \dots n_N}^{p_1 p_2 \dots p_N} \quad (5)$$

in which  $q_i = 0, \dots, N$ . The coefficient (shape) matrix is constructed as

$$A_{(n_1 n_2 \dots n_N)(q_1 q_2 \dots q_N)} = \int_{H_x} w_{q_1 q_2 \dots q_N}(|\xi|) \xi_1^{n_1+q_1} \xi_2^{n_2+q_2} \dots \xi_M^{n_M+q_M} dx_1 dx_2 \dots dx_M \quad (6a)$$

and

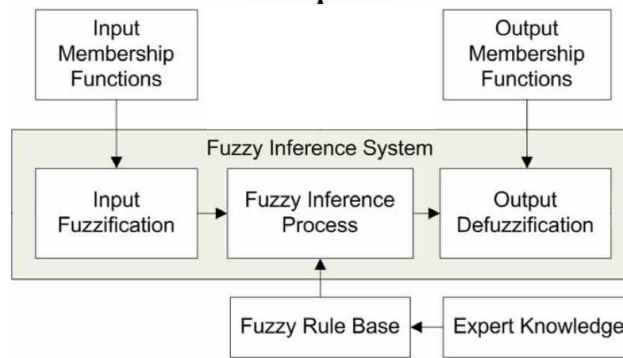
$$b_{n_1 n_2 \dots n_N}^{p_1 p_2 \dots p_N} = n_1! n_2! \dots n_M! \delta_{n_1 p_1} \delta_{n_2 p_2} \dots \delta_{n_N p_N} \quad (6b)$$

The PDDO recovers the local differentiation as the size of family,  $H_x$  decreases or the number of terms in the functions  $g_N^{p_1 p_2 \dots p_N}(\xi)$  increases. It requires the computation of the coefficients,  $a_{q_1 q_2 \dots q_N}^{p_1 p_2 \dots p_N}$ , and the condition number of the coefficient (shape) matrix,  $A_{n_1 n_2 \dots n_N q_1 q_2 \dots q_N}$ , may become poor for higher order derivatives. Therefore, when computing higher order derivatives, the family size needs to be adjusted accordingly. If it is too small then round-off errors dominate, and if it is too large then the results deviate from local values.

The coefficients of the PD functions can be determined without any difficulty. Although it is not a limitation, the weight functions,  $w_{q_1 q_2 q_3}(|\xi|)$  in Eq. (6a) can be replaced with  $w_n(|\xi|)$  for simplification based on the order of differentiation. A Matlab code presented in a recent book by Madenci et al. [20] (2018) elucidates the PDDO for the  $N$ -th order derivative of a function with  $M$  dimensions.

#### 4. Fuzzy Logic

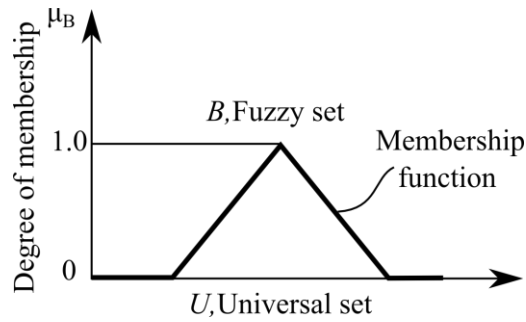
The concept of fuzzy logic introduced by Zadeh [21- 22] can be described through the block diagram shown in Fig. 3. The essence of fuzzy logic lies is that it does not give a certain result. The fuzzy logic application can return different output values for the same specified input values.



**Fig. 3.** Fuzzy Logic system block diagram

The membership values of the fuzzy set elements are in the range of 0-1. A fuzzy set membership function defined as B in the U universal set, is characterized by  $\mu_B(x)$  [21- 22] as shown in Fig. 4.

A membership function can be defined as a triangle, trapezoid or sigmoid to determine the membership value of its elements.



**Fig. 4.** Sample of Fuzzy membership function.

The rule base contains a series of fuzzy rules that define the relation between the input and output. In general there are three general forms of fuzzy rules for any verbal variable. Fuzzy rules is a set of conditional statements such as assignment, conditional and unconditional sentences [23]. The inference unit performs fuzzy inference with fuzzy rules. There exit many different structures for fuzzy inference. The most commonly used method is the Mamdani inference method. In this method, depending on the membership degree for each entry value, the portion above the membership value of the fuzzy set is cut. The output value is usually obtained by applying the weighted average method to these fuzzy sets [24]. Fuzzy inference results in a fuzzy set. This result needs to be converted to an analog value. This process is called rinse. The rinse unit is a non-fuzzy information from fuzzy information from the decision-making unit and provides real values. Various methods are used in the rinsing process.

## 5. Crack detection based on fuzzy logic and PDDO

The lower and upper limits of the first and second order peridynamic derivatives of the image with respect to spatial coordinates provide the input parameters  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $l_{xx}$ ,  $l_{yy}$  and  $l_{xy}$ , respectively, to the fuzzy logic system. The three triangular type membership functions are assigned to each input parameter, the upper and lower limit values are determined according to the maximum and minimum points of the image. While the positions of the cracks remain the same in all derivative values, the positions of other noises such as shadows and reflections are different. Therefore, the fuzzy logic rule base is established by way of common intersections of five different derivatives, and 13 rules are added to the system for clarification/refinement as explained in Table 1.

The input parameter fuzzification is performed for each pixel value of the image, subsequently the defuzzification by the rule base for the output image.

**Table 1.** Fuzzy logic rule base

No	Rules
1	<i>If (<math>l_x</math> is L) and (<math>l_y</math> is L) and (<math>l_{xy}</math> is L) and (<math>l_{xx}</math> is L) and (<math>l_{yy}</math> is L) then (<math>l_{out}</math> is L)</i>
2	<i>If (<math>l_x</math> is M) and (<math>l_y</math> is M) and (<math>l_{xy}</math> is M) and (<math>l_{xx}</math> is M) and (<math>l_{yy}</math> is M) then (<math>l_{out}</math> is M)</i>
3	<i>If (<math>l_x</math> is H) and (<math>l_y</math> is H) and (<math>l_{xy}</math> is H) and (<math>l_{xx}</math> is H) and (<math>l_{yy}</math> is H) then (<math>l_{out}</math> is H)</i>

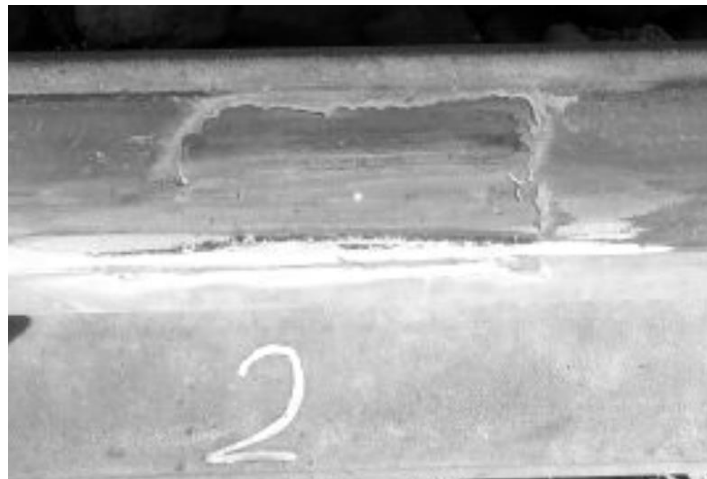
---

4	<i>If (Ix is L) or (Iy is H) or (Ixy is H) or (Ixx is H) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
5	<i>If (Ix is M) or (Iy is H) or (Ixy is H) or (Ixx is H) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
6	<i>If (Ix is L) or (Iy is M) or (Ixy is H) or (Ixx is H) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
7	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is H) or (Ixx is H) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
8	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is M) or (Ixx is H) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
9	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is L) or (Ixx is H) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
10	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is L) or (Ixx is M) or (Iyy is H) then (Iout is M)</i>
11	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is L) or (Ixx is L) or (Iyy is H) then (Iout is L)</i>
12	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is L) or (Ixx is L) or (Iyy is M) then (Iout is M)</i>
13	<i>If (Ix is L) or (Iy is L) or (Ixy is L) or (Ixx is L) or (Iyy is L) then (Iout is M)</i>

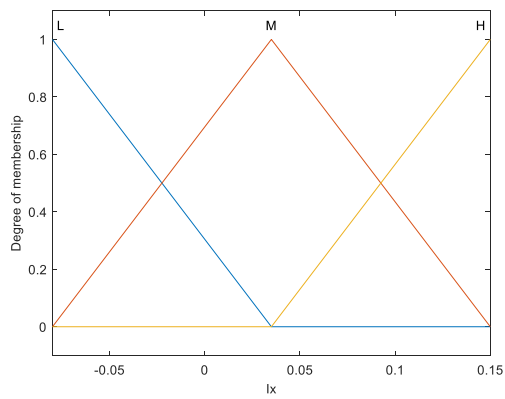
---

**6. Demonstration**

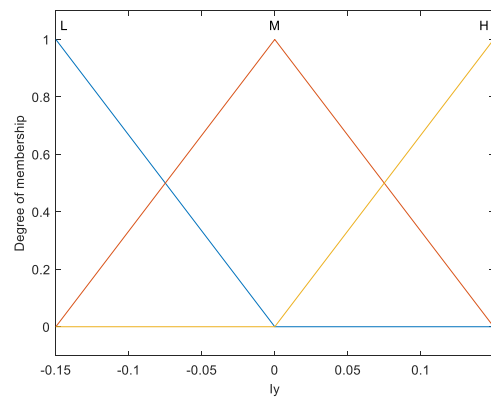
The gray scale image shown in Fig. 5 is considered to demonstrate the capability of the present approach. The degree of membership is constructed for each derivative as shown in Fig. 6. The degree of membership for the output parameter is shown in Figure 7.



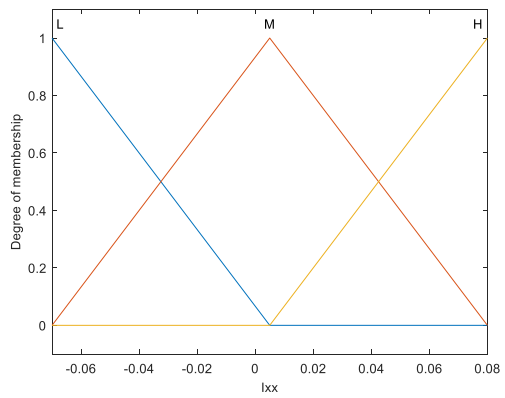
**Fig. 5.** Image of a defective rail in gray scale



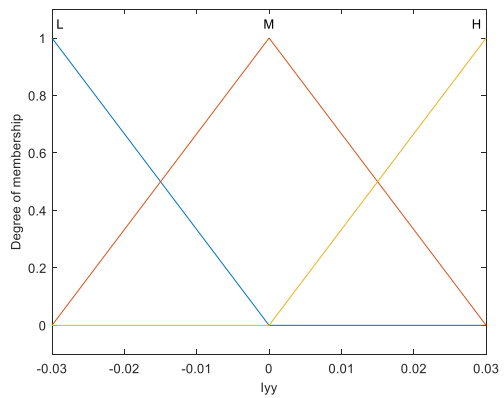
(a)



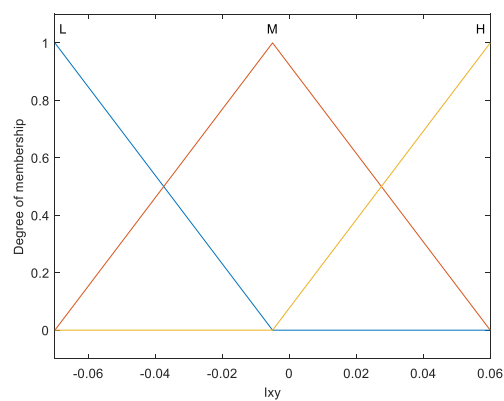
(b)



(c)

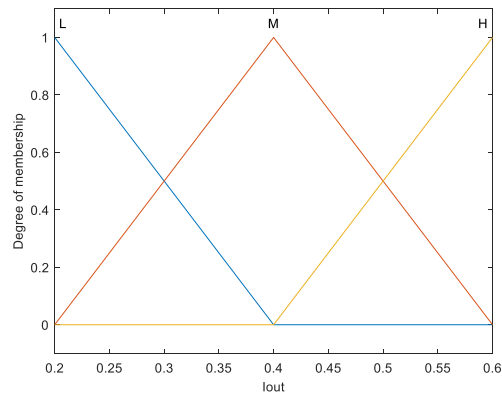


(d)



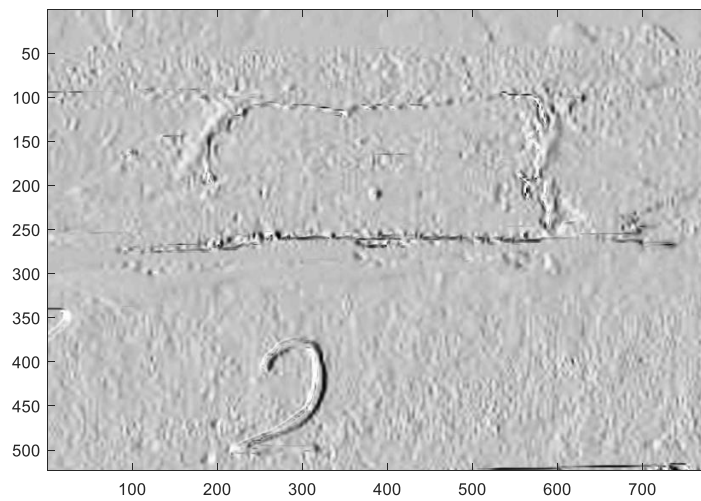
(e)

**Fig. 6.** Degree of membership for input parameters based on the PDDO: (a) 1st order derivative along the x direction, (b) 1st order derivative along the y direction, (c) 2nd order derivative along the x direction (d), 2nd order derivative along the y direction, and (e), 2nd order cross derivative

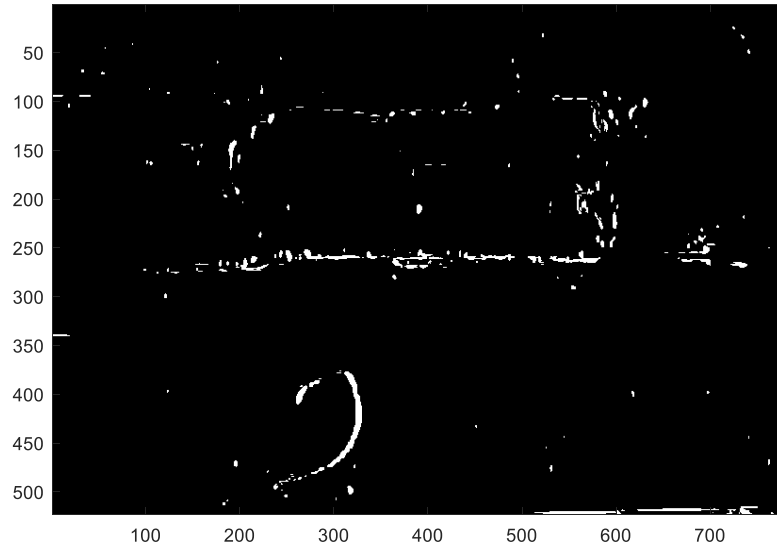


**Fig. 7.** Degree of membership for the output parameter.

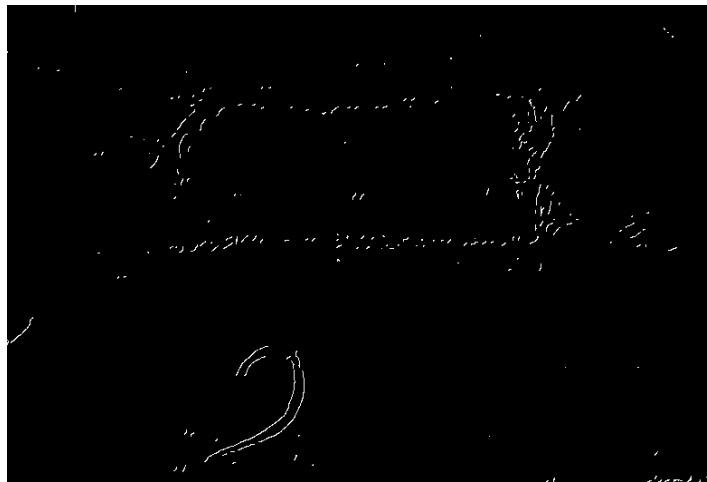
The output image shown in Fig. 8 clearly captures the cracks with significant distinction. Also, the threshold is applied to obtain the values 0 and 1 of the image. As shown in Fig. 9, the cracks are more distinctive and the noise is considerably reduced. Figures 10-12 present the results obtained by using the Canny, Sobel and Laplacian operators. It is evident that the present PD-Fuzzy logic approach is more robust than the commonly existing methods.



**Fig. 8.** PD-fuzzy logic output image.

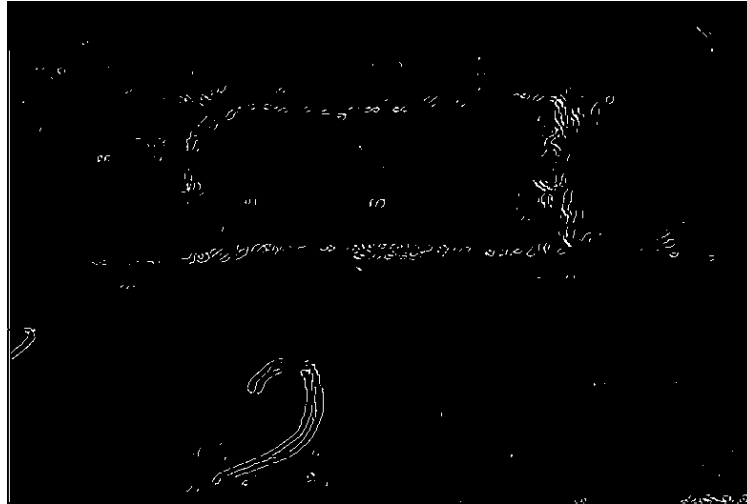


**Fig. 9.** PD-fuzzy logic output image after applying the threshold

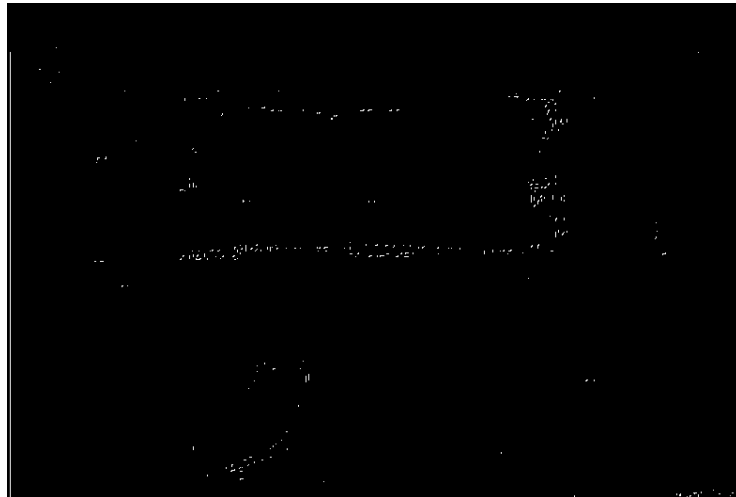


**Fig. 10.** Canny operator with non-maximal suppression





**Fig. 11.** Sobel operator with non-maximal suppression



**Fig. 12.** Laplacian operator with non-maximal suppression

## 7. Remarks

This study provides a comparison of the existing methods, and presents a new method to detect cracks also based on image processing. The new method utilizes the fuzzy logic coupled with the peridynamic differential operator. Its robustness is demonstrated by detecting cracks in an image of a rail with cracks. The cracks are more distinctive and with considerable noise reduction. The present PD-Fuzzy logic approach is more robust than the commonly existing methods.

## Acknowledgments

This work is supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) in the scope of 2219 Postdoctoral Research Scholarship Program.

## References

- [1] Singh, M., Singh, S., Jaiswal, J., Hempshall, J., Autonomous Rail Track Inspection using Vision Based System, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety, 56-69, 2006.
- [2] Karaduman, G., Karakose, M., Akin, E., Experimental fuzzy diagnosis algorithm based on image processing for rail profile measurement, 15th International Symposium MECHATRONIKA, 1-6, 2012.
- [3] Limin, C., Yin, L., Kaimin, W., Inspection of rail surface defect based on machine vision system, 2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE), 3793 - 3796, 2010.
- [4] Trinh, H., Haas, N., Pankanti, S., Multisensor evidence integration and optimization in rail inspection, 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 886 – 889, 2012.
- [5] Limin, C., Yin, L., Kaimin, W., Inspection of rail surface defect based on machine vision system, 2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE), 3793 - 3796, 2010.
- [6] Trinh, H., Haas, N., Pankanti, S., Multisensor evidence integration and optimization in rail inspection, 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 886 – 889, 2012.
- [7] Ying, L., Trinh, T., Haas, N., Otto, C., Pankanti, S., Rail Component Detection, Optimization, and Assessment for Automatic Rail Track Inspection, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15, 760 – 770, 2014.
- [8] Qingyong, L., Shengwei, R., A Real-Time Visual Inspection System for Discrete Surface Defects of Rail Heads, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61, 2189-2199, 2012.
- [9] Yaman, O., Karaköse, M., Akın, E., Aydın, İ., Image Processing Based Fault Detection Approach for Rail Surface, 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Malatya, 1118-1121, 2015.
- [10] Zhang, W., Zhang, Z., Qi, D., Liu, Y., Automatic Crack Detection and Classification Method for Subway Tunnel Safety Monitoring, Sensors, 14, 19307-19328, 2014.
- [11] Liu, Z., Wang, W., Zhang, X., Jia, W., Inspection of Rail Surface Defects Based on Image Processing, 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 472-475, 2010.
- [12] Zhendong, H., Yaonan, W., Feng, Y., Fie L., Surface defect detection for high speed rails using inverse P\_M diffusion model, Sensor, 31(1) 86-97, 2016.
- [13] Ağırbaşı, Ş., Bulanık Mantık Yaklaşımını kullanarak Endokardiyalin Kenar Çıkarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [14] Korkusuz, N., O., Otomatik Hedef Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [15] Geçmez, A., İki Boyutlu Sayısal Filtreler, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [16] Silling, S.A., 2000. Reformulation of elasticity theory for discontinuities and long-range forces. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol.48No.1, pp.175-209.
- [17] Silling, S.A., Epton, M., Weckner, O., Xu, J. and Askari, E., 2007. Peridynamic states and constitutive modeling. Journal of Elasticity, Vol.88No.2, pp.151-184.

- [18] Madenci, E., Barut, A., Futch, M., Peridynamic differential operator and its applications,” *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 304, 408–451, 2016.
- [19] Madenci, E., Dorduncu, M., Barut, A., Futch, M., Numerical solution of linear and nonlinear partial differential equations using the peridynamic differential operator, *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 33, 1726–1753, 2017.
- [20] Madenci, E., Barut, A. and Dorduncu, M., 2018. Peridynamic differential operator for numerical analysis. New York: Springer (in-press)
- [21] Zadeh, L.A., Fuzzy algorithms, *Information and Control*, 12(2), 94-102, 1968.
- [22] Zadeh, L.A., Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(3), 338-353, 1965.
- [23] Sağıroğlu, Ő., BeŐdok, E. and Erler, M., Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-I, *Ufuk Yayıncılık, Kayseri*, 1-5, 2003.
- [24] Elmas, Ç., *Yapay zeka uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 2007.

# FAULT TREE AND STAMP ANALYSIS OF THE MOST FATAL ACCIDENT OF IRANIAN RAILWAYS IN THE PAST DECADE

Melody Khadem Sameni<sup>1\*</sup>, Naeimeh Mahdavian<sup>2</sup> and Hossein Ganji<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, e-mail: sameni@iust.ac.ir

<sup>2</sup> Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, e-mail: n\_mahdavian@rail.iust.ac.ir

<sup>3</sup> Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, e-mail: h\_ganji@rail.iust.ac.ir

## Abstract

According to WHO statistics, Iran has one of the highest rates of road fatalities. This adds to the importance of improving railway network and shifting passengers to it. The most fatal railway accident of the past decade in Iran (HaftKhan ) occurred on 25 November 2016 in which two passenger trains collided (rear-end collision); resulting in huge fire and over 40 passengers losing their lives. It made headlines in the news and severely affected the image of railways in the society. The accident happened at the distance of 291 kilometres from Tehran on the busiest route of the country (Tehran-Mashhad). The causes of this accident were complex and a mixture of human error, use of new technology (ATC), equipment failure, natural (freezing cold weather) and some shortcomings in railway traffic regulations. This paper conducts a fault tree analysis (FTA) of the HaftKhan accident to identify the root causes. A follow-up STAMP (Systems Theoretic Accident Modeling and Processes) analysis is done to identify systematic ways of improving safety and avoiding similar accidents to happen in the future.

**Keywords:** Fault Tree Analysis; Railway safety; STAMP

# AĞIR HİZMET DİZEL MOTORLARA AİT BİR KAYMALI YATAĞIN ÇALIŞMA ANALİZİ

Merve SAYAR<sup>1</sup> and Doc Dr. Mustafa Ertunç TAT<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği, Eskişehir, Turkey, e-mail: mervesayar895@gmail.com

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği, Eskişehir, Turkey, e-mail: metat@ogu.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada bir ağır hizmet dizel motoruna ait bir kaymalı yatağın, paket program aracılığıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak mil ile yatak arasındaki yağlayıcının akışı, basınç dağılımı ile yatak ve mile etkileri araştırılmıştır. Bunun için belirli ölçülerde bir yatak tasarımı yapılmış ve çeşitli devirlerde oluşan yağ akışı simüle edilmiş ve hidrodinamik yağ basınç dağılımları elde edilmiştir. Fluent programı ile elde edilen bu basınç değerleri Workbench sekmesine aktarılmış ve yağ basıncının yatak ve mil üzerindeki deformasyon etkisi analiz edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelime: *Bakım, Dizel Motorlar, Kaymalı Yatak*

## 1. Giriş

Hidrodinamik kaymalı yataklar, çalışma esnasında güç kayıplarının düşük olması ve yük taşıma kapasitesinin yüksek olmasından dolayı en iyi çalışma şartlarına kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Günümüzde sürekli artan az girdi değerlerine karşılık verimi yüksek çıktı anlayışı bu yataklarda kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu nedenle vinç, krika gibi kaldırma makinaları, türbinler, kompresörler, pompalar, lokomotif gibi ağır hizmet araçlar ve dizel motorların krank biyel yatakları gibi çeşitli alanlarda kullanımı vardır. Ancak en verimli yük taşıma ve hız değerlerine ulaşabilmesi için yatak tasarımının çalışma koşullarına uygun yapılması çok önemlidir. [1]

Oluşturulan her tasarım için gerekli hesaplamaların ve deneysel ortamların oluşturulması mümkün olmayabilir. Buna örnek olarak ağır hizmet dizel motorlarının ana ve muylularının tasarımları verilebilir. Bunun yerine paket programlar ile çok yönlü tasarım ve ortam şartlarının oluşturulması ile yapılan analizler hem zaman hem de maliyet kayıplarını en aza indirecektir. Trenlerde, dizel motorlarda kullanılan yataklarda yapılacak analizler ile elde edilen gerçekçi sonuçlar ile tasarımların yapılması ve oluşabilecek hasarların önceden tahmin edilebilmesi, bu dizel motorların servis ömrünün ve bakım maliyetlerinin tahmin edilebilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Kaymalı yatakların tasarımında mil dönüş hızı, kullanılacak olan yağlayıcı, çalışma ortamı gibi etmenler öne çıkmaktadır. Tekin ve Akkök, yapmış oldukları çalışmada sınır şartlarda çalışan makine yataklarının gerçek koşullara uygun olarak çalışması için bir test düzeneği hazırlamış ve yatakların aşınmasını incelemiştir. Farklı kuvvet, kayma hızı ve farklı yağ kanallarına sahip yataklar ile yapılan testlerin ardından yatak aşınmaları, CMM ile ölçülmüş ve oluşan sarma probleminin yatağın aynı

bölgesinde oluşması ile yatak imalatından kaynaklı bir sorun olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yağlamanın artması ile yatak ömrünün arttığı ve sarmanın olduğu dönüş sayısının farklı aralıklarda olması, kirlilik gibi çevresel faktörlerden olabileceği sonucuna varılmıştır. [2]

Çalışma ortamı nedeniyle yakıt ve yağlayıcıda oluşan kirlilik, mil ve motor yataklarında hasarlara neden olmaktadır. Hazar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada dizel motor yakıtına yaptıkları metanol ilavesi ile yağlayıcının viskozite değerlerinin düştüğünü ve buna bağlı olarak yağlayıcının incelmiş olduğunu göstermişlerdir. Yağ filminde oluşan bu kayıplar, yağın görevini tam olarak yapamamasına ve motor parçaları üzerinde aşınmalara neden olmaktadır. [3]

Viskozitenin azalması mil ve yatak arasında oluşan hidrodinamik yağ filminin incelmeye neden olmaktadır. Filmdeki inceme taşınabilecek yük kapasitesi üzerinde büyük bir azalışa neden olmaktadır. Yapılan çalışmada yüzeyinde doku oluşturulmuş yumuşak yatak malzemelerinde analizler yapılmıştır. Bu analizlere göre yatak üzerinde deformasyon oluşumu yük taşıma kapasitesi ve basınç dağılımında değişikliklere neden olmaktadır. [4]

Linjamaa ve arkadaşları ise polimer yüzeye sahip kaymalı yatakların performans analizlerini yapmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda yatak malzemelerinde standart bronz yatak malzemesine göre polimer kullanılması durumunda yüklenebileceği maksimum basınçta oluşan minimum yağ filmi kalınlığı azalma göstermektedir. Ancak oluşan deformasyonlar da malzeme özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bronz yataklara göre polimer yatakların elastik deformasyonları daha düşük iken termal deformasyonları daha fazla olmaktadır. [5]

Lin ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada FSI ve CFD analizlerini kullanarak termal etkilerin ve kavitasyonun kaymalı yatak sistemleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Farklı yük değerleri ile yapılan analizlerde mildeki eksantriklik ve akışkandaki sıcaklık değişimi incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında %2 ila %8 aralığında bir farklılık olduğu saptanmıştır. Sonuçlara göre dış yükler arttıkça eksantriklik ve sıcaklık düzenli bir artış göstermektedir. [6]

Tüm bu çalışmalar göstermektedir ki tasarım yapılırken mil, kaymalı yatak ve yağlayıcı, bütün bir sistem olarak ele alınmalı ve çalışma şartları, yağlayıcı ve mil-yatak malzemeleri bu sisteme göre incelenmelidir.

Bu çalışmada bir ağır dizel motora ait tasarlanmış olan mil-yatak sistemi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Ansys paket programı ile analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler ile mil devrinin değişmesi ile yağ basıncındaki değişim ve yatak üzerindeki deformasyon etkisi analiz edilmiştir.

## **2. Materyal Ve Yöntem**

### **2.1. Matematiksel Model**

Yapılan bu çalışmada SAE 40 motor yağı kullanan bir ağır hizmet dizel motorunun 1000-8000 dev/dk aralığında çalışma durumu esas alınmıştır. Çalışmada Solid Edge programı kullanılarak modellenen bir kaymalı yatağın bronz ve milin çelik olduğu düşünülerek hesaplama ve analizler yapılmıştır.

Milin aldığı güç ile dönüşü sonucunda, yatak ve mil arasında, yatak iç yüzeyinde aşınmaya bağlı hasarlara neden olmadan milin işlevini sürdürebilmesi için gerekli olan yağ filmi oluşmalıdır. Bu filmin yeterli olmadığı durumlarda mil ve yatak, metal-metal etkileşime girmektedir ve yatak sarması gibi sorunlara neden olmaktadır. Mil ve yatağın hasar almadan çalışabilmesi için oluşması gereken en düşük yağ film kalınlığına minimum yağ filmi denir. Milin hareketine bağlı olarak yağlayıcının mile yapışmış gibi mil ile ortak hareket etmesi ve bunun sonucunda oluşan kayma gerilmesi ile yatak ve mil arasında hidrodinamik yağ basıncı oluşmaktadır. [7]

Bu çalışmada mil dönüşü ile oluşan minimum yağ filmi ve yağ basıncının yatak ve mil üzerindeki etkileri incelenmiştir. Minimum yağ filminin hesaplanması için; izafi yatak boşluğu ( $\Psi$ ) ve Sommerfeld sayısı ( $S_o$ ) hesaplanmalıdır. Kullanılan formüller (2.1) ve (2.2)'de verildiği gibidir. Formüllerde yatak çapı  $D$  (mm); mil çapı  $d$  (mm); yatak boşluğu  $S$  (mm); yatak basıncı  $P$  (Pa); yağın dinamik viskozitesi  $\eta$  (Pa.s) ve açısal hız  $\omega$  (rad/s) olarak ifade edilmiştir.

$$\Psi = (D-d) / D = S / D \quad (2.1)$$

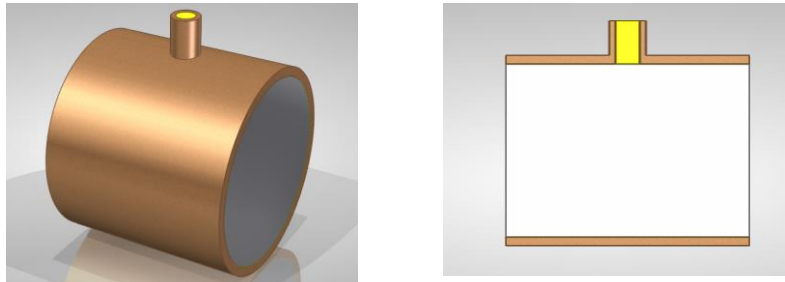
$$S_o = (P \times \Psi^2) / (\eta \times \omega) \quad (2.2)$$

Burada elde edilen Sommerfeld sayısı boyutsuz bir kavram olmakla birlikte hidrodinamik kaymalı yatakların çalışma ve sürtünme koşulları birbirleri ile kıyaslanabilmektedir. Sommerfeld sayısı ve  $b/d$  (yatak uzunluğu/yatak iç çapı) oranına göre "So sayısının izafi eksantrikliğe bağlı değişimi (DIN 31652)" tablosundan  $\epsilon$  değeri okunur ve minimum yağ filmi kalınlığı  $h_0$  'ın hesaplanmasında (2.3) kullanılır. [7]

$$h_0 = 0,5 \times S \times (1 - \epsilon) \quad (2.3)$$

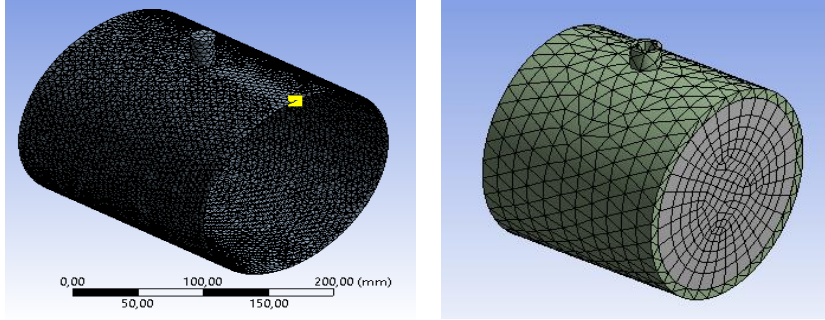
## 2.2. Analizlerin Yapılışı

Yapılan hesaplamalar ile belirlenen yağ filmi kalınlığına, yatak ve mil ölçülerine göre oluşturulan üç boyutlu çizimler Ansys'e aktarılmıştır. Bu tasarımlar ile Ansys Fluent ve Ansys Workbench programları kullanılarak yağ basınç dağılım analizi ve statik yapı analizi yapılmıştır. Analizlerde mil dönüş hızı değiştirilerek kabulü yapılan yağ filminin basınç değişimi ve yatak deformasyonları karşılaştırılmıştır. Şekil 2.1.de kullanılmış olan yatak ve mile ait çizim gösterilmiştir.



Şekil 2.1. a) Analizde kullanılan yatak modeli. (b) Yatak modelinin kesit görünümü.

Yapılan modelleme Ansys programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizde yağlayıcı için mesh boyutu 5,5 mm olarak seçilmiş ve mesh işlemi sonucunda yağ filminde 8423 Node ve 24708 Element elde edilmiştir. Yatak ve mil için ise 20 mm mesh boyutu seçilmiş ve 15231 Node ve 4619 Element elde edilmiştir. Mesh işlemi sonuçları Şekil 2.2.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2. (a) Yağ dağılımının mesh sonucu görünümü. (b) Yatak ve mil modelinin mesh sonucu görünümü

Analiz yapılırken;

- Silindirik ceket geometrinin orta noktası yağ girişi ve eksendeş taban ve tavan alanları ise yağın çıkış kesit alanları olarak kabul edilmiştir.
- Yağlayıcının akışı laminer olarak kabul edilmiştir.
- Yağlayıcının sisteme giriş hızı 5 m/s kabul edilmiştir.
- Ortam basıncı 1 Atm ve sıcaklık 300 K kabul edilmiştir.
- Yatak geometrisinin yer değiştirme sınırlaması yapılırken x,y ve z yönlerinde hareketi 0 kabul edilmiştir.
- Yatağa gelen basınçlar 10 bar olarak kabul edilmiş ve buna göre hesaplamalar yapılmıştır.
- Mil devrinin 1000 dev/dk'dan 8000 dev/dk' ya kadar çıktığı kabul edilmiştir.

Analizlerde yatak malzemesi olarak bronz ve mil malzemesi olarak ıslah çeliklerinden 50CrMo4 kullanılmıştır. Ağır dizel motorda kullanılan yağlayıcı ise SAE-40 yağlayıcı olarak seçilmiştir. Hesaplamalarda ve analizde kullanılan parametreler Çizelge 2.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 2.1. Model Parametreleri [8], [9]



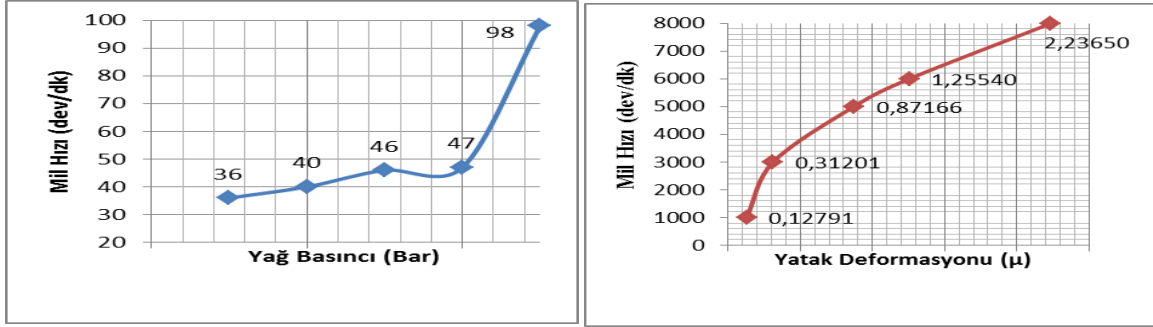
PARAMETRE	DEĞER
<b>YATAK</b>	
Yatak malzemesi	Bronz
Yatak Dış Çapı (mm)	220
Yatak İç Çapı (mm)	200,2
Yatak Uzunluğu (mm)	100
Elastisite Modülü (MPa)	96000
Poisson Oranı	0.34
Yoğunluk (Kg /m3)	7700
<b>MİL</b>	
Mil Malzemesi	50CrMo4
Mil Çapı (mm)	200
Elastisite Modülü	210000
Poisson Oranı	0.3
Yoğunluk (Kg /m3)	7800
<b>YAĞLAYICI</b>	
Yağlayıcı Malzeme	SAE-40
Viskozite $\eta$ (kg /m.s)	0.0125
Yoğunluk (Kg / m3)	892
Özgül Isı (j / Kg-K)	1717
Isıl iletkenlik (W /m-K)	0.132

Fluent ve Workbench kullanılarak yapılan analizler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Fluent ile yapılan yağ basıncı analizinde SAE 40 motor yağına ait viskozite, yoğunluk, özgül ısı ve ısıl iletkenlik değerleri Çizelge 2.1.de olduğu gibi Fluent'te tanımlanmıştır. Her analiz için sırasıyla 1000, 3000, 5000, 6000 ve 8000 dev / dk mil devri ile 5 m/s yağ giriş hızı, 1 Atm ortam basıncı ve 300 K ortam sıcaklığı verilerek sınır koşulları oluşturulmuştur. Analiz ile elde edilen yağ basınç dağılımları Workbench statik yapı analizinde yatağın iç yüzeyine ve mil yüzeyine aktarılmıştır. Bronz ve çelik malzemelerin Çizelge 2.1'deki değerleri program üzerinden mil ve yatağa tanımlanmıştır. Analiz yapılırken yatağın taban ve tavan alanları ve dış yanıl alanı sabit olarak tanımlanmıştır. Analiz sonucunda toplam deformasyon dağılımları elde edilmiştir.

### 3. BULGULAR

Analizler için sırasıyla kabullerin yapılması, tasarım hesaplamaları ve yatak-mil modellemesi, yağ basınç dağılım analizi ve statik yapı analizleri yapılmıştır. Yatağın sarmadan ve mil ve yatak arasında

metal-metal etkileşimine neden olmadan işlevini gerçekleştirebilmesi için gerekli minimum yağ filmi kalınlığı hesaplanmıştır. Hesaplanan yağ filmi değerleri ve çeşitli mil hızlarına göre analiz sonucunda oluşan maksimum ve minimum yağ filmi basınçları Çizelge 3.1 de verilmiştir. Fluent ile elde edilen hidrodinamik yağ basınçları yataklara aktarılmış ve mil hızı ve yağ basıncındaki değişime göre elde edilen yatak deformasyonları yataklarda oluşan Çizelge 3.1. de verilmiştir. Çizelge 3.2.a ve Çizelge 3.2.b de ise deformasyon ve basınçların grafiksel olarak değişimi verilmiştir. Elde edilen hesaplama ve analiz sonuçlarına göre mil devrinin artması yağ basıncında ve deformasyonda artışa neden olmaktadır.

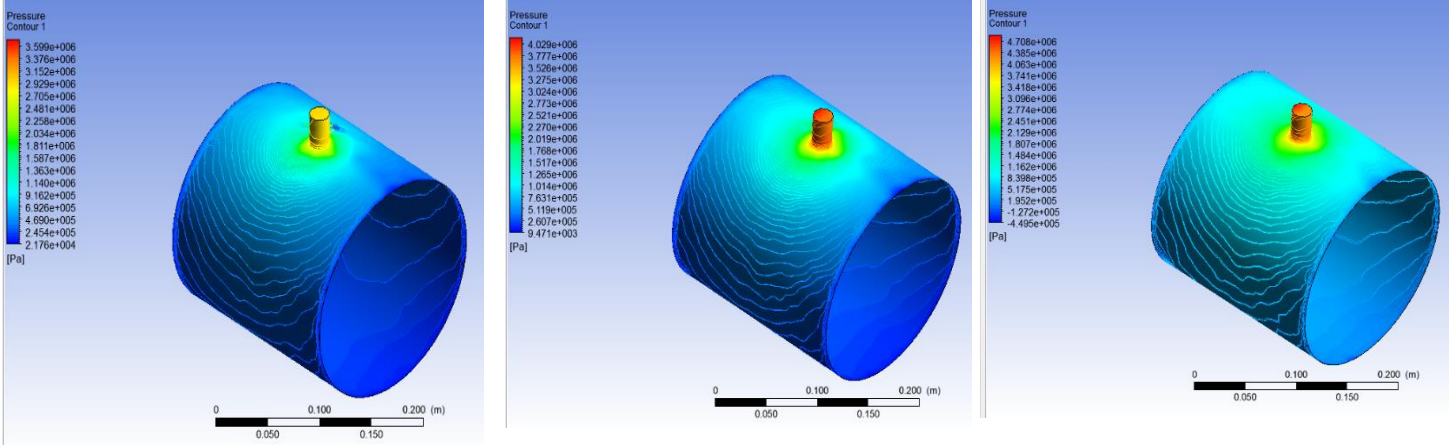


Çizelge 3.1. Mil Hızına bağlı olarak minimum yağ filmi, yağ basıncı değişimi ve yatak deformasyonu tablosu

Mil Hızı (dev/dk)	Minimum Yağ Filmi Kalınlığı (μ)	Yağ Basıncı (Bar)		Yatak Deformasyonu(μ)
		MAKS	MİN	
1000	673,1	36	0.2	0,12791
3000	446,9	40	0.09	0,31201
5000	330,6	46	-4	0,87166
6000	293,7	47	-17	1,25540
8000	232,6	98	-754	2,23650

Çizelge 3.2. (a) Mil Hızına bağlı minimum yağ basıncı değişimi.(b) Mil Hızına bağlı yatak deformasyonu

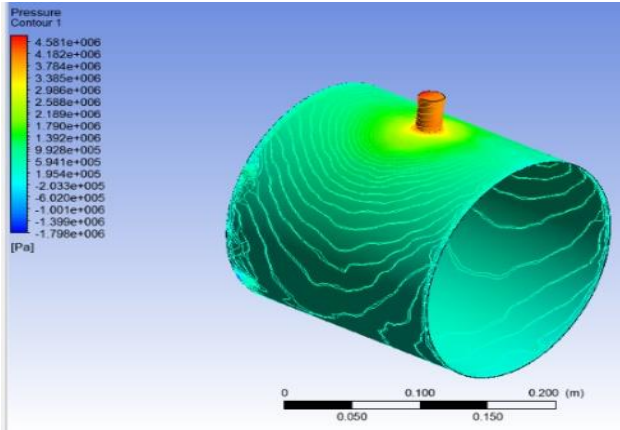
Yağ basıncının mil dönüşüne bağlı olarak oluşturduğu hidrodinamik basınç dağılımları Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Yağ basıncı oluşturulan şekle bağlı olarak yatağa giriş noktasında maksimum değeri almaktadır. Basınç dağılımı ise yağın yatak çevresine dağılımı ile çıkış noktalarına doğru azalış göstermektedir.



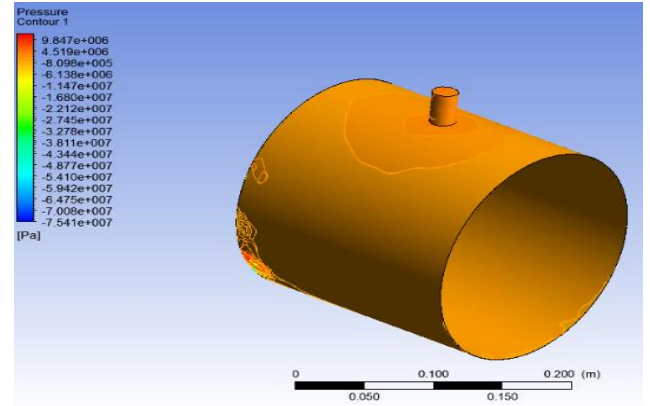
(a)

(b)

(c)



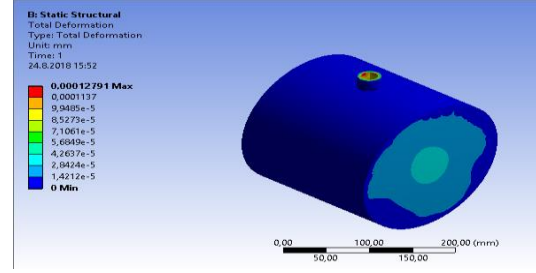
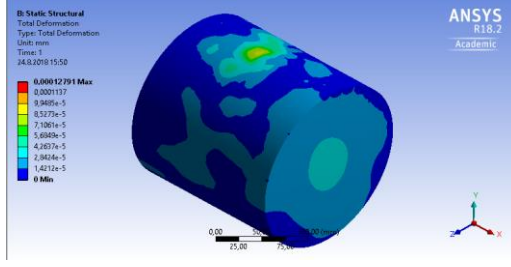
(d)



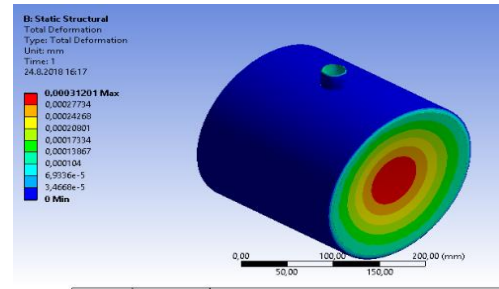
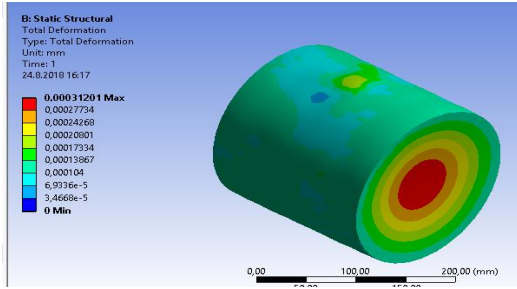
(e)

Şekil 3.1. Mil dönüşüne bağlı oluşan hidrodinamik yağ filmi basınç dağılımları.(a) 1000 dev/dk için yağ basıncı (b) 3000 dev/dk için yağ basıncı (c) 5000 dev/dk için yağ basıncı (d) 6000 dev/dk için yağ (e) 8000 dev/dk için yağ basıncı

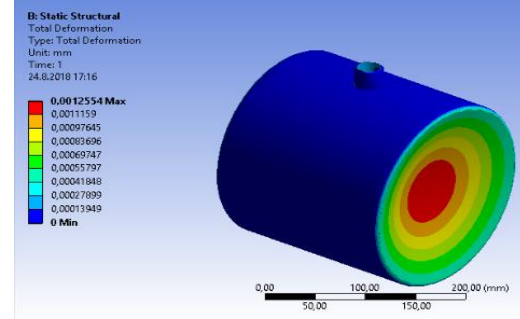
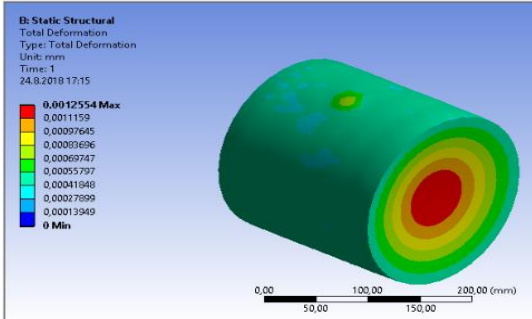
Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6.'da elde edilen mil ve yatak deformasyonları gösterilmiştir. Deformasyonlar yağ basıncıyla orantılı olarak basıncın fazla olduğu noktalarda maksimum değeri almışlardır. Deformasyonlara 2x büyültülmüş mercek ile bakıldığı zaman analiz sonucunda yatak iç yüzeyinde cidar incelmeye neden olacak şekilde hasar oluşmaktadır. Mil yüzeyinde ise yağ basıncının olduğu noktalarda çukur ve tümsek şekilli deformasyon şekli meydana gelmektedir



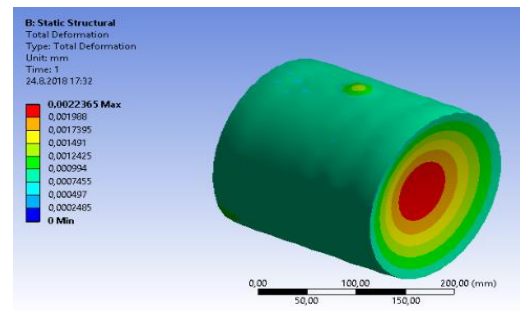
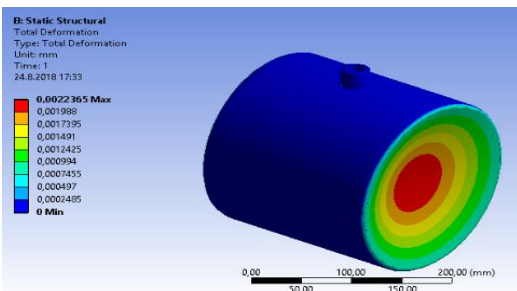
Şekil 3.3. 1000 dev/dk mil hızına bağlı analiz sonucu elde edilen mildeki deformasyon ve mil-yatak görünümü



Şekil 3.4. 3000 dev/dk mil hızına bağlı analiz sonucu elde edilen mildeki deformasyon ve mil-yatak görünümü



Şekil 3.5. 6000 dev/dk mil hızına bağlı analiz sonucu elde edilen mildeki deformasyon ve mil-yatak görünümü



Şekil 3.6. 8000 dev/dk mil hızına bağlı analiz sonucu elde edilen mildeki deformasyon ve mil-yatak görünümü

#### 4. SONUÇLAR

Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda elde edilen hesaplama ve analiz sonuçlarına göre;

- Mil devri arttıkça mil ve yatak arasında oluşan yağ filmi kalınlığı azalmakta ve yağ basıncının maksimum değerinde artış meydana gelmektedir. Bu artış, her devir değişiminde lineer olmamakla birlikte genel bir artış görülmektedir.
- Yağ basıncının minimum değerinde ise mil devri arttıkça yağ basıncı negatif değerlere düşmektedir. Bu da hidrodinamik yağ filminin bazı bölgelerde vakum etkisi yarattığını göstermektedir.
- Yağ filmindeki değişime bağlı olarak yatak iç yüzeyine ve mil dış yüzeyine etkiyen basınçların artışı yüzeylerde deformasyon miktarının artışına neden olmaktadır. Deformasyonlar, mikron seviyesinde olmasına rağmen çalışma esnasında yüzey üzerinde hasar yaratacağı için bakım sırasında mil ve yataklarda belirlenen deformasyon bölgelerinin kontrollerinin yapılması hasarların bulunmasında yardımcı olacaktır.
- Yatağın dış yanal yüzeyi ve yağ giriş kanalının dış yüzeyi x,y,z yönlerinde harekete sınırlandırıldığı zaman maksimum deformasyonlar yağın giriş yaptığı yatak iç yüzeyinde ve mil ile yağın ilk temas ettiği yüzeyde oluşmaktadır. Oluşan deformasyon görünümü x0.5 kat artırılmış mercek altında bakıldığında deformasyonun mil yüzeyinde tümsek ve çukur bölgelere neden olduğu saptanmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Panthi, A. and Balwanshi, J., Design and Analysis of Hydrodynamic Journal Bearing using Raimondi and Boyd Chart, 109-120, vol. 2, 2015 .
- [2] Tekin, S. and Akkök, M. , Sınır Yağlama Koşullarında Çalışan Yataklar için Aşınma Test Düzeneği Tasarımı, Yapımı ve İş Makinaları Yataklarında Aşınma Analizi, Mühendis ve Makina, 70-79, vol 52, no 616, 2011
- [3] H.Hazar , İ.Temizler and F. Gür, Bir Dizel Motorunun Motor Performansı ve Motor Parçaları Üzerinde Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium, 77-83, 2011
- [4] ] Su, B. Huang, L. and Huang, W., The Load Carrying Capacity of Textured Sliding Bearings with Elastic Deformation, Tribology International vol 109, 86-96, 2017
- [5] Linjamaaa, A. And Lehtovaaraa, A. ,Modelling and Analysis of Elastic and Thermal Deformations of a Hybrid Journal Bearing, Tribology International, 2017
- [6] Lin, Q. And Wei, Z. , Analysis on the lubrication performances of journal bearing system using
- [7] computational fluid Dynamics and fluid–structure interaction considering thermal influence and cavitation, Tribology International vol 64, 8-15, 2013
- [8] Babalık, F. And Çavdar K., Makina Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, 415-422, 2014
- [9] <http://www.ssinst.com/ssi/s540/FEMDB/Modulus%20of%20Elasticity.html>
- [10] [https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d\\_417.html#Strain](https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html#Strain)

# TÜRKİYE'NİN DEMİRYOLU REFORMU AÇISINDAN DOĞU AVRUPA ÜLKELERİ ARASINDAKİ YERİ

Muharrem Ünver<sup>1</sup>, Tuğrul Bayraktar<sup>2</sup>, Ahmet Ziyaeddin Bulum<sup>3</sup>, Selçuk Özcan<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: muharremunver@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: [tuğrulbayraktar@karabuk.edu.tr](mailto:tuğrulbayraktar@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: ahmetbulum@karabuk.edu.tr

<sup>4</sup>Karabük Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Karabük, 78000, Türkiye, e-mail: selcukozcan@karabuk.edu.tr

## Özet

Osmanlı devletinin son dönemlerinde başlayan ve Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan sonra başlıca devlet politikalarından biri haline gelen demiryolu atılımı, günümüzde de çağa uygun şekilde yürütülmeye çalışılmaktadır. Demiryolu taşımacılığının yeni bir merhalesi olan yüksek hızlı tren kullanımını yaygınlaştırmak adına ülkemizde çeşitli altyapı çalışmaları ve tren projeleri hayata geçirilmektedir. Bu çalışmada Dünya Bankasının hazırladığı demiryolu reformu konulu rapora göre Türkiye'nin diğer Doğu Avrupa ülkelerine göre hangi noktada olduğu tespit edebilmek amacıyla kümeleme analizi metodu uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Türkiye'nin Doğu Avrupa ülkeleri arasında demiryolu reformu açısından iyi bir konumda olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, Türkiye, Yüksek Hızlı Tren, Demiryolu Reformu, Doğu Avrupa

## Abstract

Railway development in Turkey started at the end of the Ottoman era and accepted as the one of main development policies of government in early period of Republic of Turkey which is capable of developing up to date modern railway systems. In recent years, high speed train development can be shown as a new phase for railway systems and Turkey have been also investing in a significant amount of money in this area. In this study, Turkey is compared with East Europe countries by applying clustering analysis, in terms of railway reform level according to World Bank report. The results indicate that, Turkey is the one of the leading East Europe countries in the area of railway development.

**Keywords:** Railway, Turkey, High Speed Train, Railway Reform, East Europe

# TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİ DEMİR YOLU TAŞIMACILIĞININ KÜMELEME ANALİZİ YARDIMIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Selçuk ÖZCAN <sup>1</sup>, Ahmet Ziyaeddin BULUM <sup>2\*</sup>, Muharrem ÜNVER <sup>3</sup>, Tuğrul BAYRAKTAR <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: selcukozcan@karabuk.edu.tr

<sup>2\*</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: ahmetbulum@karabuk.edu.tr

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: muharremunver@karabuk.edu.tr

<sup>4</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, e-mail: tugrulbayraktar@karabuk.edu.tr

## Özet

Avrupa ülkelerinde yüksek bir oranda ve yüksek standartlarda kullanılan demir yolu taşımacılığının Türkiye'deki durumu da günden güne iyileşmektedir. Güvenli, düşük maliyetli ve çevreci bir taşımacılık yöntemi olan demir yolu taşımacılığı hem yolcu hem de yük taşımacılığı açısından önemlidir. Bu çalışmada Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerindeki demir yollarının sayısal verileri ile yolcu ve yük taşımacılığı verileri veri madenciliği yöntemlerinden kümeleme analizi yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca Türkiye'nin yeri ve durumunu daha iyi görebilmek adına nüfus, gelişmişlik düzeyi, vb. veriler de incelemeye dahil edilmiştir. Türkiye'nin çeşitli gruplandırmalarda nüfus yoğunluklu bir kümelemede öne çıkmasına rağmen, yolcu ve yük taşımacılığında geride kaldığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Demir yolu, taşımacılık, kümeleme analizi

## Abstract

The status of railway transportation in Turkey is improving day by day, which used at a high rate and high standards in European countries. Railway transportation, which is a safe, low cost and environment-friendly transportation method, is important both for passengers and freight transport. In this study, statistical data and passenger and freight transportation data in Turkey and European Union countries was analyzed by clustering analysis, one of data mining methods. Additionally, to get a better view of the location and status of Turkey, more data (population, level of development, etc.) were also included in the study. It was observed that, Turkey, despite the lead in the population intensive clustering, stays behind in the passenger and freight transport intensive clustering.

**Keywords:** Railway, transportation, clustering analysis

# URBAN RAIL TRANSPORTATION INVESTMENT ACTIVITIES' DEVELOPMENT PROCESS IN TURKEY: A COMPARATIVE STUDY

<sup>1</sup>Ibrahim ÇİL, <sup>2</sup>Muharrem ÜNVER

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ,Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

[icil@sakarya.edu.tr](mailto:icil@sakarya.edu.tr)

[muharremunver@karabuk.edu.tr](mailto:muharremunver@karabuk.edu.tr)

## Abstract

Nowadays, urban transportation systems; convenient, comfortable, reliable, high carrying capacity and high speed transportation facilities are preferred as public transportation vehicles. With all these features, it has an important position in terms of transportation within the city. Business and investment activities to be carried out in urban transportation systems should also be considered in this context. In this study, national and international examples were examined and the development process of business and investment activities carried out in this area was monitored; "Structural conditions, construction costs, revenues and expenses, use and suffering-drawn vehicles" made a comparative analysis in terms of various parameters such as, the business activities of the urban rail system in Turkey has some suggestions for further development by putting forward the process of the present situation and development.

Keywords: Urban Transportation, Railway Systems, Comparative Investment Processes.

## TÜRKİYE'DE KENTSEL RAYLI ULAŞIM YATIRIM FAALİYETLERİNİN GELİŞİM SÜRECİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

### Özet

Günümüzde kentsel raylı ulaşım sistemleri; rahat, konforlu, güvenilir, taşıma kapasitesi yüksek ve hızlı ulaşım imkânı sağlayan toplu taşıma araçları olarak tercih edilmektedir. Tüm bu özellikleriyle kent içi ulaşım açısından önemli bir konuma sahiptir. Kentsel raylı ulaşım sistemlerinde yapılacak İşletme ve yatırım faaliyetleri de bu önem kapsamında göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Yapılan çalışmada ulusal ve uluslararası örnekler incelenerek bu alanda yapılan işletme ve yatırım faaliyetlerinin gelişim süreci izlenmiş olup; "yapısal durum, yapılış maliyetleri, gelir-gider, kullanım ve çeken-çekilen araçlar" gibi çeşitli parametreler açısından karşılaştırmalı analizler yapılarak, Türkiye'deki kentsel raylı sistemlerin işletme faaliyetlerinin mevcut durumu ve gelişim süreci ortaya konularak daha da geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel Ulaşım, Raylı Sistemler, Karşılaştırmalı Yatırım Süreçleri.



# INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMER MATRIX COMPOSITES AS AN ALTERNATIVE MATERIAL FOR WEIGHT GAIN IN HIGH SPEED TRAINS

Ali Gungor<sup>1\*</sup> Alper Incesu<sup>2</sup> and Mustafa Yunus Askin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, e-mail: agungor@karabuk.edu.tr

## Abstract

In this study, carbon fiber reinforced epoxy matrix composites were produced as an alternative material to weight gain for high speed train outer panel coatings. Carbon prepreg were used to manufacture directional composite materials composed of 7 layers by vacuum bagging method. Curing process was done at three different pressures (16" = 0.53 atm, 20" = 0.67 atm and 27" = 0.9 atm) and two different curing duration (160 min and 200 min) at 170 ° C constant temperatures. Fabric orientation was 0° and 45° alternating layers in directional composites. Deflection measurement, tensile test, 3-point bend test and SEM analyses were performed to analyze the composite materials. Deflection in directional composites were increased with increasing curing pressure but were decreased with increasing curing duration. Also, it was observed that tensile strength, elastic modulus and bending strength of carbon fiber reinforced epoxy matrix composites increased with increasing curing duration and pressure. Finally, the scanning electron microscope images showed that the carbon fibers in the bundle were tightly bound to the epoxy matrix and showed brittle behavior during fracture.

**Keywords:** carbon fiber, composites, panel coatings, high speed train

## 1. Introduction

After a period of declining utilization, the use of rail passenger transport is now increasing and is predicted to continue this increase. This is due to the speed and convenience of rail in comparison to the increasing traffic densities and delays of personal transport. Rail track in the UK predicts demand will increase 30% between 2000 and 2010, and Dutch Railways foresees a 50% increase by the year 2010 [1]. While rail travel is commonly considered a 'clean' method of transportation compared to automobiles or aircraft, there are still many possible and necessary improvements to be investigated. A solution to reduce rail carriage mass and hence the use phase environmental impact is weight reduction of decorative, semi-structural, and structural rail body components. This weight reduction can be achieved by replacing the steel with polymer composite materials or aluminum.

Composite materials are now being used increasingly in new sectors especially in railways. The development of composite materials driven by the needs in the aircraft industry for a long time has been used for many different purposes in many new sectors [2]. Compared to metallic materials, composite materials are preferred in many industries today due to their high specific strength and high specific modulus of elasticity. Composite materials which do not have any corrosion problem except high specific strength and high specific modulus of elasticity according to metal materials are preferred in the production of main structure or secondary structures in structural systems with these aspects [3]. Another advantageous to use composite materials is weight gain of vehicles. Reduction in mass of a railway car body could lead to weight savings in the traction system, suspension, brakes and other subsystems. A reduced total weight of railway vehicles means less wear on the rails, wheels, bearings, which would require less maintenance [4]. Composites are routinely employed for the rail vehicle cabs and interior components such as seats and paneling. In both cases, composites are primarily specified because they can be used to produce cost-effective, lightweight components of relatively complex geometries.

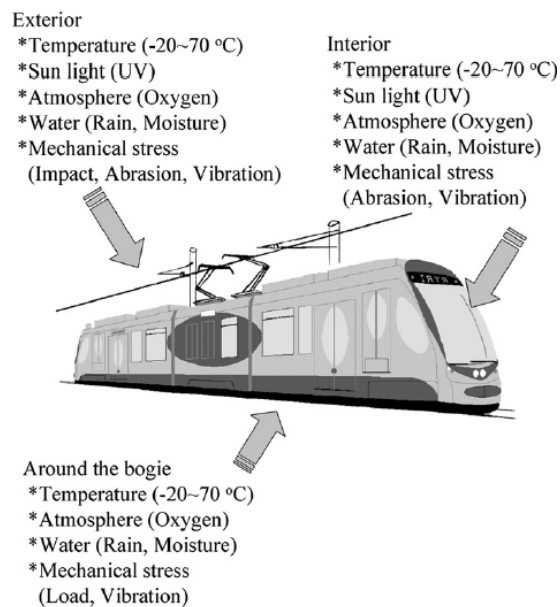


Figure 1. Environmental effects of train body [5]

Figure 1 shows all the environmental effects that the train may be exposed to during service conditions. Particularly in exterior applications, it is vital to use a material that can withstand the negative effects of temperature, water, sunlight and atmosphere, as well as the mechanical properties required.

In this study, carbon fiber reinforced epoxy matrix composites were produced as an alternative material to weight gain for high speed train outer panel coatings. The effects of pressure and time on the mechanical properties of the composite materials were investigated by changing the pressure and curing time. Deflection measurement, tensile test, 3-point bend test and SEM analyses were performed to analyses and express the mechanical properties of the composite materials.

## 2. Materials and Methods

HMF 934 coded carbon fiber prepregs from CYTEC Engineered Materials were used in the production of carbon fiber reinforced polymer matrix composite. Carbon fiber prepreg fabrics consisting of seven layers were cured under vacuum, heat and pressure. The carbon fabrics are arranged in two different ways with 0° (non-directional) and 0°- 45° (directional). The curing temperature of 170 °C, which is frequently used in the production of these materials, is selected and kept constant. Curing process was done at three different pressures (16" = 0.53 atm, 20" = 0.67 atm and 27" = 0.9 atm) and two different curing durations (160 min and 200 min).

In order to measure the deflection of the produced samples, a device consisting of two benzene support, clamping apparatus, 20 N loads, dial gauge and load suspension apparatus were used. Initially, the dimensions (width, height, thickness) of each sample were measured from multiple points with the help of the caliper. The amount of deflection generated by hanging a 20 N load to each sample was recorded by reading the dial gauge time.

Tensile tests were performed according to ASTM D3039 standard in MTS Landmark 100 kN dynamic test device in Dynamic Test Laboratory in Karabuk University Material Research and Development Center (MARGEM). test speed was 0.1 mm / min.

Three point bending tests were performed according to ASTM D790 standard in Zwick/Roell 600 kN electromechanical test device which is located in the static Test Laboratory of Karabuk University Material Research and Development Center (MARGEM). The test speed is 2 mm/min and the distance between the spans is 50 mm. Bending strength was calculated according to  $\sigma = 3FL / 2bd^2$  equation where F= applied force, L= total bending distance, b= width of the specimen, d= distance between the span.

The SEM study was carried out on the Carl-Zeiss Ultra Plus device at the SEM Laboratory in Karabuk University Material Research and Development Center (MARGEM).

## 3. Results and Discussions

Deflection measurement results of all specimens were given in Table 1. Depending on the increasing curing pressure, the amount of deflection of the materials shows an increase. It was observed that the non-directional composite showed a lower stretch than the other. Depending on the increasing curing time, the amount of deflection of the materials is decreased. This means that the resistance of the material increases and its flexibility decreases with increasing curing time.

Table 1. Deflection measurement results of all specimens.

Specimen Designation	Deflection (mm)
160 min 16" non-directional	2.2
200 min 16" non-directional	2.1
160 min 20" non-directional	2.3
200 min 20" non-directional	2.4
160 min 27" non-directional	2.4
200 min 27" non-directional	2.5
160 min 16" directional	2.4
200 min 16" directional	2.3
160 min 20" directional	2.7
200 min 20" directional	2.4
160 min 27" directional	3.3
200 min 27" directional	3.0

Tensile test results of non-directional composites were given in Table 2. Table 2 show that the cured composite at 200 min and 20" pressure has the lowest mechanical properties. As mechanical values increase with increasing pressure in general, it is thought that the fall here may be caused by defects in the material.

Table 2. Tensile test results of non-directional composites.

Specimen Designation	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Unit Shape Change (mm/mm)
160 min 16" non-directional	329.1	40.98	0.008
200 min 16" non-directional	331.3	41.32	0.009
160 min 20" non-directional	348.2	45.05	0.008
200 min 20" non-directional	262.7	32.83	0.009
160 min 27" non-directional	350.6	46.64	0.007
200 min 27" non-directional	391.4	55.05	0.007

Tensile test results of directional composites were given in Table 3. In Table 3, the tensile strengths and elastic modulus of the directional composites and the modulus of elasticity of the directional

composites increase with the increasing pressure and curing time. However, the 200 min and 16" pressure cured composite showed an opposite behavior compared to the others. This composite has low tensile strength and elastic modulus, with higher unit deformation, is thought to be caused by defects within the composite.

Table 3. Tensile test results of directional composites.

Specimen Designation	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Unit Shape Change (mm/mm)
160 min 16" directional	319.4	36.78	0.009
200 min 16" directional	236.0	28.14	0.010
160 min 20" directional	323.6	37.75	0.009
200 min 20" directional	325.8	38.97	0.009
160 min 27" directional	329.9	39.98	0.009
200 min 27" directional	336.5	40.34	0.009

When tensile test results of the directional and non-directional composites were compared 200 min 27" non-directional composite has the highest mechanical performance. As a result, it can be said that the use of high pressure and temperature in the carbon fiber reinforced polymer matrix composite production and the non-directional orientation provide better mechanical properties of the composite obtained.

Bending test results of all directional and non-directional composites were given in Table 4. According to these results, an increase in the three point bending strength values is observed as the both curing pressure and curing temperature increase. When the bending strength values of directional and non-directional composites were compared, it was observed that the bending strengths of non-directional composites were higher than the directional composites. The best bending strength was found to have a directional sample cured at 200 min 27".

Table 4. Bending test results of all directional and nondirectional composites.

Specimen Designation	Bending Strength (MPa)	Applied Force (N)	Total Bending Distance (mm)
160 min 16" non-directional	596.19	325.96	5.52
200 min 16" non-directional	553.37	330.20	5.64
160 min 20" non-directional	602.38	332.68	5.97
200 min 20" non-directional	736.06	324.08	5.52

160 min 27" non-directional	771.49	348.08	6.69
200 min 27" non-directional	914.00	364.03	6.90
160 min 16" directional	484.15	277.03	5.90
200 min 16" directional	499.37	234.89	4.90
160 min 20" directional	621.35	279.27	5.96
200 min 20" directional	585.20	267.00	5.16
160 min 27" directional	686.66	294.34	6.06
200 min 27" directional	740.17	298.44	6.16

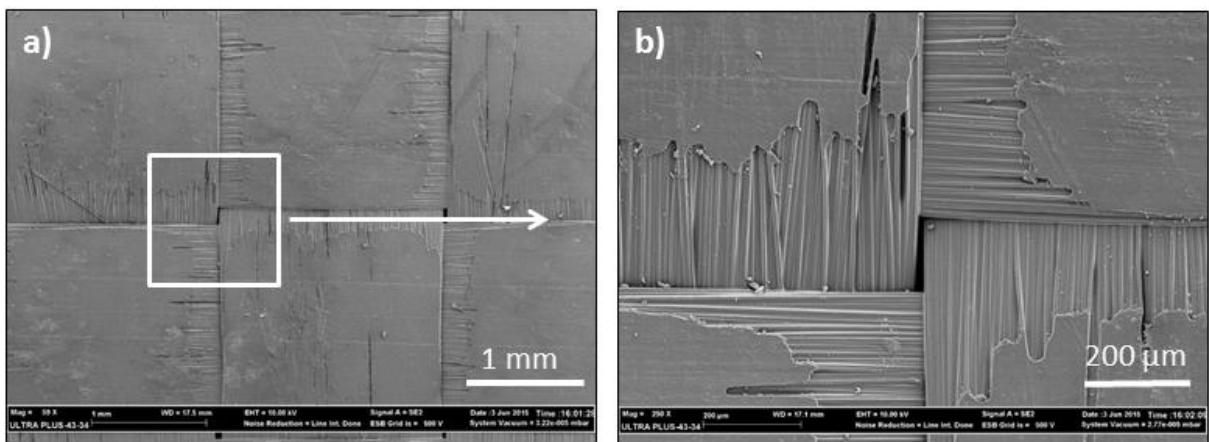


Figure 2. Surface view of composite material at different magnifications

Figure 2 shows the surface view of composite material at different magnifications. In Figure 2a and Figure 2b, there were gaps in the mesh corners during weaving, and the epoxy matrix was not fully penetrated between these corners and carbon fiber bundles.

Figure 3 shows the fracture surface view after tensile test of composite material at different magnifications. Figure 2a shows the carbon fiber in the carbon bundles showing brittle fracture and the interface in which the carbon fibers in the bundle are well connected with the matrix. Finally, it was determined that the carbon fibers were approximately 6 μm in diameter from the image given in Figure 3b.

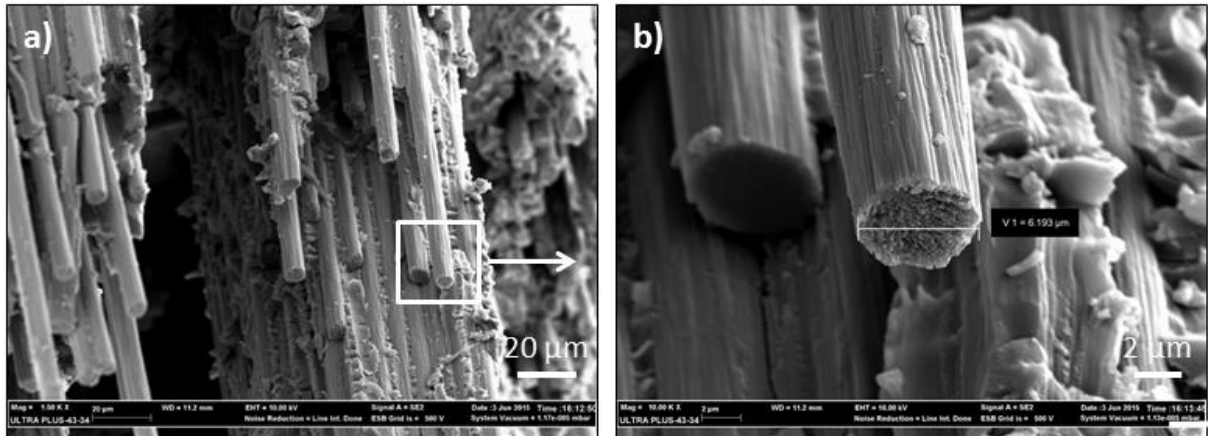


Figure 3. Fracture surface view of composite material at different magnifications

#### 4. Conclusion

Carbon fiber reinforced epoxy matrix composites were produced as an alternative material to weight gain for high speed train outer panel coatings. The effects of pressure and time on the mechanical properties of the composite materials were investigated by changing the pressure and curing time.

- In fiber-reinforced composite materials, the mechanical properties of the fibers and the matrix forming the composite material, the fiber-matrix ratio, the orientation of the fibers and the direction of the applied force, the production method directly affect the mechanical properties of the final composite material.
- With increasing curing pressure, the amount of deflection is increased in the non-directional and directional composites with decreasing curing pressure. In addition, it was determined that non-directional composites showed a lower stretch compared to directional composites.
- It has been seen that tensile strength and elastic modulus of epoxy matrix carbon fiber reinforced composite materials increased with increasing curing time and increasing pressure from tensile test results. When the mechanical properties of directional and non-directional composites were compared, it was determined that non-directional composites had higher tensile strength and elastic modulus.
- When the bending test results were examined, it was seen that the bending strengths of non-directional and directional composites increased with increasing pressure, and the bending strengths of non-directional composites were higher than the other. This supports the result obtained in the measurement of deflection, shows that the flexural strength and the flexural properties have decreased.
- When the effect of fabric orientation on the mechanical properties was examined, it was determined that the non-directional composite material group had higher tensile strength, elastic modulus and lower elasticity than the other group.
- Finally, it was observed that the carbon fibers in the bundle were connected tightly with the epoxy matrix and showed brittle behavior during the fracture.

## Acknowledgement

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Karabuk University. Project Number: KBU-BAP-14/2-YL-035.

## References

- [1] Castella PS, Blanc I, Ferrer MG, Ecabert B, Wakeman M, Manson J-A, et al. Integrating life cycle costs and environmental impacts of composite rail car-bodies for a Korean train. *Int J Life Cycle Assess* 2009;14:429–442.
- [2] Aricasoy O. Kompozit Sektörü Raporu. *Istanb Ticaret Odası* *Istanb* 2006.
- [3] DURGUN İ, VATANSEVER O. VAKUM TORBALAMA YÖNTEMİ İLE KARBON FİBER PARÇA ÜRETİMİ n.d.
- [4] Kim J-S, Lee S-J, Shin K-B. Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody. *Compos Struct* 2007;78:468–476.
- [5] Ito M, Nagai K. Degradation issues of polymer materials used in railway field. *Polym Degrad Stab* 2008;93:1723–1735.



# Alüminyum Alaşımli Malzemenin Endüstriyel Uygulama Alanları

Ahmet Taner SARIHAN<sup>a,\*</sup> and Emel ŞAVUR<sup>b</sup>

<sup>a,\*</sup> TÜVASAŞ, Sakarya, TÜRKİYE, e-mail:tsarihan@tuvasas.com.tr,

<sup>b</sup> TÜVASAŞ, Sakarya, TÜRKİYE, e-mail:esavur@tuvasas.com.tr,

## Özet

Bu bildiri, Alüminyum alaşımli malzemenin endüstriyel uygulama alanları ve demiryolu sektöründe kullanım alanları hakkında genel bilgi içerir. Dünya ekonomisinde yönelim olan geri dönüşüm konusu, atmosferik korozyona dayanım ve enerji sarfiyatına dönük ürün hafifliğine yönelik hükümetlerin yaptırım ve talepleri, alüminyum malzeme çeşitlerinin kullanım alanını arttırmaktadır. Bunun yanında yeni gelişen üretim teknolojileri (FSW, otomatik/robotik kaynak sistemleri, vb.) ile birlikte alüminyum alaşımli konstrüksiyonların üretim hızının artması alüminyumu havacılık, otomotiv, demiryolu ve deniz taşımacılığı sektörlerinde tercih edilir kılmaktadır. Bu sunumda yurtdışında yer alan gelişmeler ışığında ülkemizdeki yatırımlara yer verilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum, Demiryolu, Taşımacılık, Yerli Yatırım

## Abstract

This paper contains general information about the industrial application areas of Aluminum Alloy Material and its usage in the railway sector. Governmental sanctions and demands for recycling, atmospheric corrosion resistance and energy consumption towards the light of the world economy are increasing the usage area of aluminum materials. Along with new production technologies (FSW, automatic/robotic weld systems, etc.), increasing production speed of aluminum alloy constructions makes it preferred in aviation, automotive, railway and maritime sectors. In this presentation, the investments in our country will be included in the developments in foreign countries.

**Keywords:** Aluminum, Railway, Transportation, Local Investment

# DEMİRYOLU ARAÇLARINDA IRIS BELGELENDİRMESİ

<sup>a,\*</sup> Emel ŞAVUR and Ahmet Taner SARIHAN<sup>b</sup>

<sup>a,\*</sup>TÜVASAŞ, Sakarya, TÜRKİYE, e-mail:tsarihan@tuvasas.com.tr

<sup>b</sup> TÜVASAŞ, Sakarya, TÜRKİYE, e-mail:esavur@tuvasas.com.tr,

## Özet

Bu bildiri, IRIS Belgelendirmesinin içeriği ve amacı hakkında genel bilgileri içerir. IRIS, demiryollarına özel bir belgedir ve demiryolu sektöründe kaliteyi, rekabeti ve teknoloji gelişimini arttırmaya yöneliktir. Dünyada ve Türkiye’de IRIS Belgesine sahip firmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır ve bu belgeye sahip firmalar sektörde bir adım öne geçmektedir. Bu sunumda IRIS Belgesinin firmalara, Türkiye’ye ve pazardaki rakip ülkelere sağladığı faydalar ele alınacaktır. Ayrıca bir demiryolu aracı üreticisi olan TÜVASAŞ’ın belgelendirme süreci ele alınacaktır.

**Anahtar kelimeler:** IRIS, Demiryolu, Belgelendirme

## Abstract

This paper contains general information about content and aim of IRIS Certify. IRIS, a specific certificate to railway and it serves to increase quality, competition and technological development in railway market. The number of companies that have IRIS Certify is increasing day by day in the world and in Turkey and the companies that have this certificate are keep one step ahead in the sector.

In this presentation, the benefits of IRIS Certify to companies, Turkey and competitor countries in the market. Also the certify phase of TÜVASAŞ, as a railway vehicle designer and producer, will be handled.

**Keywords:** IRIS, Railway, Certify

# TÜRKİYE DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN HAMMADDE VE NİHAİ ÜRÜN GRUPLARINA YÖNELİK İNCELENMESİ VE ÜRETİM METOTLARININ ANALİZİ

Atilla Gökkaya<sup>1\*</sup> and Muharrem Düğenci<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, Atilla.Goekkaya@sms-meer.com

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, mdugenci@karabuk.edu.tr

## Özet

Dünyanın en büyük sekizinci ham çelik üreticisi olmasına rağmen Türkiye, hammadde bakımından ithalata bağımlıdır. Bu durum, sektörün dış faktörlerden etkilenmesine ve küresel pazarlardaki dalgalanmalara karşı riskli bir konumda olmasına sebep olmaktadır. Türkiye özellikle yarı mamul ürünlerde önemli bir ithalatçı durumundadır. Yapılan yatırımlara karşın, dünya pazarlarındaki maliyet avantajlı ürünler sebebiyle yurtiçi üretim istenilen seviyeye ulaşamamakta, bu da kapasite kullanım oranlarını düşük seviyede tutmaktadır.

Çeşitli sektörlerdeki gelişmeler ve altyapı projeleri ve demiryolu yatırımları ile artan yurtiçi çelik talebi ve coğrafi konum itibarıyla önemli ihrac pazarlarına yakın bulunmak gibi avantajlardan gerekli ölçüde faydalanabilmek için yurtiçi hammadde potansiyelinin geliştirilerek ithalata bağımlılığın azaltılması ve üretim maliyetlerinin küresel rakiplerle rekabet edilebilir düzeye çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca, devlet koruması altındaki rakipler karşısındaki dezavantajlı konumu elimine edecek ve dumpingli ürünlere yönelik bir koruma sağlayacak teşvik ve uygulamaların ortaya konması da gerekmektedir.

Türkiye demir-çelik sektörü ağırlıklı olarak EAO üretimine dayanmaktadır. Bu durum bir takım kalite problemlerine yol açmaktadır. Ancak son yıllarda özellikle yassı çelik üretimine yönelik yatırımların artırılarak katma değeri yüksek ürün elde edilmesine yönelik önemli çabaların olduğu görülmektedir. Türkiye, teknolojik donanım ve kalifiye iş gücü sayesinde uluslararası rekabet gücünü arttırmaya ve sektördeki konumunu güçlendirmeye çalışmaktadır. Bu durum stratejik yatırımların ve teknolojik gelişmelerin ön planda tutulması ile mümkün olabilmektedir

**Anahtar kelimeler:** demir-çelik sektörü, hammadde, entegre sistemler, elektrik ark ocakları (EAO)

## Abstract

Despite being the world's eighth largest raw steel producer, Turkey is dependent on the imports of raw materials. This means that the sector can be easily affected by the external factors and fluctuations in the global markets. Turkey is also an importer of semi-finished products. Despite the investments,

domestic production cannot reach the desired level because of the cost advantage products in world markets.

In order to benefit from the increase in domestic demand for steel due to the developments in some sectors, infrastructural projects and railway investments and being close to the major export markets, it is necessary to reduce the import dependency by improving the domestic raw material potential and to reduce production costs to competitiveness with global competitors. It is also necessary to establish incentives and practices that can mitigate the disadvantaged positions against the state-protected competitors and provide protection against damped products.

Turkey iron-steel industry is mainly based on EAF production. This leads to some quality problems. In recent years, significant efforts have been made to increase the investments in flat steel production and to obtain high value-added products. Turkey makes an endeavor to increase international competitiveness and strengthen its position based on its technological equipment and qualified labor force

**Keywords:** iron-steel industry, raw materials, integrated systems, electric arc furnace (EAF)

## 1. GİRİŞ

Dünya demir çelik sektörü son yıllarda özellikle Çin gibi devlet destekli üreticiler sayesinde küresel çapta yaşanan arz fazlasına ve fiyat düşüşlerine sahne olmaktadır. Bunun yanında devletlerin iç piyasalarını korumaya yönelik önlemlerini arttırmaları (ithal ürünlere getirilen vergiler gibi), çevreye uyum mevzuatlarına yönelik yaptırımlar ve maliyetler, dumpingli ürünlerin sebep olduğu haksız fiyat rekabetleri gibi çeşitli unsurlar da küresel pazarlardaki ortamı kızıştırmakta ve yoğun bir rekabete sebep olmaktadır. Buna karşılık, otomotiv endüstrisinde yaşanan gelişmeler, Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da yeniden inşa faaliyetlerindeki yükselişler, Avrupa'da yaşanan konut emlak yatırımlarındaki artışlar ve yeni ihraç pazarlarının doğması gibi çeşitli etkenler dünya çelik talebini olumlu yönde etkilemektedir. Ancak bu talep ve tüketim seviyesinin kapasite ve üretim seviyesinin altında kalması küresel çapta bir arz fazlasına sebep olmaktadır. Özellikle küresel kapasitenin %48,7'sine sahip olan Çin bu alanda baskın bir oyuncu olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye'de, sanayileşme 1960'lı yıllardan itibaren önce korumacı politikalarla daha sonra ise ihracata yönelik politikalar ile ivme kazanmış durumdadır. Bu süreçte demir-çelik sanayi, her zaman ülkemizdeki bu sanayileşme sürecinin en önemli taşlarından biri olmuştur. Günümüzde de, Türkiye, sahip olduğu demir cevherleri sayesinde küresel demir-çelik sektöründe önemli bir oyuncu konumundadır. Türkiye 2016 yılında 33,2 milyon ton oranında gerçekleştirdiği ham çelik üretimi ile dünya piyasasındaki ilk 10 üretici arasındaki yerini korumaktadır. 2017 yılında ise Türkiye % 13,2 oranında bir artışla 37,5 milyon ton ham çelik üreterek tarihinin en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Aynı zamanda 2014 yılında gerçekleştirdiği 30,74 milyon ton tüketim miktarı ile küresel pazarda önemli bir tüketici olmayı da sürdürmektedir. Tüm bunların yanında, Türkiye, sahip olduğu demir cevherinin, sektördeki ihtiyacı karşılamamasından dolayı, ana girdi açısından dışa bağımlı durumdadır. Bu dışa bağımlılık, sektörün dış şoklara karşı duyarlılığını arttırmakta ve sektörü daha riskli duruma getirmektedir.

## 2. KÜRESEL DEMİR-ÇELİK ENDÜSTRİSİNE GENEL BİR BAKIŞ

Dünya demir-çelik üretiminin son 20 yıllık seyri incelendiğinde 2008-2009 kriz yılları hariç, üretimde istikrarlı bir artış olduğu görülmektedir. 2008 yılında yaşanan küresel kriz pek çok sektörde olduğu gibi çelik sektöründe de daralmaya neden olmuştur. Pazarda yaşanan bu sıkıntılara rağmen, çelik üretim kapasitesi artmaya devam etmiştir [10]. Krizin etkisinin geçmesi ile birlikte 2010 yılında küresel çelik üretimi tüm zamanların en büyük büyüme oranı (%1.16) ile tekrar artış göstermeye başlamıştır. Küresel çelik üretimdeki bu artışta, dünya çelik endüstrisinin büyük bir kısmını elinde tutan Çin'in önemli katkısı bulunmaktadır. Çin % 60'lık bir oranla küresel çelik üretiminde birinci sırada yer almaktadır. Diğer ilk 10 ülke ise şu şekilde sıralanmaktadır: Japonya %8, ABD ve Hindistan %6, Güney Kore ve Rusya %5, Almanya %3, Türkiye, Brezilya ve Tayvan %2. Çin'in yanı sıra Güney Kore, Tayvan, Hindistan ve Türkiye küresel çelik üretiminde konumlarını gittikçe güçlendirmektedirler [1].

Dünya çelik üretim kapasitesi son on yılda önemli oranda artış göstermiştir. 2014, dünya çelik talebi (1.65 milyar ton) ile üretim kapasitesi (2.24 milyar ton) arasında önemli bir fark meydana gelmiştir. Bu farkın Çin'in artan kapasitesi ile daha da derinleşmesi beklenmektedir [9]. Asya ülkeleri, 2000-2012 döneminde, dünya çelik üretimi kapasitesinde meydana gelen 1 milyar tonluk artışın, 887 milyon tonundan sorumludur. Bu orandaki en büyük pay sahibi 771 milyon ton kapasite artışı ile Çin olmuştur. Dolayısıyla Çin, hem Asya hem de küresel çelik üretim kapasite artışında en belirleyici etken konumundadır [13].

Dünya çapında çelik tüketimi artan bir eğilim izlemektedir. Bu eğilim, daha çok az gelişmiş ülkelerde gözlenirken, gelişmiş ülkelerin tüketim oranları görece daha az olmaktadır [1]. Bunun yanında özellikle Almanya ve İngiltere'de artan konut emlak yatırımlarının ve düşük faiz oranlarının çelik talebini arttırması beklenmektedir. Ayrıca otomotiv endüstrisindeki artan büyüme oranlarının ve enerji maliyetlerinde yaşanan düşüşlerin de Avrupa'da çelik talebini tetiklemesi ön görülmektedir. Tüm bunların neticesinde Avrupa çelik tüketiminin 2020 yılında %1,2 büyüme oranı ile 163 milyon tona ulaşması tahmin edilmektedir [24]. Aynı şekilde, ABD'de inşaat ve otomotive sektörlerindeki gelişmeler 2014 yılında çelik talebi arttırmıştır. Ancak düşük petrol fiyatlarının petrol endüstrisinde daha az sermaye yatırımı yaratmasından dolayı çelik boru talebinde azalış meydana gelmiştir. 2014 yılındaki talep artışında en önemli etken olan Çin'in ise ileriki yıllarda çelik talebini %0,5 oranında azaltması beklenmektedir. Çin'de çelik talebinin %30'unu elinde tutan iç emlak piyasasında yaşanan daralmaların, bu talep azalışının en önemli nedenlerinden biri olduğu belirtilmektedir [24].

Küresel çelik fiyatları, bölgesel olarak farklılıklar göstermelerinin yanı sıra, şeffaf olmayan ve dalgalanmalara karşı korunmasız bir durumdadırlar. Küresel ölçekte yaşanan gelişmeler, çelik fiyatlarını kolayca etkilemekte ve en küçük risklerden bile kolayca etkilenebilmelerine sebep olmaktadır. Dolayısıyla, aşırı kapasitesinin yanında yaşanan arz-talep uyumsuzlukları çelik fiyatları üzerinde önemli dalgalanmalara yol açmaktadır. Bunun yanında Çin'in çelik ticaretinde giderek artan rolü, Rusya ve Ukrayna başta olmak üzere bazı Doğu Avrupa ülkelerinin stoklarını arttırmaları ve inşaat sektöründe yaşanan gelişmeler de çelik fiyatlarındaki dalgalanmaların artmasına neden olmaktadır [6]. Demir-çelik endüstrisinde hammadde fiyatları 2010 yılından itibaren bir düşüş eğilimi göstermektedir. Zayıflayan çelik talebinin 2016 yılında küçük bir oranda iyileşme göstereceği ve hammadde fiyatlarının önümüzdeki 1-2 yıl daha düşük kalmaya devam edeceği beklenmektedir. Çelik üretimindeki büyüme yavaşlamış olmasına rağmen, zayıflayan çelik talebi ve düşen hammadde fiyatları, çelik fiyatları üzerindeki baskıyı hafifletmektedir. Küresel çelik fiyatları 2011 yılından itibaren aşağı yönde bir seyir izlemektedir [11].

### **3. TÜRKİYE DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN ANALİZİ**

#### **3.1 Türkiye Demir-Çelik Sektörü Üretim ve Tüketim Verileri**

Küresel çapta yaşanan teknolojik ilerlemeler, gelişmiş ülkeleri çelik üretim miktarını arttırmak yerine katma değeri yüksek çelik (yassı, vasıflı, paslanmaz, kaplanmış vs.) üretimine doğru teşvik etmektedir. Fakat Türkiye henüz tam gelişmişlik seviyesine ulaşmadığı için, çelik üretim miktarını arttırmaya

devam etmektedir. Bu durum üretim seviyesinden ziyade üretim kalitesini vurgulamak açısından önem arz etmektedir. Türkiye’de 2010 yılı verilerine bakıldığında ana metal sanayinin 59,4 milyar liralık üretim değeri ile 4,9 milyar liralık katma değer oluşturduğu görülmektedir [2]. Türkiye 2014 yılında toplam 34 milyon ton ham çelik üretimi gerçekleştirmiştir. 2015 yılında ise üretim miktarı %7,4 azalarak 31,5 milyon tona gerilemiştir. Üretim, girdi olarak hurdanın kullanıldığı elektrikli ark ocaklarında %13,8 düşüyle 20,5 milyon ton seviyesine gerilerken, demir cevheri ile kömür kullanılan entegre tesislerde %7.3 artarak 11.03 milyon tona ulaşmıştır. Üretim seviyesindeki bu gerileme, hammadde fiyatlarının düşmesi sebebi ile hammadde ve nihai ürün arasındaki fiyat farkının azalması, Türkiye’nin ithalatının artması, girdi maliyetlerinin rekabet gücü üzerindeki baskının artması ve uluslararası pazarlardaki agresif rekabet ortamı gibi, firmaların kar seviyelerini ve dolayısıyla da üretim miktarlarını azaltıcı sebeplere dayanmaktadır [20].

Nihai ürün açısından bakıldığında ise, 2015 yılında toplam 23.231 milyon ton kütük, 8.286 milyon ton slab elde edilmiştir. Bir önceki yıla göre değişimlerin sırasıyla, negatif yönde %5,6 ve %12 olduğu görülmektedir. Kütük ve slab üretiminde yaşanan bu düşüslere rağmen, ithalatın da etkisiyle nihai mamul üretim ve tüketiminde artış yaşanmaktadır. Örneğin 2013 yılında 34.654 milyon ton ham çelik üretimi gerçekleşirken, nihai mamul üretimi bir önceki yıla göre 2,1 milyon ton artışla 36,4 milyon tona ulaşmıştır. Bu miktarın %73’ünü uzun mamuller, %28’ini ise yassı mamuller oluşturmaktadır [14].

Tablo 3.1. Türkiye’de Üretimin Yöntemlere ve Ürünlere Göre Dağılımı

Türkiye'nin Ham Çelik Üretimi (2010-2015) ('000 ton)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	% değişim (15/14)
KÜTÜK	21.827	24.400	27.054	26.294	24.612	23.231	-5,6
SLAB	7.316	9.707	8.831	8.360	9.423	8.286	-12,1
<b>TOPLAM</b>	<b>29.143</b>	<b>34.107</b>	<b>35.885</b>	<b>34.654</b>	<b>34.035</b>	<b>31.517</b>	<b>-7,4</b>
EO	20.905	25.275	26.560	24.723	23.752	20.482	-13,8
BOF	8.238	8.832	9.325	9.931	10.283	11.035	7,3

Kaynak: TÇÜD

Sektörde gerçekleşen mamul tüketimi değerlendirildiğinde, 2012 yılında 28,5 milyon ton, 2013 yılında 31,3 milyon ton mamul tüketimi gerçekleşmiştir. 2013 yılındaki bu tüketimin %53’ü uzun ürünler, %47’si ise yassı ürünlerden oluşmaktadır [14]. Türkiye’de tüketilen çeliğin büyük oranı inşaat sektörüne aittir. Bunun yanında, otomotiv, makine ekipman, petrol ve doğalgaz sektörleri de önemli çelik tüketici sektörler arasındadır. 2014 yılında ise iç talepte yaşanan daralma sebebiyle Türkiye nihai mamul tüketimi %1,9 oranında azalarak 31 milyon seviyesine gerilemiştir. Bu gerilemenin en önemli etkenlerinden biri, 2014 yılı içerisinde gerçekleşen inşaat sektöründeki talep miktarındaki düşüştür. Neticede, uzun ürün tüketimi % 3,3 oranında gerilerken, yassı ürün tüketimi ise % 0,2 oranında gerilemiştir [13].

### 3.2. Türkiye’de Demir-Çelik Sektörünün Ticareti

Özellikle Çin firmalarının etkin rekabeti neticesinde, firmaların uluslararası pazar paylarını korumaya yönelik politikaları fiyatlar üzerinde baskılayıcı bir etki oluşturmaktadır. Bu durum kar marjları üzerinde de olumsuz bir etki doğurmaktadır. Toplam ihracatın yaklaşık %10’unun demir-çelik sektörüne dayandığı Türkiye de, sektördeki bu olumsuz rekabet koşullarından etkilenmektedir. 2014 yılında sektördeki toplam ihracat bir önceki yıla göre %5 azalarak 18 milyon ton seviyesine gerilemiştir. Değer olarak ise, ihracat %4 oranında bir düşüyle 15,2 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir [13].

Türkiye demir çelik ihracatı bölge bazlı incelendiğinde, Ortadoğu ve Körfez ülkeleri %34 oranı ile en yüksek paya sahiptir. Onu %22 ve %10 oranları ile AB ve Kuzey Afrika ülkeleri izlemektedir [3].

Özellikle Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkelerinde süregiden siyasi ve sosyal istikrarsızlık, bu bölgelere gerçekleştirilen ihracatı olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer yandan, kaliteli ürün üretimine yönelik yatırımlar ise kalite beklentisi olan ülkelere gerçekleştirilen ihracat açısından olumlu bir etki yaratmaktadır. Fakat özellikle AB ülkeleri açısından geçerli olan bu durum hala yeterli bir seviyeye ulaşmış durumda değildir. Çünkü bölge içerisinde çelik ihracatında vergi yükü söz konusu olmamasına rağmen, AB pazarında toplam demir çelik ithalatı içinde Türkiye'nin payı %4 seviyesindedir. Bu oranın artması Türkiye'nin kaliteli ve nitelikli çelik ürünlerine yapacağı yatırımların artmasına bağlıdır [13]. Bunların yanı sıra, Türkiye esnek ihracat yapısı sayesinde, piyasa şartlarına göre hareket edebilmektedir. Örneğin son yıllarda yaşanan gelişmeler Uzak Doğu ve Güney Amerika ülkelerinin de hedef pazarlar arasına sokulması ile sonuçlanmıştır. Bu sektördeki ihracat gücü önemli oranda ürün çeşitlendirmesine bağlı olduğundan, giderek artmakta olan yassı, vasıflı ve yapısal çelik ürünlerine yönelik kapasite yatırımları Türkiye'nin ihracat gücünü artırıcı önemli atılımlardır [3].

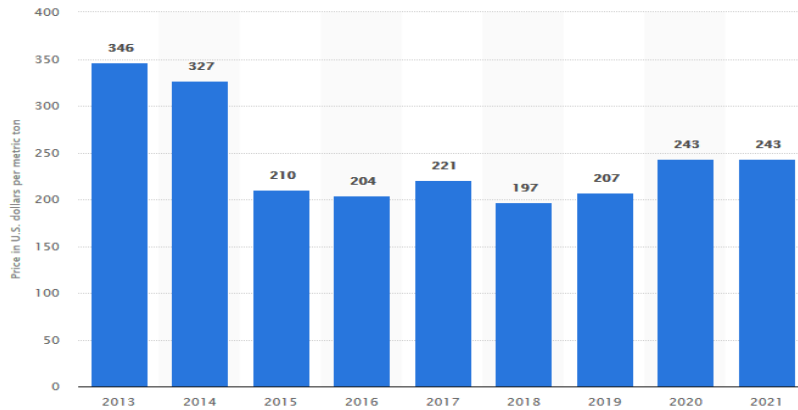
Türkiye katma değeri yüksek ürün üretiminde yeterli kapasiteye sahip olmadığından bu ürünlere olan ihtiyaç ithalat yolu ile karşılanmakta ve neticede sektör açısından önemli bir maliyet unsuru oluşturmaktadır. Bunun yanında, uluslararası gelişmeler neticesinde ithal ara ürünleri fiyatlarında yaşanan düşüşler de sektördeki ithalat oranının artmasına sebep olmaktadır. Türkiye 2013 yılında demir-çelik sektöründe 12,8 milyar dolar değerinde 14,9 milyon tonluk ithalat gerçekleştirmiştir. 2014 yılında ise imalat sektöründe yaşanan daralma sebebiyle 12 milyar dolar değerinde 13,8 milyon tonluk ithalat gerçekleştirilmiştir [13]. Sektörün toplam ithalatında en büyük pay yassı ürünlere aittir. Küresel pazarlarda kütük ve slab fiyatlarının düşmesi, bu ürünlere yönelik ithalat oranının da yüksek olmasına sebep olmaktadır. Türkiye'de yassı ürün üretimine yönelik kapasite yatırımlarının bu ürün grubunun ithalattaki payını düşürmesi beklenmektedir. Ancak çeşitli yapısal problemler (ithalat baskısı, yanlış kullanılan Dahilde İşleme Rejimi uygulamaları, çelik üreticilerinin yerli üreticilere geçme konusundaki isteksizlikleri vb.) bu düşüşü yavaşlatmaktadır [3].

## 4. TÜRKİYE DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE ÜRETİM METOTLARININ ANALİZİ

### 4.1. Hammadde Analizi

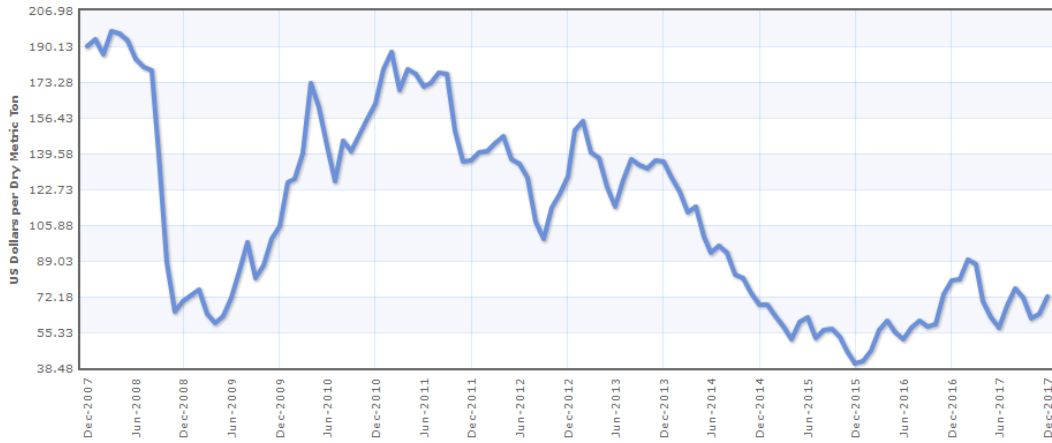
Türkiye'de demir-çelik sektöründe, entegre tesislerde gerçekleşen üretim için kullanılan hurda miktarının %71'i ithalat yolu ile karşılanmaktadır. Bu yüksek oran, sektörün küresel hurda fiyatlarına olan bağımlılığını göstermektedir.

Tablo 4.1. Dünya Çapında Çelik Hurda Fiyatları (metrik ton başına, ABD doları)



Küresel ölçekte hurda fiyatlarının 2018 yılında bir düşüş göstermesi, ardından tekrar yükselişe geçmesi beklenmektedir. Ancak bu yükselişin 2013-2014 yıllarında yaşanan fiyat artışlarına kıyasla oldukça düşük seviyede olması tahmin edilmektedir. Elektrik ark ocaklarında gerçekleşen üretimde ise hammadde olarak kullanılan demir cevherinin %59'u ithalat aracılığı ile elde edilmektedir. Yani benzer şekilde, küresel demir cevheri fiyatları da Türkiye'deki demir-çelik sanayini etkileyen önemli unsurlardan biri konumundadır. Küresel pazardaki demir cevherinin fiyatlarında 2008 yılında dramatik seviyede bir düşüş ve ardından gelen dalgalanmalı bir yükseliş trendi göze çarpmaktadır. 2011 yılında tekrar düşüşe geçen fiyatlar, 2012 yılında göreceli bir yükseliş gösterse de 2013 yılından itibaren tekrar düşüşe geçmiştir. Benzer şekilde 2016 yılında da kısmi bir yükseliş gözlenmektedir ancak bu eğilim Ocak 2017'de düşüşe geçerek, daha sonra dalgalı bir seviyede devam etmektedir. Demir cevheri fiyatlarındaki bu düşüşün en önemli sebebi küresel çapta yaşanan aşırı demir cevheri arzıdır. Bu durumun fiyatları, önümüzdeki yıllarda da aşağı seviyelerde tutmaya devam etmesi beklenmektedir. Bu da, çelik üretiminde demir cevheri ithalatına bağımlı ülkelerde hammadde fiyatlarını düşürerek, sektör açısından bir avantaj yaratmaktadır.

Tablo 4.2. Demir Cevheri Aylık Fiyatları (ABD doları, metrik ton)



Türkiye demir-çelik sanayisi, dünyada ticarete konu olan koklaşabilir taşkömürünün % 2'sini ithal etmektedir. Türkiye'nin 2002-2016 ithalat verilerine göre, kömür ithalat miktarında % 268'lik bir artış yaşanmıştır. Bu ithalattaki en büyük pay sahibi ülkeler Rusya, Kolombiya, Güney Afrika, Avustralya ve ABD'dir [18]. 2011 yılından itibaren küresel pazarlarda kömür fiyatları düşüşe geçmeye başlamıştır. Bu eğilimin en önemli sebebi kok kömürü üretimindeki artış olarak değerlendirilmektedir. Ancak bazı yüksek maliyetli madenlerin kapatılmaya başlanmasıyla bu fiyatların ileride dengeleneceği öngörülmektedir. 2011-2015 döneminde küresel çapta yaşanan fiyat düşüşlerinin, yurtiçi koklaşabilir kömür fiyatlarına da yansıdığı görülmektedir. Ancak son yıllarda fiyatlardaki hızlı artış ve kömür tedarikinde yaşanan sıkıntılar, sektördeki ortalama satış fiyatlarını önemli oranda arttırmıştır [18].

#### 4.2. Nihai Ürün Analizi

Türkiye'deki demir çelik sektörü üretim neticesinde açığa çıkan nihai ürünler açısından incelendiğinde uzun ve yassı ürünler arasındaki kritik fark dikkat çekmektedir. 2000-2016 yılları arasında, uzun ürünlerin üretimi toplamda %134 oranında bir artış, yassı ürünlerin üretimi ise % 246 oranında bir artış göstermiştir. 2016 yılında uzun ürün üretimi % 2 oranında düşüşle, 26,01 milyon tona gerilerken, yassı mamul üretimi % 4,6 oranında artışla 10.87 milyon tona ulaşmıştır. Aynı yıl içerisinde nihai mamul üretiminde uzun ürünler % 70,5 paya sahipken, uzun ürünlerin payı % 29,5 olmuştur [20].



Tablo 4.3 Türkiye'nin Nihai Mamul Üretimi (bin ton)

	1990	2000	2005	2010	2015	2016	%değ (16/15)	%pay (2016)
Uzun	6.294	11.122	15.825	19.671	26.550	26.012	-2,0	70,5
Yassı	2.294	3.145	3.768	6.629	10.389	10.869	4,6	29,5
<b>Toplam</b>	<b>8.588</b>	<b>14.267</b>	<b>19.593</b>	<b>26.300</b>	<b>36.939</b>	<b>36.882</b>	<b>-0,2</b>	<b>100,0</b>

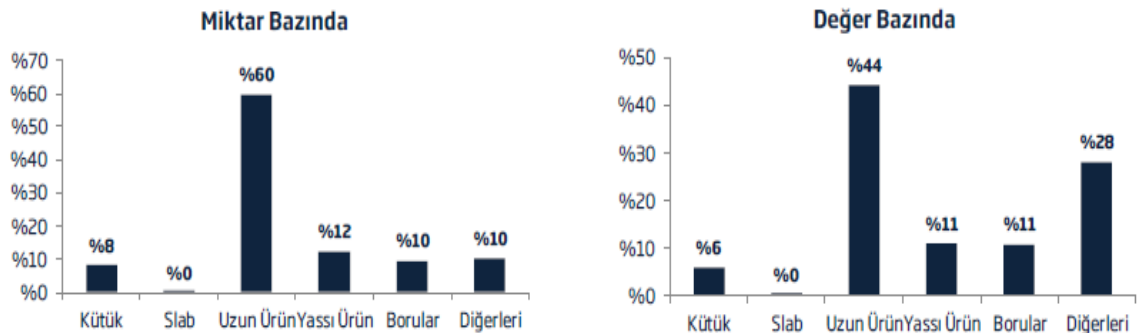
Kaynak: TÇÜD

Bu nihai ürünler arasındaki uzun üründen yana olan dengesizliğin giderilmesi ve yassı ürünlerde ithalata bağımlılığının azaltılması amacıyla Türkiye'de son yıllarda katma değeri yüksek yapısal çelik ürünlerinin üretimine yönelik yatırımlar artmaya başlamıştır. Bu yatırımlar neticesinde slab üretim kapasitesi 2000 yılında 3 milyon ton iken 2016 yılında 18,4 milyon tona yükselmiştir. Benzer şekilde kütük üretim kapasitesi de 16,8 milyon tondan, 40,2 milyon tona yükselmiştir. Bunu sonucu olarak yassı ürünlerin yarı mamulü olan slab üretiminde bir artış gözlenirse de, bu artış kapasitenin altında kalmıştır [17]. 2016 yılında slab kapasite kullanım oranı % 55 seviyesinde kalmıştır. Bu düşük kapasite kullanımının başlıca sebepleri yassı çelik piyasalarındaki olumsuz gelişmeler, dampingli, devlet destekli, düşük fiyatlı ve kalitesiz ürün ithalattaki artışlar, agresif rekabet ortamı, bazı Uzak Doğu ve Avrupa ülkelerindeki ihracat artışları ve Türkiye'deki ithalatı teşvik eden uygulamalardır [17].

Ürünlere göre ham çelik üretim verileri incelendiğinde, 2000-2016 yılları arasında Türkiye'nin toplam ham çelik üretiminin % 132, kütük üretiminin % 93 ve slab üretiminin % 325 oranında arttığı görülmektedir. 2016 yılı verileri incelendiğinde ise, kütük üretiminin 0,9 oranında azalmasına rağmen, toplam üretim içerisinde % 69 oranında bir paya sahip olduğu, buna karşılık slab üretiminde % 22,5 oranında bir artışa rağmen toplam üretim içerisindeki değerinin % 30,6 olduğu görülmektedir.

Son olarak Türkiye'deki ihracat ürün gruplarına göre incelendiğinde, uzun ürünlerin çok yüksek bir paya sahip olduğu görülmektedir. Onu yassı ürünler ve borular takip etmektedir. Bu noktadaki önemli bir ayrıntı, nitelikli çelik ürünlerini temsil eden diğer ürünlerin miktar olarak düşük bir paya sahip olmasına rağmen değer bazında önemli bir paya sahip olmalarıdır. Ayrıca son yıllarda yassı ürünlerin üretimine yönelik yapılan yatırımlara karşın, bu kapasite artışının ihracata beklenen ölçüde yansıtılmadığı görülmektedir [13].

Tablo 4.4. İhracatın Ürün Gruplarına Göre Dağılımı, 2013



Kaynak: TÇÜD

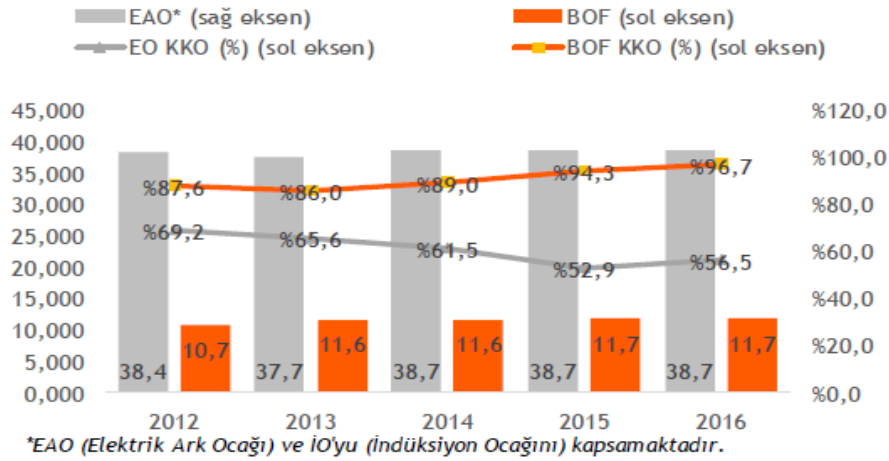
İhracat seviyesindeki bu düşük oranının sebebi küresel pazarlarda kütük ve slab ürünlerindeki fiyat düşüşleri ve dolayısıyla yurtiçindeki üreticilerin maliyet avantajı sebebiyle bu ürünlerin ithalatına rağbet göstermesidir. Bunun yanında yassı ürün ve nitelikli çelik ürünlerinde yeterli kalite ve arz seviyesine

henüz ulaşılammış olması da sektördeki ithalat seviyesini yukarıda tutan bir diğer önemli etkidir. Ayrıca, düşük fiyatlı ara ürünlerin ithalatı da bu duruma katkı sağlamaktadır [13].

#### 4.3. Üretim Metotlarının Karşılaştırılması

Türkiye’de üretim, yüksek fırına dayalı üretim yapan Erdemir, İsdemir, Kardemir olmak üzere 3 adet entegre tesislerde ve 29 adet elektrik ark ocaklı tesislerde gerçekleştirilmektedir. Türkiye’nin sahip olduğu 50,4 milyon ton ham çelik üretim kapasitesinin 11,7 milyon tonu (% 23,2) entegre tesislere, 38,7 milyon tonu (% 76,8) ise elektrik ark ocaklı tesislere aittir. 2016 yılında, sektörün toplam kapasite kullanım oranı % 66 iken, aynı yıl elektrik ark ocaklı tesislerin kapasite kullanım oranı %53’den %56’ya yükselmiş, entegre tesislerin kapasite kullanım oranları ise % 94’ten %97’ye çıkmıştır [21].

Tablo 4.5. Yöntemlere Göre Türkiye Ham Çelik Üretim Kapasitesi (milyon ton)



Kaynak: Vakıf Yatırım

Elektrik ark ocaklarının ana girdileri arasında yer alan hurda ihtiyacının % 65’i, entegre sistemlerin ana girdileri olan demir cevheri ve koklaşabilir kömürün ise % 60’ı ithalat yolu ile karşılanmaktadır. Yani her iki üretim metodu ile gerçekleştirilen üretim de önemli ölçüde ithalata bağımlı durumdadır. Hurda toplama ve geri dönüşüm faaliyetlerinin yeterli düzeyde olmaması ve Türkiye’deki hurda potansiyelinin talebin altında kalması, yerli hurda tüketiminin önündeki en büyük engellerdir. Hurda ithalatına olan bu bağımlılık, 2015 yılında hammadde fiyatlarındaki değişimler sebebiyle rekabet güçleri azalan elektrik ark ocaklı tesislerinde üretimin % 13,8 oranında azalmasına neden olmuştur [21]. Benzer şekilde, 2016 yılının ilk yarısında küresel pazarlarda hurda fiyatlarında diğer girdi maliyetlerine oranla daha fazla artış gözlenmiştir. Buna dünya çelik üretimindeki arz fazlalığı da eklenince üretimi önemli oranda elektrik ark ocaklarına bağılı olan Türkiye’deki demir çelik sektörü sıkıntılı bir süreç geçirmiştir. Ancak yılın ikinci yarısında gerçekleşen demir cevheri ve kömür fiyatlarındaki artış durumu nispeten dengelemiş ve elektrik ark ocaklı tesislere sağladığı avantajla bu tesislerdeki üretimin artmasını sağlamıştır [17]. Tablo 3.15 üretim metotlarındaki maliyet unsurlarını göstermektedir. Entegre tesislerde demir cevheri, EAO tesislerde hurda olmak üzere, hammadde her iki üretim yöntemi için de toplam maliyet içerisinde ağırlıklı paya sahiptir.

Üretim yöntemleri bir diğer girdi olan enerji açısından incelendiğinde iki farklı tablo görülmektedir. Entegre tesislerde enerjinin % 80'i kömürden, %10'u doğalgazdan, %5'i ise elektrik ve fuel-oilden sağlanmaktadır. Bu yakıtların toplam üretim maliyeti içerisindeki payı ortalama %20 olmaktadır. Elektrik ark ocaklı tesislerde ise enerjinin birincil kaynağı %65'lik bir pay ile elektrik enerjisidir ve onu %30'luk pay ile doğalgaz ve %5'lik pay ile fuel-oil izlemektedir. Sadece elektrik enerjisinin toplam üretim maliyeti içerisindeki payı %15'tir ve hammadeden sonra ikinci sırada gelmektedir [22]. Görüldüğü üzere yakıt kaynakları farklı olsa da her iki üretim yöntemi için de, enerji önemli bir maliyet unsurudur ve bu sebeple enerji verimliliği sektör açısından öncelikli konular arasında yer almalıdır. Bunun yanında entegre sistemlerde 1 ton ham çelik üretebilmek için gerekli olan enerji miktarı 5450 mcal iken, elektrik ark ocaklı tesislerde aynı miktar ham çelik için gerekli olan enerji miktarı 570 mcal'dür [2]. Bu veriler iki yöntem arasındaki derin maliyet farkını göstermektedir.

2013 yılı istihdam verilerine göre sektördeki 40.350 kişinin %55'inin elektrik ark ocaklı tesislerde çalıştığı görülmektedir. Her ne kadar yapılan özelleştirmeler ve bir takım teknolojik ikameler sonucu istihdam edilen kişi sayısı son 20 yılda önemli oranda azalmış olsa da, 2013 yılı itibariyle entegre tesislerde 18.350 kişi istihdam edilmektedir. Bu sayı ülkemizde sadece 3 adet bulunan entegre tesisin, 27 adet EAO tesisleri ile hemen hemen aynı oranda istihdam sağladığını göstermektedir [2]. Bu iki üretim yöntemi arasındaki bir diğer önemli nokta ise sebep oldukları kirlilik düzeyleridir. Elektrik ark ocaklarında girdi olarak hurda kullanımına bağlı olarak toz emisyonu, ağır metaller, karbonmonoksit, kükürtdioksit, azot oksitler, organik gaz ve buharlar, PAH'lar, dioksin ve furanlar gibi çeşitli kirlilik yaratıcı emisyonlar açığa çıkmaktadır. Bu emisyonlar büyük ölçüde toksik, tehlikeli ve kalıcı kirlenici özelliğe sahip olmaktadır [23]. Bu sebeple elektrikli ark ocaklı demir çelik tesislerinde hammadde kontrolü ile kirlenicilerden arındırılmış hurda kullanımı ve toz emisyonunun azaltılması gibi kirlilik önleyici yöntemlerin önemi öne çıkmaktadır. Türkiye'deki mevcut tesislerde emisyonların izlenmesi ve çevre kirliliğinin önlenmesinde önemli gelişmeler yaşanmaktadır [23]. Ancak bu gelişmelerin hız kesmeden devam etmesi ve çevresel hassasiyetler konusunda yeni çalışmaların yapılması oldukça önemli bir husustur.

## 5. DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNE YÖNELİK SWOT ANALİZİ

Bu bölümde SWOT Analizi (Strengths, Weaknesses Opportunities, Threats) ile demir çelik sektörünün güçlü ve zayıf yanları analiz edilmiş, sonrasında ise sektörde öne çıkan tehditler ve fırsatlar ortaya konulmuştur. Böylece sektörün rekabet gücü ve strateji geliştirmeye açık yönleri daha net bir şekilde ortaya konulabilmiştir.

Tablo 5.1 Türkiye Demir-Çelik Sektörüne Yönelik SWOT Analizi

İÇ FAKTÖRLER	
GÜÇLÜ YÖNLER	ZAYIF YÖNLER
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Teknolojik donanım ve kalifiye iş gücü sayesinde uluslararası rekabet gücüne sahip olunması</li> <li>➤ Sürekli yatırımın ve teknolojik gelişmelerin ön planda tutulması</li> <li>➤ Yassı mamul üretimine yönelik yatırımlar ve yaşanan kapasite artışları</li> <li>➤ Üretim ve ihracatta gözlenen esneklikler</li> <li>➤ Geniş bir dış pazara sahip olmanın olası pazar kayıplarını telafi etme imkanı sağlaması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Türkiye'deki demir çelik sektörünün hammadde yönünden ithalata olan bağımlılığı</li> <li>➤ Hurda, demir cevheri, kömür gibi en temel hammaddeler açısından net ithalatçı konumunda olması ve dolayısıyla bu ürünlerin küresel pazarlardaki gelişmelerinden ve krizlerinden doğrudan etkilenmesi</li> <li>➤ Yüksek orandaki yassı ürün ithalatının ve maliyet dezavantajının EAO kapasite kullanım oranını düşürmesi</li> <li>➤ Rekabet ettiği Çin, Ukrayna, Rusya gibi ülkelere</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Yeni teknolojilere dayalı üretim tesislerindeki artış</li> <li>➤ Uluslararası standartlarda, katma değeri yüksek ürün üretimine yönelik yatırımlara öncelik verilmesi</li> <li>➤ Tesislerin hammadde kaynaklarına ve limanlara yakınlığı</li> <li>➤ Özel sektörde faaliyet göstermenin getirdiği dinamizm ve hızlı karar alma süreçleri</li> <li>➤ Üretimde çevreye duyarlılığın ve çevreyi koruyucu önlemlerin gelişmiş olması</li> <li>➤ Yerli üreticilerin uluslararası piyasada kalite ve güven ile özdeşleşen bir imaja sahip olmaları</li> <li>➤ Ülkenin coğrafi konumunun getirmiş olduğu lojistik avantajlar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ kıyasla yüksek enerji maliyetine sahip olması</li> <li>➤ Yurtiçi hammadde üretiminin yetersiz olması</li> <li>➤ İç pazarı korumaya yönelik önlemlerin yetersiz olması dolayısıyla dumpingli ürünlerin Türkiye piyasasına kolayca girebilmesi ve yerli üreticiler üzerinde baskı oluşturması</li> <li>➤ AB standartlarına uyumluluğu hedef alan yüksek maliyetli çevre yatırımları</li> <li>➤ İşçilik maliyetlerinin rekabet içerisinde bulunulan ülkelere kıyasla daha yüksek seviyede olması</li> <li>➤ Devlet yardımlarının ve teşviklerinin küresel pazarlardaki rakiplere göre yetersiz kalması</li> <li>➤ Katma değeri yüksek ürünlerin üretiminin yetersiz olması</li> <li>➤ Finansman maliyetlerinin yüksek olması</li> </ul>
--	---

## DIŞ FAKTÖRLER

FIRSATLAR	TEHDİTLER
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sektörün sağladığı ürünlere yönelik yurtiçi ve yurtdışı talebin ve tüketimin güçlü olması,</li> <li>➤ Demir cevherindeki artan küresel kapasitenin ve yüksek Çin stoklarının hammadde fiyatlarını düşürecek beklentisi</li> <li>➤ İnşaat, beyaz eşya, altyapı ve otomotiv sektörlerinde yaşanan gelişmelerin yurtiçi talebi artırması</li> <li>➤ Orta Doğu, Doğu Avrupa ve Kuzey Afrika gibi büyüyen pazarlara yakınlık</li> <li>➤ Türkiye'de çelik yapılara ve yapısal çelik kullanıma yönelik artan talep</li> <li>➤ Yurtiçi pazarındaki devam eden büyük çaplı altyapı projeleri</li> <li>➤ Sektörde kapasite artırımına yönelik potansiyel bulunması</li> <li>➤ Uzun çelik ürünleri fiyatlarının son dönemde yükselişe geçmesi</li> <li>➤ Türkiye'deki artan demiryolu yatırımlarının çelik talebini arttıracak beklentisi</li> <li>➤ Yetmiş ve vasıflı insan gücünün fazla olması</li> <li>➤ Türkiye'nin otomotiv endüstrisinde bölgenin önemli bir yatırım üssü haline gelmesi</li> <li>➤ Komşu ülkelerde büyüyen altyapı ihtiyacı ve özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Küresel düzeyde yaşanan kapasite artışlarının üretici ülkeleri ihracata ve yeni pazar arayışlarına teşvik etmesi ve durumun Türkiye'nin ana ihrac pazarlarındaki pazar payını tehdit etmesi</li> <li>➤ Devlet destekli Çinli üreticilerin demir cevheri fiyatlarındaki düşüşten yararlanarak uyguladıkları agresif fiyat politikaları</li> <li>➤ Özellikle yassı ürün ve yarı mamul ürünlerde ithal ürünlerin maliyet avantajından kaynaklanan rekabet gücü</li> <li>➤ Artan rekabetin ülkeleri iç pazarlarını korumaya yönelik önlemler almaya itmesi</li> <li>➤ Devlet destekli üreticilerin küresel pazarlarda haksız rekabet yaratması</li> <li>➤ Hammadde fiyatlarında küresel çapta yaşanan düşüşlerin, firmaların karlılığını baskılaması</li> <li>➤ Türkiye için önemli bir ihracat pazarı olan Ortadoğu bölgesindeki siyasal, politik ve ekonomik dengesizlikler</li> <li>➤ Suudi Arabistan ve Ortadoğu gibi önemli ihrac pazarlarındaki yeni kapasite yatırımları</li> <li>➤ AB'nin imzaladığı Serbest Ticaret Anlaşmalarının Türkiye'yi kapsamaması</li> <li>➤ Artan çevresel duyarlılıkla birlikte çevre mevzuatlarına uyum maliyetlerinin yükselmesi</li> </ul>

yeniden inşa faaliyetlerindeki yükseliş

- Orta Doğu ve Doğu Avrupa'da katma değeri yüksek ürünlere yönelik yatırımların artması
- Üretici sayısının fazla olması ve bu sayısının daha da artacağı beklentisi
- Dünyada süregelen tekelleşme eğilimleri ve bunun sonucu olarak kısıtlı sayıda hammadde üreticisine bağımlı hale gelmesi

### SWOT ANALİZİ NETİCESİNDE ÖNE ÇIKAN STRATEJİLER

- ✓ Üretim maliyetlerinin küresel rakiplerle rekabet edilebilir düzeye çekilmesi
- ✓ Devlet politikalarının üreticiler üzerinde ek maliyetler oluşturmaması ve devlet koruması altındaki rakipler karşısındaki dezavantajlı konumu elimine edecek teşvik ve uygulamaların gündeme alınması
- ✓ Katma değeri yüksek ürünlerin üretimine ve AR-GE yatırımlarına gereken önceliğin verilmesi
- ✓ Girdi maliyetlerine yönelik düzenlemelerin yapılması
- ✓ Yurtiçi hammadde potansiyelinin geliştirilmesi ve hammaddede ithalata bağımlılığı azaltacak önlemlerin alınması

## 6. SONUÇ

Türkiye'de entegre tesislerde gerçekleşen üretim için kullanılan hurda miktarının %70'i ithalat yolu ile, elektrik ark ocaklarında gerçekleşen üretimde kullanılan demir cevherinin ise %60'ı ithalat aracılığı ile elde edilmektedir. Bunun yanında, Türkiye demir-çelik sektörü dünyada ticarete konu olan koklaşabilir taşkömürünün % 2'sini ithal etmektedir. Bu veriler sektörün hammadde konusunda ithalata bağımlılığını göstermesi açısından oldukça çarpıcıdır. Son yıllarda küresel pazarlarda hammadde fiyatlarında yüksek arzdan kaynaklanan düşüşler gözlenmektedir. Demir cevherindeki fiyat düşüşünün hurdaya kıyasla daha fazla olması entegre üretim yöntemini daha avantajlı bir duruma getirmektedir. Dolayısıyla elektrikli ark ocaklarında üretim daralırken, entegre tesislerde üretim seviyesinin arttığı gözlenmektedir.

Türkiye'de demir-çelik sektörü toplam ihracat içerisinde yaklaşık %10'luk bir paya sahiptir ve bu ihracat içerisindeki en büyük pay da uzun ürünlere aittir. Ancak buradaki önemli bir nokta katma değeri yüksek ürünlerin ihracat içerisinde miktar olarak düşük bir paya sahip olmalarına rağmen değer olarak oldukça yüksek bir seviyede olmalarıdır. Bu durum, küresel çapta yaşanan teknolojik ilerlemeleri izleyerek katma değeri yüksek çelik (yassı, vasıflı, paslanmaz, kaplanmış vs.) üretimine öncelik vermenin önemini vurgulamaktadır. Yassı ürünlere yönelik yatırımların bir diğer önemi, bu ürünlerin sektörün toplam ithalatında en büyük paya sahip olmalarıdır. Türkiye bu alanda yeterli kapasiteye sahip olmadığından bu ürünlere yönelik ihtiyaç ithalat yolu ile karşılanmakta ve bu durum da önemli bir maliyet unsuru doğurmaktadır. Türkiye son yıllarda yassı ürün üretimine yönelik yatırımlar gerçekleştirmesine rağmen küresel pazarlardaki rekabet koşulları sebebiyle bu yatırımların ihracata yansımaları beklenen düzeyde olmamaktadır. Ancak ürün çeşitlendirmesinin son derece önemli olduğu böyle bir sektörde yassı, vasıflı ve yapısal çelik ürünlerine yönelik bu kapasite yatırımlarının Türkiye'nin ihracat gücünü artırması beklenmektedir. Bu sayede, kaliteli ve nitelikli çelik ürünlerinde artış ve esnek ihracat yapısı ile piyasa şartlarına göre hareket edebilme amaçlanmaktadır.

2016 yılında Türkiye'de nihai mamul üretiminde uzun ürünler % 70,5 paya sahipken, uzun ürünlerin payı % 29,5'tir. Uzun üründen yana olan bu dengesizliğin giderilmesi için yapılan katma değeri yüksek yapısal çelik ürünlerinin üretimine yönelik yatırımlar sonucunda kütük ve slab üretim

kapasitelerinde önemli artışlar yaşanmıştır. Ancak yine de, gerçekleştirilen üretimler kapasite oranlarının çok altında kalmıştır. Bunun başlıca nedenleri devlet destekli rakiplerin uyguladığı düşük fiyat politikaları, düşük fiyatlı ve kalitesiz dumpingli ürünlere yönelik korumasız kalan iç pazarlar, artan üretici sayısının kızıştırdığı küresel pazarlardaki agresif rekabet ortamı ve ihrac pazarlarında görülen ithalata yönelik artan tedbirlerdir.

Bütün bu incelemeler neticesinde Türkiye'deki demir çelik sektörünün küresel pazarlardaki rekabet gücünü ve pazar payını arttırmaya yönelik uygulanması gereken belli başlı stratejiler öne çıkmaktadır. Bunların en başında yurtiçi hammadde potansiyelinin geliştirilerek hammaddede ithalata bağımlılığının azaltılması gelmektedir. Bunun yanında girdi maliyetlerine yönelik düzenlemelerle üretim maliyetlerinin küresel rakiplerle rekabet edilebilir düzeye çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca pek çok ülkenin kendi üreticilerini ve iç pazarlarını koruma amacıyla ithalata yönelik tedbirler aldıkları bir ortamda, Türkiye'deki devlet politikalarının üreticiler üzerinde ek maliyetler oluşturmaması ve rakipler karşısındaki dezavantajlı durumu dengeleyecek bir takım önlemler alması da gerekmektedir. En önemli stratejilerden biri de yeni teknolojilere dayalı üretim tesislerine ve AR-GE yatırımlarına gereken önceliğin verilerek uluslararası standartlarda, katma değeri yüksek, kaliteli ve vasıflı çelik üretiminin artırılmasıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Deloitte (2015). Iron and steel industry report. September, 2015.
- [2] Demir Çelik Sektörü Raporu (2017). T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi.
- [3] Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, DOĞAKA. (2014). Demir Çelik Sektör Raporu.
- [4] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, EPDK. Elektrik Piyasası 2016 Yılı Piyasa Gelişim Raporu, Ankara,2017.
- [5] Ernst & Young, EY. (2015). Globalize or customize: finding the right balance. Global steel 2015-2016.
- [6] Korkmaz, T., Gürkan S. & Akman, E. (2009). Çelik Sektöründe Vadeli İşlem Sözleşmesi (Futures): Londra Metal Borsası Örneği. Mufad Journal, Sayı 42, s. 76-89.
- [7] Kurtay, C. & Badem, M. (2004). Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'deki Çelik Yapı Uygulama Olanak ve Kısıtlarının İncelenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 19, No 4, s. 351-363.
- [8] Madencilik Bülteni (2015). Türkiye'de Demir Cevheri Madenciliği, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Araştırma Komisyonu.
- [9] Mangers, P. (2015). Rationalize excess capacity. Globalize or customize: finding the right balance. Global steel 2015-2016, s. 13-14, EY Luxembourg.
- [10] OECD Steel Committee (2009). Presentation for the Council Working Party on Shipbuilding. 9 July 2009.
- [11] Sekiguchi, N. (2015). Steel Market Developments. OECD, Paris.
- [12] Stall, B. (2015). Increase market and product concentration. Globalize or customize: finding the right balance. Global steel 2015-2016, s. 15-18, EY United States.
- [13] Şahin, İ. (2015). Demir Çelik Sektörü. Türkiye İş Bankası İktisadi Araştırmalar Bölümü, Nisan, 2015.

- [14] T.C. Kalkınma Bakanlığı. Demir-Çelik Çalışma Grubu Raporu, Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018, Ankara 2014.
- [15] Tuncel, S., Arı, N. Yoleri, B. & Şahiner, M. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Demir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı.
- [16] TurkishYatırım (2015). Demir Çelik Sektörü Değerlendirmemiz, Aralık, 2015.
- [17] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, TOBB (2016). Türkiye Demir ve Demirdışı Metaller Meclisi Raporu 2016, TOBB Yayın No: 2017/300.
- [18] Türkiye Taşkömürü Kurumu, TTK. 2016 Yılı Taşkömürü Sektör Raporu, Mayıs 2017.
- [19] Ülengin F., Önsel Ş., Çekyay, B., Özaydın Ö., Aktaş, E. & Kabak, Ö. (2011). Demir çelik sektörü rekabet gücü raporu. Sektörel rekabet gücü raporları dizisi, Ataman, Ş. ve Yaman, Ü.G. (ed)., 1. Basım, Kasım 2011, İstanbul.
- [20] Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, TÇÜD (2016). Çelik Dergisi, No 61, Şubat 2016.
- [21] Vakıf Yatırım (2017). Sektör Raporu Demir Çelik, Vakıf Yatırım Menkul Değerler A.Ş., Şubat 2017.
- [22] Yayan, V. (2013). Sürdürülebilir Çelik Üretimi. Kalkınmada Anahtar Verimlilik, T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sayı 293, s. 12-13.
- [23] Yücekutlu, A.Y. & Sanalan, A.T. (2015). Elektrik Ark Ocaklı Çelikhane Tesislerinin Hava Kirleticileri, Emisyon Kontrol ve Azaltım Teknikleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, HKK Sempozyumu, 9 Ekim 2015, İzmir.
- [24] Zweig, M. (2015). Steel in the global economy. Globalize or customize: finding the right balance. Global steel 2015-2016, s. 4-10, EY Brazil.

# NORMAL LOAD ESTIMATION BY USING A SWARM INTELLIGENCE BASED MULTIPLE MODELS APPROACH

Altan ONAT <sup>1\*</sup> and Bekir Tuna KAYAALP <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Eskisehir Technical University, Electrical & Electronics Engineering, Engineering Faculty, 26555, Eskisehir, Turkey. Phone: +90 505 454 3397, e-mail: altanonat@anadolu.edu.tr

<sup>2</sup> University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering, Studentská 95, 532 10, Pardubice, Czechia. Phone: +420 466 036 509, e-mail: bekir.kayaalp@student.upce.cz

## Abstract

Statically weighing a railway vehicle is the traditional way to determine the weight of a railway vehicle. Recently, approaches for dynamically weighing railway vehicles are proposed and such approaches are based on replacing sensors to track sections. In this study, the possibility of estimating loading conditions is discussed by using only vehicle-mounted sensors. A multiple model based estimation scheme is presented. In this approach, models indicate the mathematical models of the railway vehicle which consider different normal loads. Furthermore, a swarm intelligence-based evolution of models is provided instead of using fixed models. The methodology assumes that the normal load can be estimated by using angular and translational velocity measurements taken from the vehicle. To validate the methodology, it is applied to the tram wheel test stand, which is used for research purposes in University of Pardubice (Czechia), for a normal load by considering the angular velocity measurements. In future work, it will be tested for different loading conditions with different peripheral velocities of the test stand.

**Keywords:** Roller Rig, Normal Load Estimation, Condition Monitoring, Multiple Models, Swarm Intelligence, Railway Vehicles

## 1. Introduction

Condition and health monitoring for railway vehicle systems play an important role in the reliability and safety of railway vehicles [1]. Low cost sensors are the main elements of such monitoring systems and these systems can be divided into two main categories as track side or on-board systems according to the placement of sensors. Significant advantage of on-board systems is that they allow continuous monitoring, whereas track side systems are limited to specific track sections where sensors are placed [1].



Statically weighing the vehicle is the conventional way to determine the loading condition of a railway vehicle. Other methods in the literature are called as weigh-in-motion (i.e. WIM) system and these are reported in [2]. All of these systems are based on several sensors placed on the specific track sections. For example in [3], a WIM system is proposed based on placing a transducer in a hole on rail web to determine the forces exerted by the train on rails. A different approach for WIM system is presented in [2], [4] which vertical force measurements from sleepers are considered to interpret wheel loads. They are using the basic principle that the system is quasi-linear with respect to load of the wheel and this is called as quasi-linearity principle. In other words, if the normal load of the wheel increases, the magnitude of force measurements from sleepers also increase. Instead of experimental data, a multibody model of a railway vehicle and track are considered to obtain generic loads for wheels [2], [4] in the validation process.

In this study, a model based novel condition monitoring system is proposed to detect loading condition of a railway vehicle. Instead of using generic data obtained from simulations, measurements taken from a roller-rig, which is used for research purposes in University of Pardubice (Czechia), are considered. This roller-rig simulates the traction system of the trams with independently rotating wheels produced in Czechia. Main idea of the proposed algorithm is to create multiple mathematical models of the vehicle system with different initial normal loads and compare the outputs of these models with measurements. A swarm intelligence-based model evolution [5] is considered. To the authors' knowledge, this application is the first vehicle sensor-based approach for WIM systems. A continuous monitoring of loading conditions of a vehicle is provided. Furthermore, methodology proposed here can be used along with track side WIM systems so that number of sensors, which must be placed along the track sections, can be reduced significantly.

## 2. Structure of the Methodology

Methodology is illustrated in Figure 1. Basic principle is to create mathematical models of the vehicle (or the test stand in this case) with proper initial conditions and compare the results of the models with measurements. The model, which best describes the physical system, is selected as the estimate. It is assumed that the angular velocity and translational velocity of the vehicle can be measured.

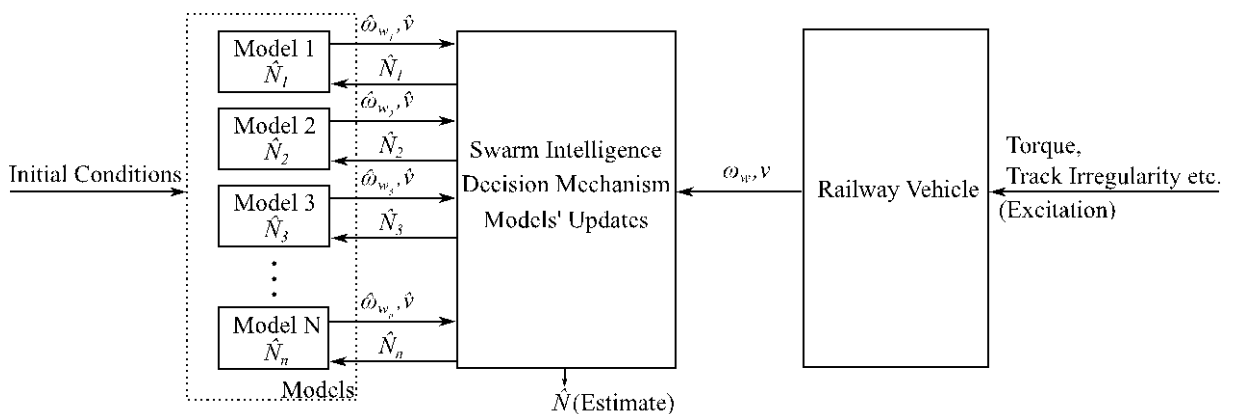


Figure 1 General Structure of the approach

The dimensionless creepage, which is simply defined as the difference between circumferential velocity of a wheelset and the translational velocity of the vehicle, is selected as cost function. This function is expressed as

$$J = |s_j - s_m|, \quad (1)$$

where  $s_j$  is the creepage output of the  $j^{th}$  model and  $s_m$  is the creepage value obtained from velocity measurements. In this study, dimensionless creepage defined as

$$s = \frac{v - \omega_w r_w}{\frac{1}{2}(v + \omega_w r_w)}, \quad (2)$$

where  $v$  is the translational velocity of the vehicle,  $\omega_w$  is the angular velocity of the wheelset and  $r_w$  is the rolling radius of the corresponding wheel. During traction, creepage results for the models are different with respect to the considered normal loads. Thus, difference between models and the measurement from the vehicle can be interpreted to estimate normal load of each wheel. Since the key element of the methodology is the mathematical model of the physical system, the mathematical model of the roller-rig, which is considered for validation in this study, is presented in the proceeding section.

### 3. Tram Wheel Test Stand

A photo of the test stand, forces and torques acting on the test stand are provided in Figure 2.

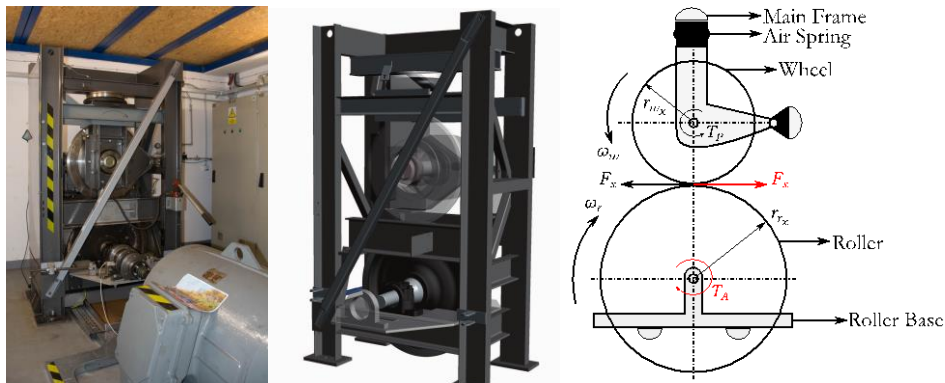


Figure 2 Photo and diagram of the test stand

This test stand is mainly used to observe adhesion behavior between wheel and rail [6], validate condition monitoring algorithms [7] and test newly developed slip control methods [8].

The roller-rig includes a tram wheel and a wagon wheel. Wagon wheel is used to simulate rails and it is driven by an asynchronous electrical motor and the wheel is driven by a permanent magnet synchronous motor (i.e. PMSM). There is an air spring attached to the wheel to apply a normal force to the wheel and the pressure inside the spring is measured by a pressure transmitter. The normal force is measured by interpreting the pressure value of the pressure transmitter since there is almost a linear relationship between two quantities. Wheel and roller angular positions are measured by encoders and then the velocity data is obtained by using a simple numerical derivation procedure. Adhesion is modeled by using the measurements of a torque transducer attached to the roller shaft. Moreover, tangential force is also interpreted by using this transducer.

#### 3.1. Electrical Motors

Electrical connections of the test stand are presented in [7] and [9]. PMSM is driven by using a feedback flux weakening control method and the asynchronous motor is controlled by volts per Hertz

open loop control method. Torque is requested from the controller of the PMSM, whereas the torque for asynchronous motor is obtained by using the following formula

$$T_{mech} = \frac{3}{\omega_{sync}} \frac{V_{th}^2}{\left(R_{Th} + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{Th} + X_2')^2} \frac{R_2'}{s}, \quad (3)$$

where  $R_{Th}$ ,  $V_{Th}$ ,  $X_{Th}$ ,  $R_2'$ ,  $X_2'$  are the Thevenin equivalent circuit parameters of the asynchronous motor,  $\omega_{sync}$  and  $s$  are the synchronous angular speed of the motor and the slip, respectively [7].

### 3.2. Contact Model

The first step to obtain a contact model is to analyze wheel-roller profiles geometrically. Wheel and roller profiles are based on the theoretical wheel and rail profiles used in the tram network of Prague, Czechia. In order to solve the normal problem, theory of Hertz [10] is used. Additionally, a shape correction method for Hertzian contact proposed in [11] is considered. New contact shape is expressed by

$$a = \sqrt{\frac{0.55\delta_0}{A}}, b = \sqrt{\frac{0.55\delta_0}{B}}, \quad (4)$$

where  $a$  and  $b$  are contact ellipse length and width,  $A$  and  $B$  are the Hertzian curvatures and  $\delta_0$  is the penetration value.

### 3.3. Adhesion Model

In order to model friction, a slip velocity dependent friction model [12] is considered. This model is expressed as

$$\mu = \mu_0 \left[ (1 - A)e^{-Bw} + A \right], \quad (5)$$

where  $\mu_0$  is the maximum friction coefficient,  $w$  is the slip velocity,  $A$  is the ratio of limit friction coefficient ( $\mu_\infty$ ) to  $\mu_0$ , and  $B$  is the coefficient of exponential decrease. Tangential force occurred at contact is modeled as [12]

$$F = \frac{-2Q\mu}{\pi} \left( \frac{k_A \varepsilon}{1 + (k_A \varepsilon)} + \arctan(k_S \varepsilon) \right), \quad k_S \leq k_A \leq 1, \quad (6)$$

where  $Q$  is the normal force and  $\varepsilon$  is the initial gradient of tangential stress.  $k_A$  and  $k_S$  represent reduction factors for adhesion and slip area, respectively. Details of these parameters are reported in [12]. A particle swarm optimization algorithm is used to determine optimal parameters for friction and creep force. During realization of mathematical models (i.e. simulations) dry friction conditions are considered. Maximum friction coefficient value for dry conditions are assumed as  $\mu_0 = 0.4$  since measurements for linear region of the adhesion-creep curve exist only. Other parameters in  $\mu = \mu_0 \left[ (1 - A)e^{-Bw} + A \right]$ , and

$$F = \frac{-2Q\mu}{\pi} \left( \frac{k_A \varepsilon}{1 + (k_A \varepsilon)} + \arctan(k_S \varepsilon) \right), \quad k_S \leq k_A \leq 1 \quad (6) \quad \text{are}$$

obtained by using the particle swarm based optimal parametrization and found as  $A = 0.6584$ ,  $B = 0.7087$  s/m,  $k_A = 0.6258$  and  $k_S = 0.5997$ . Result for the adhesion model and the measurement are provided in Figure 3. Adhesion coefficient is simply defined as the ratio of tangential force to normal load  $\frac{F}{Q}$ .

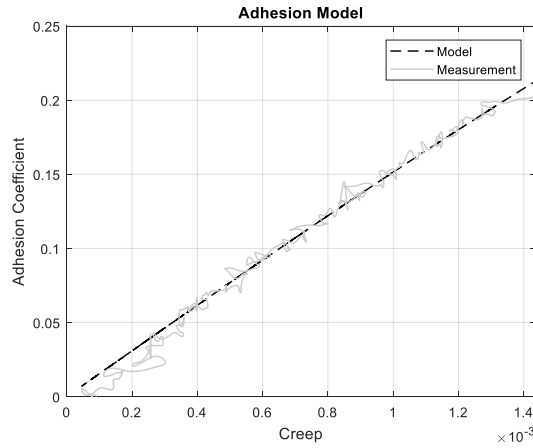


Figure 3 Adhesion measurement and the model

### 3.4. Torsional Dynamic Model

Torques and forces acting on the test stand are illustrated in Figure 2. Torsional dynamic model of the test stand is given as

$$\begin{aligned} \frac{d\phi_r}{dt} &= \frac{T_A + (F_x \times r_{rx})}{J_{rtotal}}, \\ \frac{d\phi_w}{dt} &= \frac{-T_p - (F_x \times r_{wx})}{J_{wtotal}}, \end{aligned} \quad (7)$$

where  $T_A$  and  $T_p$  are the torques applied by the asynchronous motor and PMSM, respectively,  $J_{wtotal}$  and  $J_{rtotal}$  are the total moment of inertias of wheel and roller and found as  $17.86 \text{ kgm}^2$  and  $47.2 \text{ kgm}^2$  by using a 3D modeling software,  $r_{wx}$  and  $r_{rx}$  are the rolling radii of the wheel and roller, respectively.

## 4. Swarm Intelligence Based Multiple Models

In this study, the method proposed in [5] is used. It is inspired from the well-known particle swarm optimization algorithm. Firstly, parameter space is defined and the minimum and maximum loading conditions for the test stand are selected. Minimum normal load, which is the bare weight of the roller wheel, is selected as  $N_{\min} = 4.2 \text{ kN}$  and the maximum normal load is selected as  $N_{\max} = 60 \text{ kN}$ . Initially, parameter estimate for each model is distributed uniformly between limits with respect to the

number of models. In order to show effectiveness of the methodology, number of models is chosen as five. In other words, parameter estimates for these five models are distributed between 4.2 kN and 60 kN and all other electrical, mechanical parameters, initial conditions are same for each model. Whenever a measurement is taken from the test stand, models are updated based on the parameter velocity of each model and it is expressed as

$$V_i = \omega \times V_i + c \times r \times (\hat{N}_{best} - \hat{N}_i), \quad i = 1, K, num, \quad (8)$$

where  $\omega$  is the inertia weight of the models and chosen as 0.9,  $V_i$  is the velocity of the  $i^{th}$  model,  $c$  is the acceleration coefficient and it is selected as 2,  $r$  is a random number between (0,1),  $\hat{N}_{best}$  is the best estimate or normal load from previous step,  $\hat{N}_i$  is the normal load estimate of the  $i^{th}$  model and  $num$  represents the number of models. Thus, new normal load estimates for the models are expressed as

$$\hat{N}_i = \hat{N}_i + V_i. \quad (9)$$

In order to prevent estimation divergence, the velocity clamping method proposed in [13] is considered. It is given as

$$V = \begin{cases} V_{max} = 1500 & \text{if } V_{max} < V, \\ V_{min} = -1500 & \text{if } V < V_{min}. \end{cases} \quad (10)$$

Moreover, models are reinitialized based on the mean of the absolute value of the velocities. Therefore, exploration capability of the models is improved, and this method is inspired from [14]. When the mean value exceeds a predetermined threshold, models are reinitialized. This threshold determined as 10 N.

## 5. Results and Discussion

Firstly, the effect of the parameter on the results of the model is illustrated. It is given in Figure 4 that models, which consider different normal load estimates, produces different creepage results. In this case of application, 5 m/s peripheral velocity and 10 kN normal load is considered. Additionally, the torque requested from the controller of the PMSM is provided in the same figure. It can be seen in the figure that the approach expected to provide better results especially between 25-34 seconds. Because the persistent excitation (around 550 Nm torque value) is exerted on the system in this period. Therefore, only this period is taken into account during estimation. In Figure 4, it is proven that the cost function given in (1) has the minimum value for real parameter value which is 10 kN. The results of the mathematical model (i.e. simulation) for 10 kN normal load are provided in Figure 5. In figures, it is clearly seen that the measurements include certain amount of noise. This noise is mainly due to the misalignment in connection elements and the numerical derivation procedure used during obtaining velocity measurements from position measurements of rotary encoders. The main frequency component of the noise is proportional with the speed of the roller.

Next step is to create models and test the methodology based on the measurements from the test stand. A fourth order Runge-Kutta integration algorithm is considered during simulations with a time step of  $2.5 \times 10^{-4}$  s. Estimation results for 5 models are provided in Figure 6. There are switchings during estimation process since the core of the swarm intelligence based approach is the switching between models. However, a 1 s moving average window is applied to decrease the effect of switching. In order to validate result for the averaged results, a root mean squared error is chosen as the metric. For this case, the root mean squared error is found as 702.530 N. This corresponds to an error of approximately 7% when the real value (10 kN) is considered. Thus, from the root mean

squared value, it is concluded that the methodology proposed here is promising to estimate loading conditions of a railway vehicle with traction.

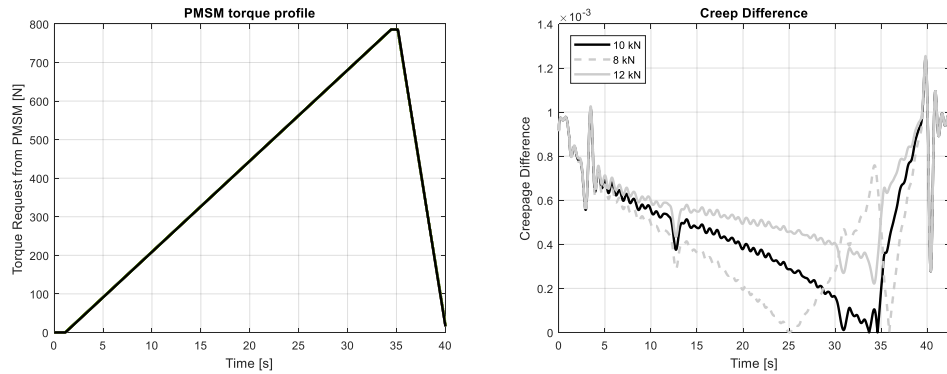


Figure 4 Torque request from the PMSM and creepage difference of the models with respect to different loading conditions

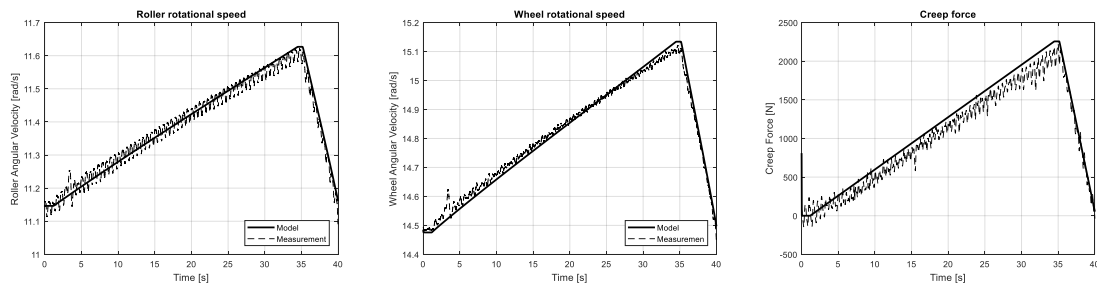


Figure 5 Simulation results for 5 m/s peripheral velocity and 10 kN normal load and comparison with measurements

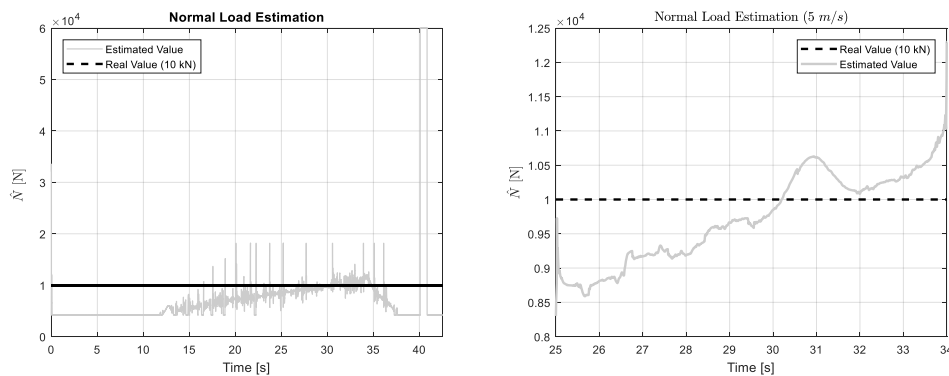


Figure 6 Estimation results for 5 models

## 6. Conclusion and Future Work

In this study, a swarm intelligence based multiple models approach is proposed to detect loading conditions of a railway vehicle and the methodology is proven experimentally by using the measurements taken from a full scale roller rig. Results are promising such that approximately 7% percent estimation error is present. Such a methodology can be used as a standalone condition monitoring tool or it can be combined with track side WIM systems to decrease number of sensors attached to the track. As well as loading conditions, normal load estimation can be useful to inspect safety against derailment coefficient which is defined as the ratio of lateral tangential force to the normal force.

In future work, methodology will be applied for more simulation and test cases. For example, methodology is tested for a 5 m/s peripheral velocity and 10 kN loading condition, whereas in the planned future work 3 or more velocity and loading conditions will be provided along with a detailed discussion.

## References

- [1] C. Li, S. Luo, C. Cole ve M. Spiriyagin, «An overview: modern techniques for railway vehicle on-board health monitoring systems,» *Vehicle system dynamics*, cilt 55, no. 7, pp. 1045-1070, 2017.
- [2] P. D'Adamio, L. Marini, E. Meli, L. Pugi ve A. Rindi, «Development of a dynamical weigh in motion system for railway applications,» *Meccanica*, cilt 51, pp. 2509-2533, 2016.
- [3] C. Delprete ve C. Rosso, «An easy instrument and a methodology for the monitoring and the diagnosis of a rail,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, cilt 23, pp. 940-956, 2009.
- [4] A. Benedetto, D. Pierluca, M. Lorenzo, M. Enrico, P. Luca ve R. Andrea, «A new strategy for dynamic weighing in motion of railway vehicles,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, cilt 16, pp. 3520-3533, 2015.
- [5] A. Onat ve P. Voltr, «Swarm Intelligence Based Multiple Model Approach for Friction Estimation at Wheel-Rail Interface,» %1 içinde 5th International Symposium on Engineering, Artificial Intelligence and Applications, ISEAIA 2017, 2017.
- [6] P. Voltr ve M. Lata, «Transient wheel-rail adhesion characteristics under the cleaning effect of sliding,» *Vehicle System Dynamics*, cilt 53, pp. 605-618, 2015.
- [7] A. Onat, P. Voltr ve M. Lata, «An unscented Kalman filter-based rolling radius estimation methodology for railway vehicles with traction,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2017.
- [8] A. Zirek, P. Voltr, L. Michael ve J. Novak, «An adaptive sliding mode control to stabilize wheel slip and improve traction performance,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2018.
- [9] R. Doleček, J. Novák ve O. Černý, «Traction permanent magnet synchronous motor torque control with flux weakening,» *Radioengineering*, cilt 18, pp. 601-605, 2009.
- [10] H. Hertz, «Über die Berührung fester elastischer Körper,» 1882.
- [11] J. Piotrowski ve W. Kik, «A simplified model of wheel/rail contact mechanics for non-Hertzian problems and its application in rail vehicle dynamic simulations,» *Vehicle System Dynamics*, cilt 46, pp. 27-48, 2008.
- [12] O. Polach, «Creep forces in simulations of traction vehicles running on adhesion limit,» *Wear*, cilt 258, pp. 992-1000, 2005.
- [13] F. Shahzad, S. Masood ve N. K. Khan, «Probabilistic opposition-based particle swarm optimization with velocity clamping,» *Knowledge and information systems*, cilt 39, pp. 703-737, 2014.
- [14] K. J. Binkley ve M. Hagiwara, «Balancing exploitation and exploration in particle swarm optimization: velocity-based reinitialization,» *Information and Media Technologies*, cilt 3, pp. 103-111, 2008.

# RAY ÜRETİM SİSTEMLERİNDE ZEKİ BAKIM ÇİZELGELEME YAKLAŞIMI

Selçuk Özcan<sup>1\*</sup>, Fuat Şimşir<sup>2</sup> and Özer Uygun<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Karabük University, Karabük, Türkiye, e-mail: selcukozcan@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup> Karabük University, Karabük, Türkiye, e-mail: fuatsimsir@karabuk.edu.tr

<sup>3</sup> Sakarya University, Sakarya, Türkiye, e-mail: oyugun@sakarya.edu.tr

## Özet

Geçmiş dönemlerde üretim planlama yapılırken eldeki kaynaklar göz önünde bulundurulur ve bu kaynaklardan birisi olan makinelerin tam kapasite ile çalıştığı varsayılırdı. Fakat çalışan her sistemin zaman geçtikçe bozulmaya başlaması ise bir gerçektir. Üretim sistemine göre farklılık gösteren bakım faaliyetlerinin farklı şekilde çizelgelemesi yapılabilir.

Uygulama çalışması yapılan ray üretim sisteminde ekipmanlara bakım yapılmasından çok yedeği ile değiştirildiği tespit edilmiştir. Her bir parçanın değişiminde iş güvenliği ve parçaların büyük ebatlı olması nedeniyle hat durmaktadır. Hat boyunca binlerce parça olduğu ve bu parçaların her birinin, eldeki mevcut personel ile belirli periyotlarda değişmesi gerektiği düşünülürse ortaya çok karmaşık bir problem çıkmaktadır. Bu çalışmada da böyle bir problem ele alınmış ve tüm ray üretim sistemlerine uygulanabilecek bir çözüm önerisi getirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bakım, Ray, Çizelgeleme

## Abstract

In the past, for many years, the resources available at the time of production planning were taken into consideration, and it is assumed that the machines, which are one of these sources, work at full capacity. But it was a fact that every working system began to deteriorate over time. Different types of maintenance activities can be made according to the production system.

It is determined that the equipment replacing with the backup rather than the maintenance of the equipment in the rail production system. Due to occupational safety and the large size of the components, the line is stopped when changing each part. There are thousands of parts along the line, and each of these parts has to change with the current staff at certain intervals, which is a very complicated problem. In this study, such a problem has been discussed and a solution that can be applied to all rail production systems has been proposed.

**Keywords:** Maintenance, Rail, Scheduling



# İYİLEŞTİRİLEN VE YENİ YAPILAN YÜKSEK HIZLI DEMİRYOLLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Nuri Erdem Çoban<sup>1\*</sup> and Prof. Dr. Zübeyde Öztürk<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Raylı Sistemler Müh., İstanbul, e-mail: cobannu@itu.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, e-mail: ozturkzu@itu.edu.tr

## Özet

Dünya’da teknolojinin ilerlemesi, seyahat imkanlarının artması, ticaret hacminin büyümesi, üretimin belirli bölgelerde yoğunlaşması gibi nedenler taşıma kapasitesi yüksek, enerjiyi diğer ulaştırma sistemlerinden daha verimli kullanan ve yapılan çalışmalarla yüksek hızlara imkan veren sürdürülebilir bir ulaştırma sistemi olan demiryollarına olan yatırımları arttırmıştır. Geçmişte demiryollarının ulusal düzeyde kalması geride bırakılmış ve uluslararası hatlar yapılmaya başlanmıştır. Uluslararası demiryollarının yapılması beraberinde yüksek hızlı demiryollarında farklı ekartman genişlikleri, geometrik özelliklerin farklı sınır değerlerinin giderilmesi gibi durumları beraberinde getirmiş ve uluslararası geometrik standartlarla birlikte entegre bir demiryolu ağı oluşturmayı hedef olarak belirlemiştir.

Pahalı ve uzun ömürlü yatırımlar olan demiryollarının yapım şekli önem kazanmaktadır. Düşük hızlarla işletim yapılan konvansiyonel demiryolu hatları günümüzde ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Bu mevcut hatlar geometrik özelliklerinin iyileştirilmesiyle yüksek hızlı demiryolu işletim potansiyeli olan hatlardır. Demiryolu yapılması planlanan bir bölgede mevcut hat bulunmakta ise TSI ve CEN’de hem yeni yapılan hem de iyileştirilen hatlar için belirlenen geometrik standartlarla oluşturulacak alternatif güzergahlar fizibilite sürecinde iyi irdelenmeli ve yapım şekline karar verilmelidir.

Bu çalışma kapsamında iyileştirilen ve yeni yapılan yüksek hızlı demiryollarının bu iki uygulama şekli için standartlarda tanımlanan geometrik özelliklerin ve örnek çalışmalar üzerinden bu iki uygulama şeklinin karşılaştırılması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yüksek hızlı demiryolları, geometrik standartlar, iyileştirilmiş hatlar

## Abstract

Transportation demand in worldwide increased by the reason of technological progress, raise of transportation opportunities for people, growth of trading volume and concentration of production in certain places worldwide. Railway investments growth around the world, as a solution of increasing trade goods quantity and increasing number of passenger transport. Railways’ advantages were became more distinguished after development of high-speed technology. In 20<sup>th</sup> century, countries considered railways as national transportation systems, but in 21<sup>th</sup> century, railway networks became international. As a consequence of that, railway organizations overcame different national track design parameters for integrated railway network.

As a result of railway construction costs and being long-lived investments, construction type become important. Low speed operated railway lines could not satisfy the modern-day’s needs. Most of existing lines are capable of upgrade and has potential for high speed. If there is an existing line in

planned area for railway construction, at least two alternative routes should be created for feasibility report by considering geometric standards of both newly built and upgraded high speed lines defined in TSI and CEN. Also construction type should be chosen carefully by considering results.

A comparison was made between upgraded high-speed lines and newly built high-speed lines based on geometrical specification differences in this study.

**Keywords:** High speed railways, geometric standards, upgraded railway lines

## 1. Giriş

Dünya’da teknolojinin ilerlemesi, seyahat imkanlarının artması, ticaret hacminin büyümesi, üretimin belirli bölgelerde yoğunlaşması gibi nedenler ulaşım verimliliğinin artmasına neden olmuştur. Günümüzde ulaşım gereksinimlerinin en büyük payı karayolları tarafından karşılanmaktadır fakat hızla artan ulaşım ihtiyaçları karşısında sürdürülebilir alternatifler göz önüne alınmaktadır. 20.yüzyılda demiryollarının ulusal düzeyde kalması, düşük hızlarda işletilmesi ve karayolu öncelikli ulaştırma planları demiryollarının gelişme sürecini geciktirmiştir. 1964 yılında Japonya’nın ilk defa işleme açtığı yüksek hızlı demiryolları, 1990’lı yıllarda Avrupa’da ve 2000’li yıllarda Asya ve ülkemizde yapılmaya başlanmış ve demiryollarının ulusal olması gerektiği fikrinden vaz geçilerek uluslararası demiryolu ağı altyapısı oluşturulmaya başlanmıştır.

Yüksek hız teknolojisiyle birlikte demiryollarının avantajları ve modern dünyaya uyumu daha görülmüştür. Günümüzde ulaştırma sistemlerinde aranan özelliklerden yüksek taşıma kapasitesi, enerjiyi verimli kullanma, çevreye duyarlı, çevresel koşullardan az etkilenen ve düşük arazi kullanımına sahip demiryollarına düşük hızlarda işletildiği için geçmişte yeterli yatırım yapılmamıştır fakat hız limitlerinin aşılması ve zaman kazandırma avantajının da ortaya çıkmasıyla günümüzde dünyada hızla büyümektedir. En kalabalık nüfusa sahip ve üretimin en çok yapıldığı ülke olan Çin bu yoğun insan ve ticari mal dolaşımına çözüm olarak 2008 yılından günümüze kadar yaklaşık 26,000 km’lik yüksek hızlı hat yapmış ve 10,000 km’lik hat yapmaktadır.

Pahalı ve uzun ömürlü yatırımlar olan demiryollarının yapım şekli önem kazanmaktadır. Düşük hızlarla işletim yapılan konvansiyonel demiryolu hatları günümüzde ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Bu mevcut hatlar geometrik özelliklerinin iyileştirilmesiyle yüksek hızlı demiryolu işletim potansiyeli olan hatlardır. Demiryolu yapılması planlanan bir bölgede mevcut hat bulunmakta ise TSI ve CEN’de hem yeni yapılan hem de iyileştirilen hatlar için belirlenen geometrik standartlarla oluşturulacak alternatif güzergahlar fizibilite sürecinde iyi irdelenmeli ve yapım şekline karar verilmelidir.

## 2. Yüksek Hızlı Demiryolları

### 2.1. Tanım

Dünyada standart bir tanımı olmamakla beraber 70 ülkeye ait 196 kuruluşun üyesi olduğu Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) günümüzde, yüksek hızlı demiryollarını:

- Tren setlerinde; konvansiyonel araçlarda kullanılan lokomotif-çekilen araç sistemi yerine ağırlık güç dengesini sağlayacak yüksek hızlara uygun aerodinamik tasarımı olan özel tren setleri bulunması,

- Altyapıda; eğer konvansiyonel hatların iyileştirilmesiyle oluşturulduysa en az 200-220 km/sa hıza uyumlu olacak şekilde yatay ve düşey eğimlere, travers ve ray kalitesine sahip olunması,
- Sinyalizasyon sisteminde; 200 km/sa hızın üzerinde yol kenarı sinyallerinin kullanılmamasından dolayı araç içi sinyalizasyon sistemi bulunması,

durumlarının birlikte sağlandığı hatları yüksek hızlı demiryolu hatları olarak tanımlamaktadır.

Yüksek hızlı demiryolları için yapılan bir diğer tanımlama da Avrupa Birliği Parlamentosu tarafından 23 Haziran 1996 tarihinde aldığı 1692/96/EC sayılı kararında:

- Yeni yapılan hatlar için 250 km/sa ve üzeri hızlara uygun,
- Mevcut hatların iyileştirilmesiyle oluşturulmuş hatlarda 200 km/sa hıza uygun,
- Topografik yapı, şehir planlaması gibi nedenlerle hızların düşürülmesi gereken hatlar
- Yüksek hızlı hatlarla konvansiyonel hatları bağlayan ara hatlar

olarak tanımlanmıştır[1].

## 2.2. Yüksek Hızlı Demiryollarının Dünyadaki Gelişimi

Sanayi devrimi sonrası gelişen demiryollarında teknoloji ilerledikçe hızlar da zamanla artmıştır. 1829 yılında zamanının hızlı demiryolu olarak görülen George Stepson'ın "Roket" lokomotifi 50 km/sa hıza ulaşabiliyordu. 1850'lere gelindiğinde sırasıyla 100 km/sa ve 130 km/sa hızlara 20. Yüzyıl başlarında ise 200 km/sa hızlara ulaşılabilmiş ve bu hızlar döneminin hız rekorları olarak kaydedilmiştir. 1930'larda ortalama 135 km/sa hızla işletilen ve 180 km/sa hıza ulaşabilen hat bulunmaktaydı [2]. Günümüzde ise yüksek hızlı hatlarda ulaşılan maksimum hız 2007 yılında 574,8 km/sa ile Fransa TGV hattındadır.

Modern yüksek hızlı demiryollarının ilk işletilmeye başlandığı hat ise 1964 yılında Japonya Shinkansen hatlarında 210 km/sa hızla işleme açılan Tokyo Osaka hattı olmuştur. Hat uzunluğu 515 km, konvansiyonel Japon demiryollarından farklı olarak ekartman genişliği 1435 mm olan bu hatta sadece yüksek hızlı tren işletimi yapılmaktadır. Japonya'nın bu yatırımının başarılı olması ve teknolojik gelişmeler sonunda Avrupa ülkelerinden ilk olarak Fransa TGV hattında 1981 yılında Paris Lyon arasında 260 km/sa işletim hızıyla dünyadaki ikinci yüksek hızlı demiryolu hattını açmıştır. 1991 yılında Almanya ICE hattında Hannover-Würzburg ve Mannheim-Stuttgart hatları, 1992 yılında İtalya'da ve İspanya AVE hattında, 1997 yılında Belçika'da, 2003 yılında HS1 hattında İngiltere'de, 2004 yılında Güney Kore'de, 2007'de Tayvan'da, 2008'de Çin'de ve 2009'da Hollanda ve Türkiye'de yüksek hızlı hatlar açılmıştır.

## 3. Geometrik Standartlar

Demiryollarında seyir hızlarının artırılması, araç teknolojilerinin dışında üzerinde seyrettiği hattın geometrisine ve teknik özelliklerine bağlıdır. Yüksek hızlarda güvenli ve konforlu seyir için TSI(Technical Specifications for Interoperability) ve CEN (European Committee for Standardization) hat geometrileri için sınırlar tanımlanmıştır. Geometrik standartlar hatların hız, yapım şekli ve işletim durumlarına göre tanımlanmıştır. 21 Mart 2001'de yayınlanan Avrupa Komitesi 2001/290/EC komisyon önerisinde ve 23 Temmuz 1996'da yayınlanan 96/48/EC sayılı Komite kararında hatlar yapım şekilleri ve hızlarına göre üç gruba ayrılmıştır:

- Kategori I: Yüksek hızlı hat olarak yapılan 250 km/sa. ve üzeri hızlara uygun hatlar,

- Kategori II: Yüksek hızlı hatta uygun olarak iyileştirilen 200 km/sa. hıza uygun hatlar,
- Kategori III: Yüksek hızlı hatta uygun iyileştirilen fakat topografik yapı, şehir planlaması gibi sebeplerle düşük hızlarla işletilen hatlar

olarak tanımlanmıştır.

Diğer bir tanımlama 26 Nisan 2011 tarihinde Avrupa Komitesi tarafından yayınlanan 2011/275/EU sayılı kararda hatlar yapım şekli ve işletim durumlarına göre; Çizelge 1'deki gibi yapılmıştır.

Çizelge 1: TSI hatların sınıflandırılması[3].

Hat Kategorileri	Trafik Tipi		
	Yolcu trafiği	Yük Trafiği	Karma trafik
Yeni Yapılan Ana TEN Hatları(IV)	IV-P	IV-F	IV-M
İyileştirilmiş Ana TEN Hatları (V)	V-P	V-F	V-M
Yeni Yapılan Diğer TEN Hatları (VI)	VI-P	VI-F	VI-M
İyileştirilmiş diğer TEN Hatları (VII)	VII-P	VII-F	VII-M

CEN EN 13803-1 standardına göre ise sınıflandırma hız, işletim durumu ve yüksek hızlarda yapım şekline göre;

- Kategori I: 80 km/sa ile 120 km/sa hız aralığında karma işletim yapılan hatlar,
- Kategori II: 120 km/sa ile 200 km/sa hız aralığında karma işletim yapılan hatlar,
- Kategori III: 200 km/sa ile 300 km/sa hız aralığında karma işletim yapılan hatlar,
- Kategori IV: 250 km/sa hıza kadar ulaşan karma işletim yapılan iyileştirilmiş hatlar,
- Kategori V: 250 km/sa ile 300 km/sa hız aralığında yolcu trafiğine ayrılmış yüksek hızlı hatlar

olarak tanımlanmıştır[4].

Yüksek hızlı demiryolu hatlarında güvenli ve konforlu işletimin sağlanabilmesi için hatların; maksimum eğimleri, yatay kurp yarıçapları, düşey kurp yarıçapları, dever, eksik dever, fazla dever gibi parametreler yönetmeliklerce sınırlandırılmıştır.

### 3.1 Eğim

Demiryollarında karayollarıyla karşılaştırınca aracın sürtünme yüzeyinin az olması boyuna eğimli yerlerde frenleme ve hızlanmada daha fazla enerji harcanmasına neden olmaktadır. Büyük eğimlerde araçların çekiş gücüne bağlı olarak ağır yük trenlerinin büyük eğimleri aşması zorlaşır ve yüksek hızlı trenlerin eğimli bölgelerden inişlerde frenleme mesafelerinin artmasına neden olur. Eğimsiz bir hat oluşturmak ise sanat yapılarının, kazı ve dolgu işlerinin dolayısıyla inşa maliyetlerinin artmasına neden olur. Buna göre demiryolu hatlarının eğimleri güvenli ve ekonomik olacak optimum düzeylerde olmalıdır.

İyileştirilen hatlarda; TSI (2008/217/EC sayılı komisyon kararı)'da tanımlanan kategori II ve kategori III hatlar için boyuna eğim değeri yeni yapılan hatlardan daha düşük olması gerektiği belirtilmiştir. Mevcut olan hatta zorunluluktan dolayı değişiklik yapılamayacak bölgeler dışında eğim değerlerinin araçların eğim üzerinde çekiş ve frenlemesi için uygun kriterlerde olması gerekir.

Yeni yapılan hatlarda; TSI (2008/217/EC sayılı komisyon kararı)'da tanımlanan kategori I hatlar için maksimum boyuna eğim değeri 35 mm/m (%3,5) ve aşağıdaki koşulları sağlayan eğim değerleri olarak tanımlanmıştır.

- Eğimli bölgenin uzunluğu 10 km ve üzerinde ise eğim değeri 25 mm/m (%2,5) veya daha küçük değerde olmalıdır.
- 35 mm/m (%3,5) eğim maksimum 6 km boyunca uygulanabilir.
- Yolcu platformlarının olduğu bölümlerde eğim 2,5 mm/m (%0,25) değerinden düşük olmalıdır.

### 3.2 Yatay Kurp Yarıçapı

Demiryolu hattının plan üzerinde eğimli olduğu bölümleri yatay kurp olarak tanımlanır. Bu kurpun yay merkezine olan mesafesine de kurp yarıçapı adı verilir. Güzergahın kurp bölümleri hattın hız kapasitesini en çok etkileyen bölümlerdendir. Aracın kurp üzerindeki hareketi, araç üzerinde yanal bir kuvvet oluşmasına neden olur. Seyir hızı ve kurpun yarıçapının büyüklüklerine göre araç üzerinde oluşan yanal kuvvet hem seyir güvenliği hem de konfor için istenmeyen bir durumdur ve önlem alınması gerekmektedir. Kurpta oluşan bu yanal kuvvet deraymana, vagon yüklerinin araç içerisinde yer değiştirmesine, titreşime, hattın ya da aracın belli bölümlerinde aşınmaya neden olur ve alınabilecek önlemler kurp yarıçapını büyütmek, kurp içinde dış rayı iç raya göre yükseltmek ya da hızı düşürmektir[5].

CEN EN13803-1 Bölüm 4.2.1'e göre hat güzergahını tasarayanlara, hat tasarımında ileride olabilecek hız artışlarını göz önünde bulundurarak imkanlar dahilinde seçilebilecek en büyük kurp yarıçapının seçilmesi tavsiye edilmiştir ve minimum kurp yarıçapı olarak 180 metre belirlenmiştir. Kurp yarı çapı belirlenirken izin verilen minimum kurp yarıçapı denklem 1'de maksimum kurp yarıçapı denklem 2'de verilmiştir.

$$R = \frac{11.8}{D+I} \cdot V_{\max}^2 \quad (1)$$

$$R = \frac{11.8}{D-E} \cdot V_{\min}^2 \quad (2)$$

R = Kurp yarıçapı (m)

D = Dever (mm)

I = Eksik dever (mm)

E = Fazla dever (mm)

$V_{\max}$  = Maksimum işletme hızı (km/sa)

$V_{\min}$  = Minimum işletme hızı (km/sa)

CEN EN 13803-1'e göre yatay kurp yarıçapının en düşük normal değeri 190 m izin verilen en düşük değer ise 150 m'dir. Bu limit değerler kullanılan hatlarda hızlar 80 km/sa hızların altına düşmesi gerektiği için yüksek hızlı hatlarda yatay kurp yarıçapı değeri maksimum ve minimum işletim hızları, dever, eksik ve fazla dever değerleri kullanılarak denklem 1 ve denklem 2'ye göre belirlenmelidir.

İyileştirilmiş hatlarda; denklem 1 ve denklem 2'ye göre 250 km/sa, 230 km/sa, 200 km/sa maksimum ve 120 km/sa, 100 km/sa ve 80 km/sa minimum hızlara göre sınır eksik ve fazla deverler göz önünde bulundurulurken örnek kurp yarıçapları verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2: Denklem 1 ve denklem 2'ye göre hesaplanan yatay kurp yarıçapı değerleri

Max İşletim Hızı (km/sa)	Min İşletim Hızı (km/sa)	Dever (mm)	Eksik dever (mm)	Fazla dever (mm)	Minimum Kurp yarıçapı (m)
250	120	175	100	110	2680
250	100	150	100	110	2950
250	80	134	100	110	3150
230	100	166	130	110	2110
230	80	143	130	110	2290
200	80	160	150	110	1520

Yeni yapılan hatlarda; denklem 1 ve denklem 2'ye göre 300 km/sa, 280 km/sa, 250 km/sa maksimum ve 120 km/sa, 100 km/sa ve 80 km/sa minimum hızlara göre sınır eksik ve fazla dever değerleri göz önünde bulundurularak örnek kurp yarıçapları verilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3: Denklem 1 ve denklem 2'ye göre hesaplanan yatay kurp yarıçapı değerleri

Max İşletim Hızı (km/sa)	Min İşletim Hızı (km/sa)	Dever (mm)	Eksik dever (mm)	Fazla dever (mm)	Minimum Kurp yarıçapı (m)
250	120	175	100	110	2680
250	100	150	100	110	2950
250	80	134	100	110	3150
280	120	153	80	110	3970
280	100	138	80	110	4240
280	80	127	80	110	4470
300	120	146	80	110	4720
300	100	134	80	110	4960
300	80	125	80	110	5180

### 3.3 Düşey Kurp Yarıçapı

Demiryolu hattının boyuna (kesit) görünüşünde farklı eğimli iki bölge arasında geçiş bölgesi düşey kurp olarak tanımlanır. Kurbu oluşturan yayın merkezine olan mesafesine ise düşey kurp yarıçapı adı verilir. Aracın farklı eğimler arasında geçişinin ani olması araçta ve rayda çarpma etkisine neden olup istenmeyen bir kuvvet oluşmasına neden olur. Düşey kurp oluşturularak güvenli seyir ve yolcu konforu için bu geçiş bir parabole dönüştürülerek bu etkinin giderilmesi sağlanır.

Düşey kurp yarıçapı, maksimum hız ve düşey ivme değerlerine bağlı olarak EN 13803-1 standardı 4.2.11 bölümünde verilen denklem 3'e göre belirlenir.

$$R_v = \frac{v_{\max}^2}{12,96 \cdot a_v} \geq (R_v)_{\lim} \quad (3)$$

$R_v$  = Düşey kurp yarıçapı (m)

$V_{max}$  = Maksimum işletme hızı (km/sa)

$a_v$  = Düşey ivme ( $m/s^2$ )

İyileştirilen hatlarda; denklem 3'e göre hesap yapabilmek için limit düşey ivme ve minimum düşey kurp yarıçapı değerleriyle ilgili yönetmelikte kategori IV hatlar için belirlenen sınır değerler göz önünde bulundurulmalıdır (Çizelge 4).

Çizelge 4 : Düşey kurp yarıçapı ve düşey ivme limit değerleri

Trafik kategorisi	Kategori IV
Düşey kurp yarıçapının önerilen limit değeri (m)	$0.35 V_{max}^2$
Düşey kurp yarıçapının minimum limit değeri (m)	$0.25 V_{max}^2$
Düşey ivmenin önerilen limit değeri ( $m/s^2$ )	0.22
Düşey ivmenin maksimum limit değeri ( $m/s^2$ )	0.31

Yeni yapılan hatlarda; denklem 3'e göre hesap yapabilmek için limit düşey ivme ve minimum düşey kurp yarıçapı değerleriyle ilgili yönetmelikte kategori V hatlar için belirlenen sınır değerler göz önünde bulundurulmalıdır (Çizelge 5).

Çizelge 5 : Düşey kurp yarıçapı ve düşey ivme limit değerleri

Trafik kategorisi	Kategori V
Düşey kurp yarıçapının önerilen limit değeri (m)	$0.35 V_{max}^2$
Düşey kurp yarıçapının minimum limit değeri (m)	$0.175 V_{max}^2$
Düşey ivmenin önerilen limit değeri ( $m/s^2$ )	0.22
Düşey ivmenin maksimum limit değeri ( $m/s^2$ )	0.44

### 3.4 Dever

Demiryolu hattının yatay kurp bölümlerinde oluşan yanal kuvveti dengelemek için dış ray iç raya göre yükseltilerek önlem alınır. İç ray ile dış ray arasındaki bu yükseklik farkı dever olarak adlandırılır ve milimetre cinsinden ifade edilir. Demiryolu hatlarında yük ve yolcu trenleri işletiminin birlikte yapılma olasılığı hız değerlerinin ve aracın düşey yüklerinin değişmesi veya araçların kurp üzerinde durması durumunda devrilmenin engellenmesi ve tekrar hareket edebilmesi için dever değerlerine yönetmeliklerce sınırlar koyulmuştur. Yük trenlerinin güvenliğini ve yolcu trenlerinin konforunu sağlayabilecek optimum dever değeri seçilerek hattın tasarlanması gerekmektedir.

TSI'da tanımlanan kategori I, kategori II ve kategori III hatlarda dever limit değeri 180 mm olarak tanımlanmıştır ve  $\pm 20$  mm toleransa izin verilmiştir. Sadece yolcu işletimi yapılan hatlarda maksimum limit olarak 200 mm'ye kadar yükseltilebilmektedir.

TSI'da başka bir limit değeri 26 Nisan 2011 tarihinde Avrupa Komitesi tarafından yayınlanan 2011/275/EU sayılı kararda;

- Kategori V-P, VII-P, IV-P ve VI-P için dever limit değeri 180 mm
- Kategori V-F, V-M, VII-F, VII-M, IV-F, IV-M, VI-F ve VI-M için dever limit değeri 160 mm

olarak verilmiştir.

CEN EN 13803-1'de tanımlanan iyileştirilmiş hat olan kategori IV hatlar için önerilen limit dever değeri 160 mm maksimum limit değeri ise 180 mm olarak tanımlanırken, yeni yapılan hat olan kategori V hatlar için önerilen limit dever değeri 160 mm maksimum limit değeri ise 200 mm olarak tanımlanmıştır.

### 3.5 Eksik Dever

Demiryolu hattında belirlenen dever değerine uygun hızdan daha hızlı kurba giren araçlarda olması gereken dever değeri, mevcut deverden fazla olacağı için mevcut dever aracın hızının gerektirdiği deverden eksik kalmaktadır. Kurpta izin verilen maksimum hız için oluşan bu aradaki fark eksik dever olarak adlandırılır.

Eksik dever CEN EN13803-1 bölüm 4.2.3'te verilen denklem 4'e göre belirlenir.

$$I = 11,8 \cdot \frac{V_{max}^2}{R} - D \leq I_{lim} \quad (4)$$

I = Eksik dever (mm)

$V_{max}$  = Maksimum işletme hızı (km/sa)

R = Yatay kurp yarıçapı (m)

D = Dever (mm)

$I_{lim}$  = Yönetmeliklerce belirlenmiş eksik dever limiti

TSI'da izin verilen eksik dever değerleri çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 : TSI'ya göre eksik dever limit değerleri

Hız aralığı (km/sa)	Önerilen eksik dever limiti (mm)	Maksimum izin verilen eksik dever limiti (mm)		
		Kategori I	Kategori II	Kategori III
$V \leq 160$	160	180	160	180
$160 < V \leq 200$	140	165	150	165
$200 < V \leq 230$	120	165	140	165
$230 < V \leq 250$	100	150	130	150
$250 < V \leq 300$	100	130	x	x
$300 < V$	80	80	x	x

İyileştirilen hatlarda; CEN EN 13803-1'e göre tanımlanan kategori IV hatlarda eksik dever değeri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 7).



Çizelge 7 : EN 13803-1'e göre eksik dever limit değerleri

Trafik kategorisi	Kategori IV			
	Önerilen limit (mm)		Maksimum izin verilen limit (mm)	
	Hız aralığı (km/sa)	Yük	Yolcu	Yük
V<160	110	160	160	180
160 < V ≤ 200	X	150	X	165
200 < V ≤ 230	X	130	X	160
230 < V ≤ 250	X	100	X	150

Yeni yapılan hatlarda; CEN EN 13803-1'e göre tanımlanan kategori V hatlarda eksik dever değeri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8 : EN 13803-1'e göre eksik dever limit değerleri

Trafik kategorisi	Kategori V			
	Önerilen limit (mm)		Maksimum izin verilen limit (mm)	
	Hız aralığı (km/sa)	Yük	Yolcu	Yük
V = 250	X	100	X	150
V > 250	X	80	X	130

### 3.6 Fazla Dever

Demiryolu hattında belirlenen dever değerine uygun hızdan daha yavaş kurba giren araçlarda olması gereken dever değeri, mevcut deverden az olacağı için mevcut dever aracın hızının gerektirdiği deverden fazla kalmaktadır. Kurpta izin verilen minimum hız için oluşan bu aradaki fark fazla dever olarak adlandırılır.

Fazla dever CEN EN13803-1 bölüm 4.2.4'te verilen denklem 5'e göre belirlenir.

$$E = D - 11,8 \cdot \frac{V_{\min}^2}{R} \quad (5)$$

E = Fazla dever (mm)

$V_{\min}$  = Minimum işletme hızı (km/sa)

R = Yatay kurp yarıçapı (m)

D = Dever (mm)

İyileştirilen ve yeni yapılan hatlar için CEN EN 13803-1 bölüm 4.2.4'e göre fazla dever değeri limit değerleri;

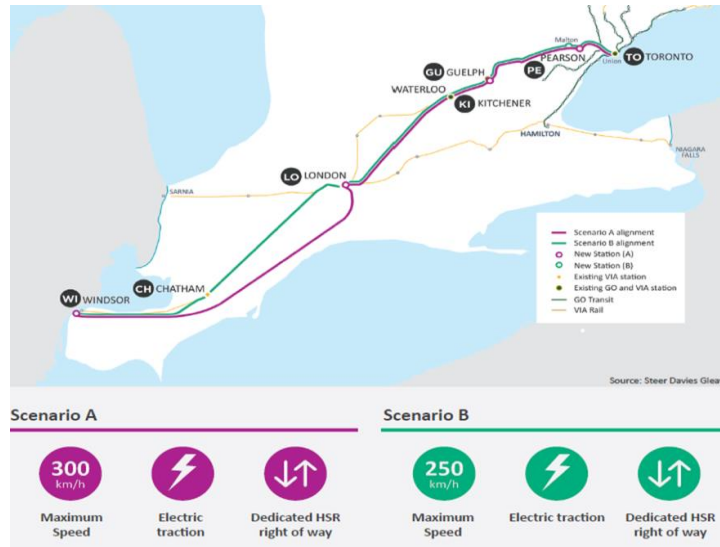
- önerilen limit değeri 110 mm,
- maksimum limit değeri 130 mm
- yolcu trenleri için maksimum limit değeri 110 mm

olarak tanımlanmıştır.

#### 4. İyileştirilen ve Yeni Yapılan Hatların Karşılaştırılması

İyileştirilerek yüksek hıza uygun hale getirilen ve yeni yapılan yüksek hızlı demiryollarının TSI ve CEN'de tanımlanan geometrik standartları karşılaştırıldığında hatların önerilen geometrik değerlerinin demiryolu yapım şeklinden bağımsız, araçların işletim hızlarına bağlı olduğu görülmektedir. Bu iki uygulama şeklinin farkı planlama ve yapılacak yatırım sırasında ortaya çıkmaktadır. Ekonomik olarak büyük yatırımlar gerektiren demiryollarının bu iki uygulama arasındaki en büyük farkı da inşaa maliyetleri olduğu görülmektedir. İyileştirilen hatlarda mevcut güzergah üzerinde değişiklikler yapıldığı için yeni yapılan hatlara göre daha az dolgu ve yarma işleri yapılmakta ve bu da maliyetleri doğrudan etkilemektedir. Planlama aşamasında iyileştirilen hatlarda mevcut olan hat üzerinde değişiklikler yapıldığı için bazı bölgelerde kurp yarıçaplarını büyütme topografik şartlardan dolayı sanat yapısı yapmayı gerektirir fakat yeni yapılan hatlarda güzergah seçiminde iyileştirilen hatlara göre daha özgür olduğu için sanat yapısı oranı en az olacak şekilde güzergah seçimi yapılabilmektedir yine de örnekler incelendiğinde iyileştirilen hatların yeni yapılan hatlara göre inşaa maliyetleri daha düşük çıkmaktadır.

Örneğin Steer Davies Gleave şirketinin Kanada'nın Ontario Eyaleti Ulaştırma Bakanlığı için 2016 yılında hazırladığı Toronto ve Windsor şehirleri arasında yapılacak yüksek hızlı demiryolu hattı fizibilite raporunda mevcut olan hattın iyileştirilmesinin fayda maliyet oranı açısından tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir [6]. Bu rapor oluşturulurken Toronto ve Windsor arasında 300 km/sa hızla işletilecek yeni bir hat ve 250 km/sa hızla işletilecek mevcut olan hattın iyileştirilmesiyle yüksek hıza uygun hale getirilen hat olarak sırasıyla A ve B senaryoları oluşturulmuştur. Bu iki senaryo stratejik, ekonomik ve finansal olarak karşılaştırılmıştır. Bu raporda yapılan stratejik karşılaştırmalar çizelge 9'da, ekonomik karşılaştırmalar çizelge 10'da ve finansal karşılaştırmalar çizelge 11'de verilmiştir.



Şekil 1 : Toronto-Windsor arasında oluşturulan hat senaryoları [6].

Çizelge 9:Toronto-Windsor arasında oluşturulan hat senaryolarının stratejik olarak karşılaştırılması [6].

	Senaryo A (300km/sa hızla işletilecek yeni hat)	Senaryo B (250 km/sa hızla işletilecek iyileştirilmiş hat)
Ulaşım süresi	115 dakika	124 dakika
2041 yılına kadar yıllık yolcu talebi	11.6 milyon	10.6 milyon
CO <sub>2</sub> salımı	7.9 milyon ton	7.8 milyon ton
2041 yılında YHD'nin ulaştırma sistemleri arasındaki payı (mevcut %0)	%12	%11

Çizelge 10:Toronto-Windsor arasında oluşturulan senaryoların ekonomik olarak karşılaştırılması [6].

	Senaryo A (300km/sa hızla işletilecek yeni hat)	Senaryo B (250 km/sa hızla işletilecek iyileştirilmiş hat)
Fayda maliyet oranı	0.32 (düşük)	0.70 (orta düzey)
Net bugünkü değer	-43.0 milyar \$	-8.55 milyar \$
Toronto-London arasındaki bölümün fayda maliyet oranı	0.36 (düşük)	1.02 (yüksek)
Toronto-London arasındaki bölümün net bugünkü değer	-31.9 milyar \$	+0.4 milyar \$
Gelecekte finansal performansını artırma olasılığı	Çok düşük	Daha fazla optimizasyon ve senaryonun geliştirilmesiyle fayda maliyet oranı yükseltilebilir.
60 yıllık işletme masrafları	5.29 milyar \$	5.29 milyar \$
60 yıllık yenileme masrafları	5.93 milyar \$	3.97 milyar \$

Çizelge 11: Toronto-Windsor arasında oluşturulan senaryolarının finansal olarak karşılaştırılması [6].

	Senaryo A (300km/sa hızla işletilecek yeni hat)	Senaryo B (250 km/sa hızla işletilecek iyileştirilmiş hat)
Gelir	Güzergah genelinde işletme masraflarını karşılayabilir ve Toronto-London arasında işletme masraflarından fazla gelir elde edilebilir	Güzergah genelinde işletme masraflarını karşılayabilir ve Toronto-London arasında işletme masraflarından fazla gelir elde edilebilir
Yenileme masrafları	10.1 milyar \$	6.7 milyar \$
İşletme masrafları	12.5 milyar \$	12.5 milyar \$
Gelir tahmini	13.4 milyar \$	12.9 milyar \$
Toplam gider	79.9 milyar \$	40.4 milyar \$

İncelenen Toronto-Windsor örneğinde iki uygulama şekli için de işletim hızlarının farkı talep üzerinde çok büyük değişiklik yaratmamıştır ve her iki hat için de elde edilecek tahmini gelir, işletme masraflarını karşılayacak düzeydedir. İki uygulama şekli için de hazırlanan bu fizibilite raporunda elde edilecek tahmini gelir, yıllık yolcu potansiyeli, işletme masrafları, ulaşım süreleri ve CO<sub>2</sub> salınımları birbirlerine yakın olmakla birlikte yeni yapılan 300 km/sa'lik hızla işletilecek hat, iyileştirilmiş hatta göre

daha iyi bir performans göstermektedir. Bu performans farkı, iki hattın inşa ve araç maliyetleri farkından daha düşük olduğu için bu raporda daha uygun olan yapım şekli olarak iyileştirilerek yüksek hıza uygun hale getirilen Senaryo B önerilmektedir.

Örneğin Japonya'da topoğrafik koşulların elverişsiz olması ve mevcut hatların ekartman genişliklerinin dar olması yüksek hızlı demiryolu hattı inşa edilirken, Japonya'yı diğer ülkelere göre kilometre maliyeti yüksek yeni hatlar yapmaya zorlamıştır. Fransa'da topoğrafik koşulların uygun olması ve mevcut hatların iyileştirilebilir durumda olması yüksek hızlı hat yapımında kilometre maliyeti düşük yeni hatlar ve mevcut hatların iyileştirilmesiyle yüksek hıza elverişli hatlar yapılmasına olanak sağlamıştır. Her demiryolu projesi, yapılacak bölgenin topografik yapısı, yapacak devlet ya da özel sektörün ekonomik imkanları, işletim süresince istenen proje hızı gibi faktörlerden dolayı benzersiz olduğu için her projede ekonomik ve geometrik değerler farklı olmaktadır. Demiryolu yatırımı yapılacak bölgede farklı güzergahlar göz önünde bulundurularak ön çalışmalar iyi irdelenmeli ve yapım şekline karar verilmelidir.

## **Kaynaklar**

- [1] Directive 2008/57/EC of The European Parliament and of The Council  
URL:<<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:191:0001:0045:EN:PDF>>
- [2] UIC High Speed Rail Fast Track to Sustainable Mobility brochure, 2015
- [3] Comission Decision of 2011/275/EU (2011, Nisan). Concerning a Technical Specification for Interoperability Relating The Infrastructure Subsystem of The Trans-European Conventional Rail System,URL:<<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011D0275&from=EN>>
- [4] CEN EN13803-1\_v1 (2004). Railway applications- Track alignment design parameters-Track gauges 1435 mm and wider-part 1
- [5] Öztürk Z. , Arlı V. (2009). Demiryolu Mühendisliği
- [6] Steer Davies Gleave (2016, Kasım). Preliminary Business Case for High Speed Rail on the Toronto to Windsor Corridor

# CHANGING BALLASTED HIGH SPEED RAIL TRACKS TO SLAB TRACK;

## A CASE STUDY OF TURKISH STATE RAILWAYS

<sup>1</sup>M. Emin Akay, <sup>2</sup>Şeyda Ceylan

Karabuk University Engineering Faculty, Dept. of Rail System Engineering, 7805, Karabuk, Turkey.

BETRA Company, Pamukova, Sakarya, Turkey

### ABSTRACT

An efficient transport mode is an indicator of development level of any country. Rail transport mode has important role among the other modes with its economical impact, environmentally friendly and higher level of cruise safety. Since 2009, Turkey has established high speed rail network (HSR) and with 1213 km network HSR has been serving 7 provinces including nearly 30 millions population.

Ballasted track is applied on TCDD's HSR lines. Ballasted track provides low construction cost in the beginning phase, but due to frequent maintenance needed and higher maintenance expenses, ballasted track is chosen less versus slab track application. First HSR application was started in Japan in 1964 with ballasted track as Tokaido line, later on slab tracks were chosen on following lines. Slab tracks are precast concrete body, and applied as concrete plates on rail lines. In this work, changing procedure of ballasted track to slab track in TCDD high speed rail network and evaluation of application were examined.

**Key Words:** Ballasted and slab track, TCDD, high speed railway, economic and technical evaluation

### ÖZET

Verimli bir ulaştırma modu, bir ülke için gelişmişlik seviyesinin bir göstergesidir. Demiryolu ulaşımı da sektörler arasında; ekonomikliği, evre dostu olması ve yüksek seyir güvenliğiyle öne çıkmaktadır. Türkiye de, 2009 yılından itibaren yüksek hızlı tren (YHT) taşımasıyla tanışmış olup, 2018 yılı verilerine göre; 1.213 km hat uzunluğuyla 7 vilayette 30 milyona yakın nüfusu doğrudan etkileyen bir taşıma modu kullanılmaktadır.

TCDD YHT hatlarında "Balastlı yapı" kullanılmıştır. İnşa maliyeti düşük olan balastlı yapı teknolojisi, sık bakım ihtiyacı ve yüksek bakım giderleri nedeniyle, dünyada daha az kullanılır olmakta, onun yerine "Slab Track" hat yapısı tercih edilmektedir. İlk Shinkansen hattının 1964 de açıldığı Tokaido hattını izleyen YHT uygulamaları Slab track kullanmaya başlamış ve zaman içinde, balastlı yapı terkedilmiştir. Traversleri taşıyan zeminin, "beton plakalar biçiminde üretilip demiryolu hatta monte edilmesi" şeklinde uygulanan bu teknoloji Precast olarak da anılmaktadır. Bu alışma ile TCDD'nin YHT şebekesinin Slab Track'a dönüşümü getireceği yararlar incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Balastlı ve balastsız hat, TCDD, yüksek hızlı demiryolu, ekonomik ve teknik değerlendirme

# FUTURE TRAIN STATIONS POWERED WITH RENEWABLE ENERGY

Beyhan Kilic<sup>1\*</sup> and Erkan Dursun<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Yildiz Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Istanbul, Turkey, e-mail: beykilic@yildiz.edu.tr

<sup>2</sup> Marmara University, Faculty of Technology, Electrical&Electronics Engineering, Istanbul, Turkey, e-mail: erkandursun@marmara.edu.tr

## Abstract

Compared to the other transport modes public railway systems are the most energy efficient mode. However, in proportion to increasing urbanizing and passenger load, intensive energy demand has been challenged in the railway sector. This increasing requires to innovative implementation solutions for the reduction of the energy consumption and reducing carbon emission. Railway stations are critical public buildings due to their large size and high occupant density. Because of vast open spaces and long operation hours, railway stations are intensive energy consumer. Integration innovative technologies to the railway station buildings is a step to achieve the goal of energy consumption and emission reduction. The energy efficiency measures and renewable energy using at the railway systems are still limited numbers, although many studies have been worked. In this paper the applications of solar energy to urban railway stations were examined for different countries, the potentials of solar technology application to the station platform roofs of the will be discussed. In this context, simulation of the application of the surface PV panels necessary for the energy consumption of the urban railway station is studied for the case of Istanbul metropolitan based on the quantitative data.

**Keywords:** solar energy, energy efficiency, railway systems

## 1. Giriş

The energy need in urban areas have been increasing in paralel with population growth and economic improvement. However, supplying energy from the fossil fuels causes environmental pollution and climate change problems. In addition to that, fossil energy resources depletion is another severe problem in around the World. Therefore, to contend with the depletion of fossil energy resources and environmental pollution, supplying energy from the renewable energy sources becomes compulsory[1].

The world's population lives mostly in cities, expected to increase to 70% until 2050. The citizen's activities in an urban area like business, education, inhabiting and transport require significant energy flows[1]. Providing mass transport by public transport vehicles especially by railway systems in urban areas have been accepted as a development indicator. The railway systems provide, safe, and fast transport in urban areas and relieve traffic congestions. Besides, railway systems consume less energy

to transport more passengers, compared to buses and private car, therefore are regarded as an environmental-friendly. The International Association of Public Transport (uitp) published a report, railway system energy consumption is 0.12 kWh/passenger-km. It is stated this value is less seven times

than high way motor cars[2]. However, the large-scale railway systems serve for great numbers of passengers in metropolitan areas, accordingly a huge amount of energy is consumed for public transportation .

Renewable energy sources and energy efficiency applications in urban and intercity transport are the primary agenda in the world. In this context The European Union published a strategic energy technology plan(set-plan) [3]. Hence, the railway operating companies tend towards reducing energy consumption, and improving energy efficiency, and supplyign energy from the local renewable energy sources. EU railways are estimated to use %35, renewable energy sources by 2020 [4] In urban areas, renewable energy using is limited by solar energy. Hence, solar rail projects are applied around the world are a step toward achieving the goal of emission reduction and energy savings in railway station buildings.

Merely 1.05% of energy was produced by solar panels in the World in 2015. The International Energy Agency has declared that solar energy can be the largest provider of electrical energy until 2050. The cost of solar panels has fallen consistently and governments are supporting investment subsidy for solar projects. Solar power could provide energy for powering trains, stations and trackside technologies. [5]

The objectives of the study are to look at some successful, solar-integrated railway station buildings from around the world. A simulation for the Marmaray terminal station Ayrılıkçesme was executed for roof-mounted solar panels.

## **2. Solar Energy Applications in Urban Railways around The World**

In this section some successful applications for solar-integrated railway station buildings around the world are examined. The Japan government plans to install PV systems to railway stations which have 53 GW power until 2030. In this coverage East Japan Railway Company and Tokyo university joint venture installed 200 kW power PV system on the rooftop of the Takasaki railway station [6-7].

1870 m<sup>2</sup> of PV panels were integrated on the roof of the railway station of Lehrter in Berlin. The high-performance monocrystalline cells were used with the efficiency of 16 %. The solar system will produce 189 kW peak and supply half of energy need of the station. The whole system will generate about 160000 kWh [8].

The biggest solar railway station in the world is built on the bridge over Thames river with over 4 400 photovoltaic panels, which produce 900 000 kWh electrical power per year, providing 50% from the energy needs of the station and reducing the carbon emissions by 511 tonnes per year. The panels cover an area of over 6 000 square meters over a railway tunnel 3.218 km long [9].

In Austria, Regional Rail Link installed more than 100 solar panels to supply power in the station. These stations have the Green Star certification [11]. The Delhi Metro Rail Corporation (DMRC) has installed 500 kW worth of solar panels on one of its stations (Dwarka Sector 21) as shown in fig4. Given that the Delhi Metro has 140 stations, that alone – at an average of 200 kW – is 28 MW of solar power, enough to power quite a few metro rail cars [12-13].

## **3. PV Panel Integration to Railway Stations**

The railway stations transfer many passengers, therefore the application of renewable energy to station buildings, platforms make aware people about renewable energies. There are platform roofs at urban railway systems which run surface. The station roofs are suitable for the application of solar panels, also it is possible and esthetically vision. Preliminarily, some pilot projects are applied for demonstration, then

application becomes widespread. The small-scale solar panel applications are evaluated as cost-effective solutions[14]. The station energy consumptions are taken as a reference to size the panels.

For the best conditions 10 m<sup>2</sup> standard PV panel produce one kWp value and produce an approximately 1200 kWh/ year electricity. The energy production continues during the daytime and the correlation between energy peak production value and the peak value of energy consumption at the station are not good. Therefore, power management systems will be required[14]. PV system applications to platform roofs have problems to solve such as shading of surrounding buildings, conflicting of stations energy load and solar energy production in day time, and investment cost, respectively

### 3.1. The Factors That Effects Energy Production of Solar Panels

The factors affecting energy production of the PV panels can be specified as direct shading, active surface angle, solar panel temperature. The most common problems are high trees, high buildings which can prevent solar radiation. These criteria must be taken into consideration while choosing the station for solar panel application. When deciding on a location for PV a shading analysis is required. The seasonal differences affect solar energy production. The incidence angle of solar irradiance differs by day time and seasons. The non-tracking PV systems should incline South, the inclination angle directly related to the latitude of the district. High temperature severely reduces the solar energy output. It can reduce the energy output by 10% to 25%. If the temperature rises over 25 °C, the energy conversion efficiency will decrease at the ratio 5-8%[15]. The efficiency of the PV cells differs according to the used technology. Monocrystal cells have the best efficiency with 16%. Polycrystal cells have the most expensive and 14% efficiency. Amorphous cells have 12% efficiency, flexible and, better production, the lower radiation [16].

The primary factor for the energy output of solar panels is solar radiation [17]. The electrical energy output of the PV system was calculated by solar radiation and shadow analysis[18]. To simplify the calculation,

The average local values of solar irradiation were used in the literature, such as 1700 kW h/m<sup>2</sup> for South Europe, 1000 kW h/m<sup>2</sup> for Central Europe, 1117 kW h/m<sup>2</sup> for Switzerland, 2017 kW h/m<sup>2</sup> for Gobi Desert of China, 1800 kW h/m<sup>2</sup> for U.S., 1427 kW h/m<sup>2</sup> for Japan, 1530 kW h/m<sup>2</sup> for Italy [19-20]. NASA's website provides information about the average solar irradiation of a specific area[21]. The estimating of solar irradiation is possible by using software tools for a certain month or season.

The assumptions and simplifications, and empirical data were used for determining the energy output of the PV system as the following :

PV application can be the stand-alone or the grid connected. The storage components are needed for stand-alone systems [22]. The energy conversion efficiencies were assumed for the analyzed PV panels. The all component losses are included, like the inverter, cables, and transformer. The performance ratio was assumed as default values to be viz. 0.75 for roof-integrated PV systems and 0.8 for ground systems or other local values can be used [23]. Lifetime: The expected lifetime is 30 years for PV silicon panels. After determining these assumptions the annual energy output can be determined. The calculated energy output can differ from the measured power output. Because during the operating conditions of PV systems, energy losses can occur caused by the environmental conditions, such as, the increasing of cell temperature, the angle of inclination, the layer of dust, the partial shadow, and so on.



#### 4. The Marmaray Metro: a case study

For the fast-growing cities of Turkey, urban railway systems have already become the most critical investment item in recent years. 18 Turkish cities are planning to open light rail lines by 2023 as the government targets a 50% share for transport in the budget in 2023 [24]. In the current situation, 12 cities have railway public transport system in urban areas [25]. In this study roof-integrated solar panel simulation will be executed for the surface terminal station of the Marmaray metro which has two surface terminal and three underground stations, connects The Europe and Asia continent. Marmaray Ayrılıkçeşme terminal station's rooftop is shown in Figure 1. The Ayrılıkçeşme surface station has been chosen for the simulation because of the extended platform and there are no high building around the station. Hence, the shading factor is low.



Figure 1. Marmaray ayrılıkçeşme terminal station left: platform sight, right: aerial view

In the following, It will be presented the simulation for implementing of solar energy in Marmaray Ayrılıkçeşme station and offer an example of the implementation of solar systems in the railway system in Istanbul.

In order to simulate the energy production of a PV system, the PVWatts® Model of NREL (National Renewable Energy Laboratory) of the U.S. Department of Energy is used [26]. The block diagram of the designed solar system was shown in fig 2.

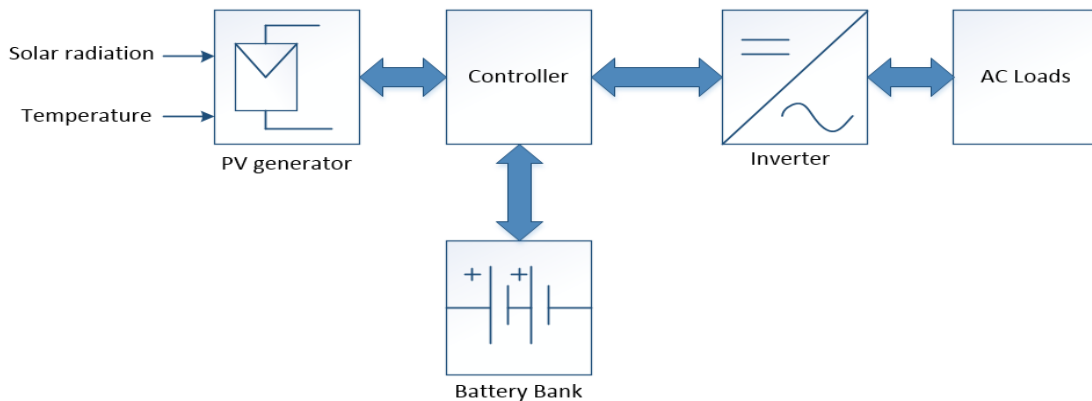


Figure 2. The PV system' block diagram used in the simulation.

Modeling equation of a PV stand-alone system performance are

given by (2) and (3) respectively, both for PV generator and inverter efficiency; then energy calculations are developed [27-28].

The angle of incidence of solar radiance for fixed systems is given by (1) as follows,

$$\alpha_{fixed} = \cos^{-1} [\sin(\theta_{sun}) \cos(\gamma - \gamma_{sun}) \sin(\beta) + \cos(\theta_{sun}) \cos(\beta)] \quad (1)$$

$\alpha_{fixed}$  :angle of incidence for fixed systems

$\beta$ : surface tilt

$\gamma$ : surface azimuth

$\gamma_{sun}$ : solar azimuth

$\theta_{sun}$ : solar zenith

$$P_{dc} = \frac{I_{solar}}{1000} P_{ref}(1 + \gamma(T_{cell} - T_{ref})) \quad (2)$$

$P_{dc}$ : the DC power produced by the pv panel

$T_{ref}$  :Reference temperature, 25 °C

$T_{cell}$ : Cell temperature

$I_{solar}$  : transmitted solar irradiance

$P_{ref}$  : the DC power at  $T_{ref}$

$$\eta = \frac{\eta_{nom}}{\eta_{ref}} \left( -0.0162 \cdot \zeta - \frac{0.0059}{\zeta} + 0.9858 \right) \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{P_{dc}}{P_{ref}} \quad (4)$$

$$P_{ref} = \frac{P_{acref}}{\eta_{nom}} \quad (5)$$

$\eta$ : inverter efficiency

$\eta_{nom}$ :nominal efficiency=0.96

$\eta_{ref}$ : reference inverter efficiency=0.9637

$P_{acref}$ : AC nameplate rating

The average Daily solar radiation is given by (6),

$$DSR_m = \frac{0.001 \sum_m DSR_{hourly}}{\text{number of days in month } m} \quad (6)$$

where

$DSR_m$ : the average daily solar radiation for each month  $m$

$DSR_{hourly}$ : the average hourly solar radiation

The meteorological data of Marmaray Ayrılıkçeşme terminal station district is given in table 1 and the designed system criteria are given in table 2.

Table 1. Meteorological data of Marmaray Ayrılıkçeşme terminal station district

	Air temperature (°C)	Relative humidity (%)	Precipitation (mm)	Daily solar radiation-horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Atmospheric pressure (kPa)	Wind speed (m/s)	Earth temperature (°C)	Heating degree-days (°C-d)	Cooling degree-days (°C-d)
January	6.0	78.2%	119.07	1.68	98.4	4.9	4.1	372	0
February	5.6	76.2%	113.34	2.45	98.3	4.9	4.9	347	0
March	7.5	74.5%	95.03	3.65	98.1	4.7	8.6	326	0
April	12.0	71.6%	68.88	4.82	97.9	4.1	14.5	180	60
May	16.8	70.5%	45.07	6.27	97.9	4.2	20.3	37	211
June	21.6	67.3%	34.84	7.21	97.8	4.1	24.9	0	348
July	24.3	66.4%	20.97	7.30	97.8	5.0	27.2	0	443
August	24.3	68.3%	31.68	6.41	97.8	5.1	26.7	0	443
September	20.8	69.4%	59.73	5.01	98.1	4.4	23.1	0	324
October	16.2	75.2%	101.48	3.14	98.4	4.5	17.1	56	192
November	11.3	76.9%	111.04	1.91	98.4	4.5	10.1	201	39
December	7.8	78.5%	154.69	1.38	98.4	5.1	5.4	316	0

Table 2. System design criteria

Latitude	40.97° N
Longitude	28.82° E
DC System Size	214.3 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
Array Tilt	41°
Array Azimuth	180°
System Losses	14.08%
Inverter Efficiency	96%
DC to AC Size Ratio	1.2
Average Retail Electricity Rate	0.083 \$/kWh
Capacity Factor	13.70%

Table 3. Simulation results for Marmaray Ayrılıkçeşme Station Rooftop solar power system

Month	Solar Radiation (kWh/m <sup>2</sup> /day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	1.94	10939	908
February	2.38	12170	1010
March	3.30	18448	1531
April	4.68	24447	2029
May	5.71	30100	2498
June	6.56	32511	2698
July	6.68	33950	2818
August	6.07	30959	2570
September	5.20	25885	2148
October	3.43	18187	1510
November	2.20	11696	971
December	1.47	8254	685
Annual	4.14	257546	21376

The simulation results for the Marmaray Ayrılıkçeşme Station rooftop PV systems are given in Table 3.

Annual solar power generation from the for Marmaray Ayrılıkçeşme Station Rooftop is 257,547 kWh/Year. The produced solar energy can be used for platform lightings or elevators. A pilot application will be an example for the other urban surface railway systems in other cities.

## 5. Conclusion

The station platform roofs in urban railways have great potential to install PV panels and produce electric energy. The planning and installation of the PV panels integrated-station roofs were a particular challenge in every respect. Particular challenges are optimization and control of the PV installation, cost-benefit analysis, payback times. In this study, the example successful applications of PV panels in railway stations were examined all over the world. A simulation was realized for the Marmaray metro line. Solar projects were realized with project supports and government subsidies around the world. Likewise, in Turkey the solar pilot projects on railway stations can be executed. PV panel installation on station roofs can be used widely in case of the price of PV panels decrease. The PV systems will be used widely in near future by decreasing investment costs. The railway station roofs have great potential for integrating PV systems. The cities of Turkey which have railway systems are spread in different climate zones, specific designs need to meet the requirements for the different local environment.

## References

- [1] James Keirsteada, Mark Jenningsa, Aruna Sivakumar, A review of urban energy system models: approaches, challenges and opportunities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6), 3847–3866, 2012
- [2] energy efficiency contribution of urban rail systems, <http://www.uitp.org/publications>(accessed on 24 August 2018)
- [3] Strategic Energy Technology Plan, <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan>
- [4] Rail Transport and Environment, <https://uic.org/uic-cer-facts-figure> 2015
- [5] <https://www.smarttrailworld.com/7-global-rail-projects-harnessing-the-power-of-solar-energy>
- [6] Hitoshi Hayashiya, Hiroshi Yoshizumi, Takashi Suzuki, Necessity and the possibility of smart grid technology application EAST JAPAN RAILWAY COMPANY, [www.jereast.co.jp](http://www.jereast.co.jp)
- [7] Takeshi Igarashi, Teruhisa Kumano, Hitoshi Hayashiya & Toshiaki Takino Efficiency improvement of the rooftop photovoltaic system at the railway station, *Journal of International Council on Electrical Engineering*, 7:1, 41-50, 2017
- [8] Photovoltaic Solar Energy Best Practice Stories, European Commission, PV façade at railroad station Lehrter EC- [https://www.eea.europa.eu/.../Issues\\_No\\_27\\_content.pdf](https://www.eea.europa.eu/.../Issues_No_27_content.pdf)
- [9] <http://www.eusew.eu>
- [10] <http://www.energymatters.com.au/>, Source: <http://www.enfinitycorp.com>
- [11] <http://www.regionalraillink.vic.gov.au/>
- [12] Pankil b shah, "Analysis And Applications of Solar and Flywheel Energy Storage System in Indian Railway, *Indian journal of applied research*, 5(6), 2015
- [13] <http://abcofsolar.com/trains-solar-power>
- [14] EUREC AGENCY, FP7 Research Priorities for the Renewable Energy Sector, 2005, <http://www.eurec.be>
- [15] Marco Barra Caracciolo, Roberto Faranda, Sonia Leva. , Photovoltaic Applications in railway stations, 19th Int. Conf. On Electricity Distribution, [www.cired.net/publications/.../CIRED2007\\_0702\\_paper.pdf](http://www.cired.net/publications/.../CIRED2007_0702_paper.pdf), 21-24 May 2007

- [16] A. Keyhani, "Design of Smart Grid Power Grid Renewable Energy Systems", Wiley-IEEE Press, 2011.
- [17] Optimal Strategy to Innovate and Reduce energy consumption in urban rail Systems(OSIRIS 7.çerçeve project), EC Contract No. FP7 – 284868, 2013 final version.
- [18] By Yong Jiang, Jianqiang Liu Wei Tian, Mohammad Shahidehpour, and Mahesh Krishnamurthy, Energy Harvesting for the Electrification of Railway Stations IEEE Electrification Magazine, 29-39, 48, 2014
- [19] LIU Jianhua! , WANG Jin! , TAN Zhi! , MENG Ying2, XU Xiaoping, The analysis and application of solar energy PV power, 2011 The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, 1696-1700,2011, www.apap2011.org, pp
- [20] Jinqing Peng, Lin Lu, HongxingYang, Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews 19, 255–274, 2013
- [21] <https://www.nasa.gov>
- [22] PVTRAIN - The application of innovative photovoltaic technology to the railway trains,[http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=2061&docType=pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=2061&docType=pdf)
- [23] [www.metro-report.com](http://www.metro-report.com), 38-39, Spring 2017
- [24] <https://tr.railturkey.org/2014/09/18/turkiye-metro-tramvay-sistemleri/>
- [25] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [26] Aron P. Dobos, PVWatts Version 1 Technical Reference, <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60272.pdf>
- [27] Afshin Izadian, Arash Pourtaherian, Sarasadat Motahari, Basic model and governing equation of solar cells used in power and control applications, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition ,1483-1488, 2012
- [28] Javier Cubas \*, Santiago Pindado and Carlos de Manuel, Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical Formulation and the Lambert W-Function, Energies, 7, 4098-4115, 2014,

# 2001 YILI SONRASI TÜRKİYE’DE RAYLI SİSTEMLER EĞİTİMİ VE İSTİHDAMI İNCELEMESİ

İrfan AKIN<sup>1\*</sup> ve Mustafa Okan ÇALIOVA<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Raylı Sistemler Teknolojisi Mezunları Derneği, Eskişehir, Türkiye, e-mail: i.akin@rstder.org

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Teknolojisi Mezunları Derneği, Eskişehir, Türkiye, e-mail: okancaliova@rstder.org

## Özet

Raylı sistemler eğitimi, 1856 yılında demiryolu çalışmalarının ülkemizde başlamasıyla zorunluluk haline gelmiştir. İhtiyaçlar doğrultusunda eğitim planlamaları yapıp personel istihdamına başlanmıştır. 1998 yılında kapatılan Demiryolu Meslek Okulu, 2001 yılında Anadolu Üniversitesinde açılan Raylı Sistemler Teknolojisi bölümü ile yeni bir eğitim dönemi başlamıştır. Bu çalışmamızda 2001 sonrası raylı sistemler eğitimi ve istihdamı incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Raylı Sistemler, Eğitim, İstihdam

## Abstract

Educations on railway systems became a necessity in 1856 when railway operations started in our country. Education plans were made in line with the needs and personnel recruitment started. The railway vocational school, which was closed in 1998, started a new education period with the Department of Railway Systems Technology opened in 2001 at Anadolu University. In this study, the education and employment of trained systems after 2001 were examined.

**Keywords:** Railway System, Education, Recruitment

## 1. Giriş

İzmir – Aydın demiryolu hattının imtiyazının verildiği 23 Eylül 1856 Türk Demiryollarının kuruluş tarihi olarak kabul edilmektedir [1]. 1856 yılından günümüze raylı sistemler eğitimi zorunluluk haline gelmektedir. Demiryolu fabrikalarında nitelikli işçi çalıştırabilmesi için Çırac Okulları açılmıştır. Okul daha sonra isim değiştirip Pratik Sanat Okulu olarak 1990 yılına kadar devam etmiştir. 1942 yılında açılan Demiryolu Meslek Okulu ise 1998 yılına kadar TCDD bünyesine nitelikli personel ihtiyacını

karşılamiştir. Bu çalışmada 2001 yılında Raylı Sistemler Teknolojisi bölümünün Anadolu Üniversitesi bünyesinde açılmasıyla gelişen eğitim ve istihdam sürecinden bahsedilmiştir.

## 2. Genel

Raylı Sistemler eğitimi; ortaöğretim, ön lisans ve lisans olmak üzere 3 farklı düzeye ayrılmaktadır. Ortaöğretim düzeyinde 23 okulda, Ön lisans düzeyinde 10 üniversite 13 meslek yüksekokulunda, lisans düzeyinde 1 okulda eğitim süreci devam etmektedir.

Ortaöğretim düzeyinde;

- Raylı Sistemler Teknolojisi Elektrik – Elektronik,
- Raylı Sistemler Teknolojisi İnşaat,
- Raylı Sistemler Teknolojisi İşletme,
- Raylı Sistemler Teknolojisi Makine,
- Raylı Sistemler Teknolojisi Mekatronik dallarında eğitim verilmektedir. Eğitimini başarıyla tamamlayan öğrenciler, TCDD ve bağlı ortaklıklarında; Vagon Teknisyeni, İşçi, Tren Teşkil Görevlisi, Mekanik Vasıta Cihaz ve Vinç Operatörü olarak istihdam edilirler. Özel sektör kuruluşlarında teknisyenlik ve işçilik yapabilirler.

Ön lisans düzeyinde ise;

- Raylı Sistemler Elektrik ve Elektronik Teknolojisi,
- Raylı Sistemler İşletmeciliği,
- Raylı Sistemler Makine Teknolojisi,
- Raylı Sistemler Makinistlik,
- Raylı Sistemler Yol teknolojisi programlarında eğitim verilmektedir. Eğitimini başarıyla tamamlayan öğrenciler, TCDD ve bağlı ortaklıklarında; Tekniker, Sürveyan, Hareket Memuru ve İşçi Makinist olarak çalışabilirler. Özel sektör kuruluşlarında; Teknisyenlik, Makinistlik, Süpervizör, Operatörlük ve İşçilik yapabilirler.

Lisans düzeyinde sadece Raylı Sistemler Mühendisliği bölümünde eğitim verilmektedir. Eğitimini başarıyla tamamlayan öğrenciler, kamu ve özel sektör kuruluşlarında mühendislik yapabilirler.

### 2.1. Ortaöğretim Düzeyinde Ders Müfredatları

Ortaöğretim düzeyinde mesleki dersler[2];

- Alt Yapı Elemanları,
- Araçlarda Hidrolik ve Pnömatik Sistemler,
- Arazi Ölçme Hesapları,
- Bilgisayar Destekli Çizim,
- Cisimlerin Dayanımı,
- Devre Analizi,
- Elektrik Devre Bağlantıları,
- Endüstriyel Elektronik,
- Endüstriyel Elektronik Uygulamaları,
- Haberleşme Tesisatı,
- Kataner Sistemi,
- Maliyet Hesapları,
- Meslek Resim,
- Mesleki Gelişim,
- Programlanabilir Kontrol Sistemleri,
- Ray Kaynağı,
- Raylı Sistem Araç Elektriği,
- Raylı Sistem Araç Elektroniği,
- Raylı Sistem Araç Mekaniği,
- Raylı Sistem Araç Mekatroniği,
- Raylı Sistem Araçlarının Trafiki,
- Raylı Sistem Taşımacılığı,
- Raylı Sistemlerde İletişim,
- Raylı Sistemlerde Kapasite Hesapları,
- Raylı Sistemlerde Mikro Denetleyiciler,
- Sayısal Elektronik,
- Scada Sistemleri,
- Teknik Resim,
- Teknik Yabancı Dil,
- Temel Endüstriyel Teknolojileri,
- Temel Raylı Sistem Teknolojisi,



- Trafo Merkezi ve Elemanları,
- Tren Algılama, Koruma ve Kontrol Sistemleri,
- Tren Dinamiği,
- Tren Hazırlama ve Manevralar,
- Tren Trafik Yönetimi,
- Üst Yapı Elemanları,
- Üst Yapı Tekniği ve Tamirataı şeklindedir.

## **2.2. Ön Lisans Düzeyinde Ders Müfredatları [3]**

Raylı Sistemler Elektrik Elektronik Teknolojisi programında zorunlu dersler;

- Raylı Sistem Bilgisi,
- İş Güvenliği,
- Teknik Resim,
- Raylı Sistem Trafiği,
- Devre Analizi,
- Ölçme Tekniği,
- Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri,
- Enerji Tesisleri,
- Elektrikli İşletme Tesisleri,
- Haberleşme Teknolojisi,
- Elektronik,
- Demiryolu Haberleşmesi,
- Santral Teknolojisi,
- Teknik İngilizce,
- Sinyal Tekniği şeklindedir.

Raylı Sistemler İşletmeciliği programında zorunlu dersler;

- Raylı Sistem Bilgisi,
- İş Güvenliği,
- Teknik Resim,

- Genel İşletme,
- Genel Muhasebe,
- Raylı Sistem Trafiği,
- Tren Mekaniği,
- Ticaret Hukuku,
- Kara Ulaştırma Ekonomisi,
- Pazarlama,
- Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri,
- Raylı Sistem İşletmeciliği,
- Tren ve Vagon Planlama,
- Demiryolu Taşımacılığı,
- Halkla İlişkiler,
- İstatistik,
- Teknik İngilizce,
- Raylı Sistem Maliyet Analizi şeklindedir.

Raylı Sistemler Makine Teknolojisi programında zorunlu dersler;

- Raylı Sistem Bilgisi,
- İş Güvenliği,
- Teknik Resim,
- Elektrik Bilgisi,
- Statik Mukavemet,
- Raylı Sistem Trafiği,
- Makine Bilgisi,
- Malzeme,
- Tren Mekaniği,
- Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri,
- Motor Bilgisi,
- Elektrik Makineleri,
- Çeken Araçlar,
- Çekilen Araçlar,
- Tren ve Depo İlişkileri,

- Fren Tekniği,
- Teknik İngilizce Őeklinedir.

Raylı Sistemler Makinistlik programında zorunlu dersler;

- Raylı Sistem Bilgisi,
- İş Güvenliği,
- Teknik Resim,
- Elektrik Bilgisi,
- Statik Mukavemet,
- Makine Bilgisi,
- Raylı Sistem Trafiği,
- Malzeme,
- Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri,
- Motor Bilgisi,
- Elektrik Makineleri,
- Tren Mekaniği,
- Çeken Araçlar,
- Çekilen Araçlar,
- Telekomünikasyon Tekniği,
- Makinistlik Sinyal Tekniği,
- Tren Kullanma Teknikleri,
- Teknik İngilizce Őeklinedir.

Raylı Sistemler Yol Teknolojisi programında zorunlu dersler;

- Raylı Sistem Bilgisi,
- İş Güvenliği,
- Teknik Resim,
- Statik Mukavemet,
- Raylı Sistem Trafiği,
- Yapı Malzemeleri,
- Topografya,

- Zemin Mekaniği,
- Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemleri,
- Yol Alt yapısı ve Bakımı,
- Yol Makineleri,
- Köprüler ve Tüneller,
- Üst Yapı Tekniği ve Bakımı,
- Ray Kaynağı,
- Yol Projesi ve Demiryolu Tekniği,
- Teknik İngilizce şeklindedir.

### **2.3. Lisans Düzeyinde Ders Müfredatları [4]**

Raylı Sistemler Mühendisliği bölümünde zorunlu dersler;

- Raylı Sistemler Mühendisliğinin Temelleri,
- Bilgisayar Destekli Teknik Resim,
- Statik,
- Ölçme Tekniği,
- Mesleki Yabancı Dil,
- Diferansiyel Denklemler,
- Malzeme Bilimi,
- Termodinamik,
- Mukavemet,
- Dinamik,
- Raylı Sistemler Elektrik Elektroniği,
- Raylı Sistemler Dinamiği,
- Mekanizma Tekniği,
- Boji ve Süspansiyon Sistem Tasarımı,
- Raylı Sistemler Araç Mekaniği,
- Raylı Sistemler Mühendisliği Laboratuvarı,
- Bilgisayar Destekli Tasarım,
- Lokomotif ve Vagon Tasarımı,
- Sinyalizasyon,

- Bilgisayar Destekli Üretim,
- Kaynak Tekniği,
- Transport Tekniği şeklindedir.

### **3. İllere Göre Okul Dağılımları [5] [6]**

#### **3.1. Adana**

Adana Çukurova Kurttepe Şehit Ali Öztaş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde; Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Raylı Sistemler Makine dalları bulunmaktadır.

#### **3.2. Afyonkarahisar**

Afyonkarahisar Merkez Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler Makine dalı bulunmaktadır. Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksekokulunda, Raylı Sistemler Yol Teknolojisi programı bulunmaktadır.

#### **3.3. Amasya**

Amasya Üniversitesi Taşova Yüksel Akın Meslek Yüksekokulunda, Raylı Sistemler İşletmeciliği programı bulunmaktadır.

#### **3.4. Ankara**

Ankara Ayaş Naime – Ali Karataş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler İnşaat dalı, Polatlı Şehit Can Çalışkan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Makine dalı, Yenimahalle Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Makine ve Raylı Sistemler Mekatronik dalı bulunmaktadır.

#### **3.5. Bursa**

Bursa Osmangazi Şehit Ömer Halisdemir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde; Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Raylı Sistemler Mekatronik dalı bulunmaktadır.

#### **3.6. Çankırı**

Çankırı Merkez Çankırı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler İnşaat dalı bulunmaktadır.

### **3.7. Edirne**

Edirne Merkez Edirne Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler Elektrik Elektronik dalı bulunmaktadır.

### **3.8. Erzincan**

Erzincan Merkez Erzincan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler İnşaat, Erzincan Refahiye Çok Programlı Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Elektrik Elektronik dalı bulunmaktadır. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Kemah Yüksekokulunda Raylı Sistemler Makinistlik, Refahiye Meslek Yüksekokulunda; Raylı Sistemler Elektrik Elektronik Teknolojisi, Raylı Sistemler İşletmeciliği ve Raylı Sistemler Yol Teknolojisi programları bulunmaktadır.

### **3.9. Erzurum**

Erzurum Yakutiye Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler Makine ve Raylı Sistemler Mekatronik, Aziziye Raylı Sistemler Teknolojisi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde; Raylı Sistemler Elektrik Elektronik, Raylı Sistemler İnşaat ve Raylı Sistemler Makine dalları bulunmaktadır. Ayrıca bu okul Milli Eğitim Bakanlığı tarafından Tematik Okul Projesi kapsamında açılmıştır. Atatürk Üniversitesi Horasan Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler Yol Teknolojisi programı bulunmaktadır.

### **3.10. Eskişehir**

Eskişehir Odunpazarı Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Üniversitesinde, Raylı Sistemler Makine dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi Ulaştırma Meslek Yüksekokulunda; Raylı Sistemler Elektrik Elektronik Teknolojisi, Raylı Sistemler İşletmeciliği, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi, Raylı Sistemler Makinistlik ve Raylı Sistemler Yol Teknolojisi programları bulunmaktadır.

### **3.11. Gaziantep**

Gaziantep Şahinbey Mehmet Rüştü Uzel Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde; Raylı Sistemler Elektrik Elektronik, Raylı Sistemler İnşaat ve Raylı Sistemler Mekatronik dalları bulunmaktadır.

### **3.12. İstanbul**

İstanbul Bahçelievler Şehir Erol Olçok Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Raylı Sistemler İnşaat, Üsküdar Haydarpaşa Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Raylı Sistemler Makine dalları bulunmaktadır. Beykoz Üniversitesi Beykoz Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler İşletmeciliği programı bulunmaktadır.

### **3.13. Karabük**

Karabük Üniversitesi Eskipazar Meslek Yüksekokulunda, Raylı Sistemler Elektrik ve Elektronik Teknolojisi ve Raylı Sistemler Makinistlik, Yenice Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler Makine Teknolojisi programları, Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği bölümü bulunmaktadır.

### **3.14. Kırıkkale**

Kırıkkale Yahşihan Organize Sanayi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde, Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Raylı Sistemler Makine dalları bulunmaktadır.

### **3.15. Kocaeli**

Kocaeli Derince Çınarlı Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Elektrik Elektronik dalı bulunmaktadır.

### **3.16. Konya**

Konya Meram Kozağaç Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Mekatronik dalı bulunmaktadır.

### **3.17. Malatya**

Malatya Battalgazi Şehit Kemal Özalper Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler İnşaat ve Raylı Sistemler İnşaat dalları bulunmaktadır.

### **3.18. Muş**

Muş Alparslan Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler İşletmeciliği programı bulunmaktadır.

### **3.19. Niğde**

Niğde Ulukışla Ulukışla Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Elektrik Elektronik dalı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bor Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler Elektrik ve Elektronik Teknolojisi ve Raylı Sistemler Makine Teknolojisi programları bulunmaktadır.

### 3.20. Sakarya

Sakarya Adapazarı Fatih Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Mekatronik dalı bulunmaktadır.

### 3.21. Sivas

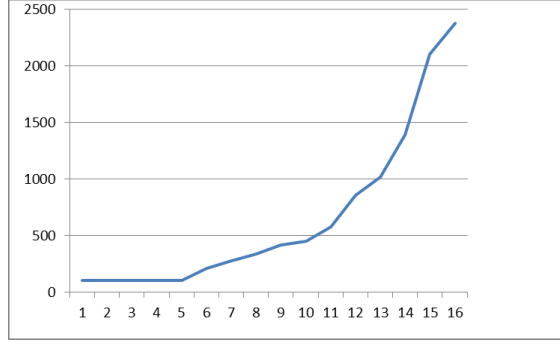
Sivas Merkez Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Raylı Sistemler Elektrik Elektronik ve Raylı Sistemler Makine dalı bulunmaktadır. Cumhuriyet Üniversitesi Hafik Kamer Örnek Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler İşletmeciliği, Sivas Meslek Yüksekokulunda Raylı Sistemler Makine Teknolojisi programları bulunmaktadır.

## 4. Mezun Sayıları

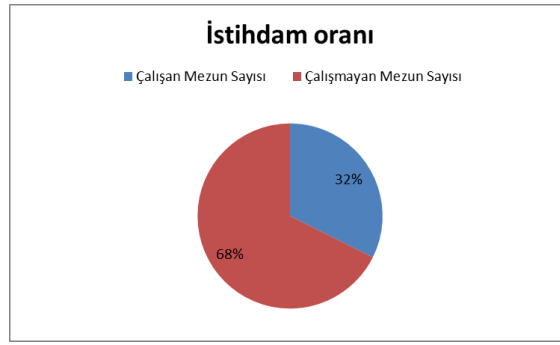
Çizelge 1. 2018 Toplam Mezun Sayısı

Yıl	Lise	Ön Lisans	Lisans	Toplam
2003	0	100	0	100
2004	0	100	0	100
2005	0	100	0	100
2006	0	100	0	100
2007	0	100	0	100
2008	109	100	0	209
2009	178	100	0	278
2010	175	160	0	335
2011	229	190	0	419
2012	236	215	0	451
2013	329	245	0	574
2014	359	500	0	859
2015	410	605	0	1015
2016	483	805	100	1388
2017	947	1025	130	2102
2018	1025	1200	150	2375
*2019	1276	1456	180	2912
*2020	1452	1500	187	3139
*2021	1672	1685	165	3522
*2022	1780		190	1970
Genel Toplam (günümüz)	4480	5645	380	10505
Genel Toplam (gelecek)	10660	15931	912	27503

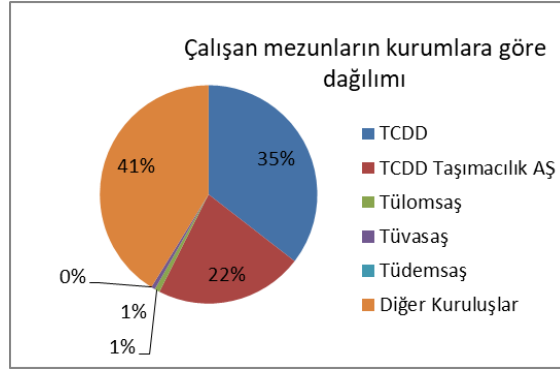




Şekil 1. Mezun sayısı artışı



Şekil 2. İstihdam oranı



Şekil3. Çalışan mezunların kurumlara göre dağılımı

## 5. Sonuç ve Öneriler

Sahada yapılan araştırmalara göre, raylı sistemler eğitimi veren okulların ve mezunlarının sayısının hızla arttığı gözlenmektedir. Mezun sayılarının devlet kurumlarının yıllık istihdam edebileceği rakamdan daha yüksek olması mezunları ve kuruluşları olumsuz etki altına almaktadır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında mezunlara yönelik özel sektör ihale şartnamelerinde; her okul türünden raylı sistemler mezunu çalışma zorunluluğu getirilmesi önem taşımaktadır. Eğitim ve istihdama yönelik sorunların yetkili kişi ve kurumlarca ele alınmasıyla sorunu çözüme kavuşturabilmek mümkün olacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Demiryollarının Tarihi Gelişimi Yayınlanmamış Ders Notları, Anadolu Üniversitesi, 2012
- [2] <http://www.megep.meb.gov.tr/?page=moduller> 2018.
- [3] <https://www.eskisehir.edu.tr/akademik/meslek-yuksekokullari/1402/ulastirma-meslek-yuksekokulu/bolumler> 2018
- [4] [http://muh.karabuk.edu.tr/raylisistemler/doc/syllabus/Syllabus\\_railway\\_tr.pdf](http://muh.karabuk.edu.tr/raylisistemler/doc/syllabus/Syllabus_railway_tr.pdf) 2018.
- [5] <http://mtegm.meb.gov.tr/TR/okullar.asp> 2018
- [6] <http://www.osym.gov.tr/TR,15288/2018-yks-yerlestirme-sonuclarina-iliskin-sayisal-bilgiler.html> 2018

# TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN İLK R350HT KALİTE RAYLARIN KAREKTERİZASYONU VE SERVİŞ ŞARTLARINDAKİ BAŞARISI

Ahlatcı, H.,\* Sun, Y., Esen, İ., Turan, E., Özçelik, S. and Tozlu, İ.

\* Karabük University, Karabük, Türkiye e-mail: hahlatci@karabuk.edu.tr

## Özet

Ulaşım sektörü, her yönüyle, ülkerin refah düzeyi için belirleyici bir parametredir. Özellikle sanayi ürünlerinin, nakliyesinin kolaylığı ve nakliye maliyetlerinin düşük olması önemlidir. Demiryolu ulaşımı bu noktada kolay, ucuz ve güvenli bir çözümdür. Tabiki bu çözümü uygulayabilmek için de yeterli demiryolu ağı ve altyapıya sahip olmak gereklidir. Bu ihtiyaca binaen, ülkemizde demiryolu sektörüne büyük yatırımlar yapılmaktadır. Demiryollarındaki gelişmelerle beraber ortaya çıkan daha kaliteli malzeme ihtiyaçları ve bu malzemelerin maliyetleri, ihtiyacın yerli kaynaklarla karşılanması fikrini ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda ülkemizin daha önceden kullanmadığı ya da ithal ederek kullandığı uzun ömürlü rayların yerli kaynaklarla imal edilmesi projelendirilmiş ve TÜBİTAK desteği ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş., Karabük Üniverstesi ve DATEM işbirliği ile, ülkemizde ilk kez EN 13674 standardına göre R350HT kalite mantarı sertleştirilmiş (uzun ömürlü) raylar üretilmiştir. Saha kondüsyonları ve aşınma profilleri incelenmiş, laboratuvar ve servis şartlarındaki başarıları ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, Uzun Ömürlü Ray, R350HT, Aşınma

## Abstract

The transport sector is a decisive parameter for the welfare of the country in all aspects. Particularly, it is important that the transportation of industrial products, ease of transportation and low transportation costs. Railway transportation is easy, cheap and safe at this point. Of course, it is necessary to have adequate rail network and infrastructure to implement this solution. With this need, large investments are made in the railway sector in our country. The need for higher quality materials and the costs of these materials together with the developments in the railroads brings up the idea of meeting the need with domestic resources. In this context, our country has previously imported or not used to be manufactured with domestic resources long-life rails have been designed and successfully produced with the support of TUBITAK.

In this study, the condition and wear profiles of the rugged rails of the R350HT quality mushroom hardened (long life) produced in accordance with the EN 13674 standard were investigated in cooperation with Kardemir AS, Karabük University and DATEM.

In this study, in accordance with EN 13674, R350HT quality head hardened (long life) rails were produced for the first time in Turkey in cooperation with Kardemir AS, Karabük University and DATEM. Field conditions and wear profiles were examined and their success in laboratory and service conditions were determined.

**Keywords:** Railway, Long Life Rail, R350HT, Wear

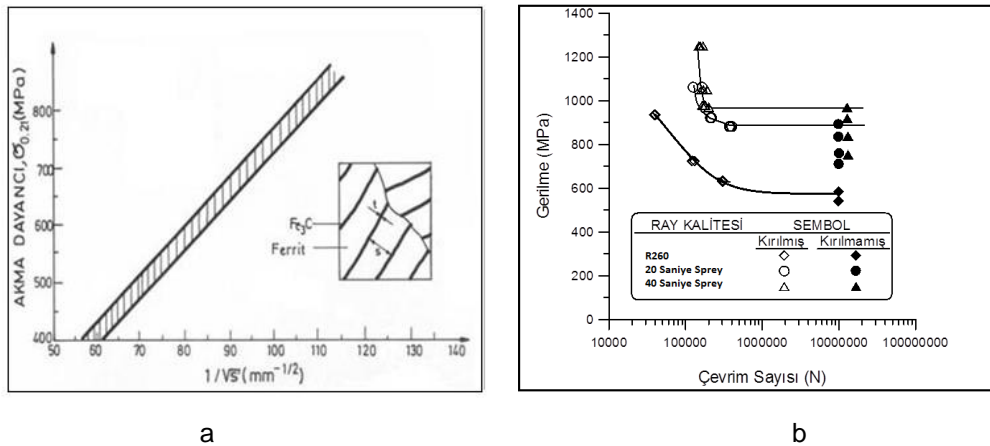
## 1. Giriş

Gelişmiş Ülkelerdeki demir yolu taşımacılığında yaklaşık son 10 yıldır mantarı sertleştirilmiş raylar önemli yer tutmaktadır. Bunun nedeni, yaygın olarak kullanılan R260 olarak bilinen perlitik rayların aşınma ve yorulma gibi zorlamalara karşı yeterince dayanıklı olmamasıdır. Perlitik mikroyapıda sementit kollarının kalınlığı ve perlit lamelleri arasındaki mesafeler mekanik özelliklere doğrudan etki etmektedir. Şekil 1.a'dan da görüleceği gibi perlit lamelleri arasındaki mesafenin azalması ve sementit kollarının daha ince olması akma dayanımını artırmaktadır. Perlit lamelleri arası mesafenin 150 nm'nin altında olduğu durumlarda sıkı dizili perlit olarak isimlendirilir, bu değer üstünde kalanlar ise kaba perlit olarak ifade edilir. Kaba perlitik mikroyapılar, rayların hızlı tren uygulamalarında ve dar yarıçaplı kurplarda daha çabuk hasar görmesine neden olmaktadır [1].

Günümüzde bu tip durumlarda R350 HT olarak adlandırılan, R260 kalite raylara ısıtılarak elde edilen raylar kullanılmaktadır. R 260 kaliteye kıyasla R 350HT raylarda perlit lamelleri arasındaki mesafe daraldığı ve daha sıkı olduğu için yaklaşık 350 HB mantar üstü sertliğe sahiptir. Aşınma daha çok mantar bölgesinde olduğu için sertleştirme işlemi mantar bölgesinde uygulanır. Rayların tren tekerleği temas noktası olan mantar yüzeyi, en çok zorlamaya maruz kalmaktadır. Dolayısıyla daha çabuk hasar görebilmektedir [2,3].

Bunu önlemek için bu bölgedeki perlit yapısı daha sıkı bir hale getirilir ve aşınmaya, yorulmaya karşı mukavim hale getirilir [1,4].

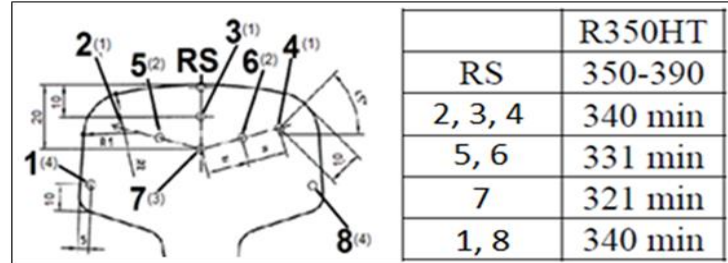
Laboratuar koşullarında, 150 mm uzunluğundaki R 260 kalite ray numunelerine, özel olarak dizayn edilmiş bir hızlandırılmış su verme sistemi ile, mantar sertleştirme ısıtılarak uygulandığında, mantar sertleştirme işleminin etkileri net bir şekilde görülmüştür. Isıl işlem görmemiş ve mantarı sertleştirilmiş raylardan "ISO 1143 Metallic Materials – Rotating Bar Bending Fatigue Testing" standardına uygun olarak numune çıkartılmış ve yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yorulma testleri kapsamında incelenen üç farklı kalite rayın Wöhler eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 1.b'de görülmektedir. [5,6].



Şekil 1. Perlit lamelleri arası mesafe ve akma mukavemeti ilişkisi (a) ve R260 kalite rayın, orijinali, 20 sn ve 40 sn süreyle mantar sertleştirme işlemi yapılmış örneklerine yapılan yorulma testi sonucu Wöhler eğrileri (b).

## 2. Deneysel Çalışmalar

İmalatı gerçekleştirilen rayların EN 13674 standardına göre R350HT kalite ray özelliklerini sağladığı kontrol edilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak sertlik ölçümü yapıp ve mikroyapı görüntüleri alınmıştır. EN13674 Standardında raylar için istenilen sertlik değerleri ve ray mantarındaki ölçüm noktaları şekil 2'de gösterilmiştir [7].



Şekil 2. EN 13674 standardına göre rayın mantar kesitinde sertlik ölçüm noktaları ve istenilen sertlik değerleri.

Sertlik ölçümleri, 72 metre uzunluğundaki rayların 20 cm uzunluğunda parçalara ayrılması ile 36 adet parçanın mantar kesitinden yapılmıştır. Mikroyapı görüntüleri, ray mantarından, SEM cihazı ile alınmıştır. EN 13674 standardına göre raylarda martenzit kesinlikle kabul edilmemektedir [7].

Takip eden süreçte, EN 13674 standardına göre rayların, yorulma testi, yorulma çatlak ilerleme testi, kırılma tokluğu testi ve kalıntı gerilme ölçümü yapılarak saha testlerine uygunluğu belirlenmiştir.

EN 13674 standardına göre ray numuneler yorulma testinde, 40Hz frekansta, R:-1 yükleme oranıyla, 0,00135 mm/mm gerilim değeriyle,  $5 \times 10^6$  çevrim sayısını hasara uğramadan tamamlaması gereklidir [7].

Yorulma çatlak ilerleme hızı için; EN 13674-1 standardına göre,  $\Delta K=10 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  için elde edilen değerin  $1.7 \times 10^{-5} \text{mm/Cycle}$  değerinden,  $\Delta K=13.5 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  için elde edilen değerin  $5.5 \times 10^{-5} \text{mm/Cycle}$  değerinden daha düşük olmalıdır. Yorulma çatlak ilerleme hızı testi için gerekli deney parametreleri tablo 1'de görülmektedir [7].

Tablo 1. EN 13674-1 standardına göre, yorulma çatlak ilerleme hızı testi için gerekli deney parametreleri.

Deney Parametreleri	Ön Çatlak Oluşturma	Yorulma Çatlak İlerleme Hızı Testi
Gerilme Şiddet Seviyesi	15 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$	8-15 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
Yükleme Oranı	0.5	0.5
Deney Frekansı	40 Hz	40 Hz
Mesnetler Arası Mesafe	180	180

Kırılma tokluğu testi için; EN 13674-1 standartlarına göre, R260 kalite rayın kırılma tokluğu değeri tek bir numune için en az 26  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  ve ortalama olarak 29  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  olmalıdır. R350HT kalite rayın kırılma tokluğu ise tek bir numune için en az 30  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  ve ortalama olarak 32  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$  olmalıdır. Kırılma tokluğu deneyinde, ön çatlak oluşturma parametreleri tablo 2'de görülmektedir [7].

Tablo 2. EN 13674-1 standartlarına göre, kırılma tokluğu deneyinde, ön çatlak oluşturma parametreleri.

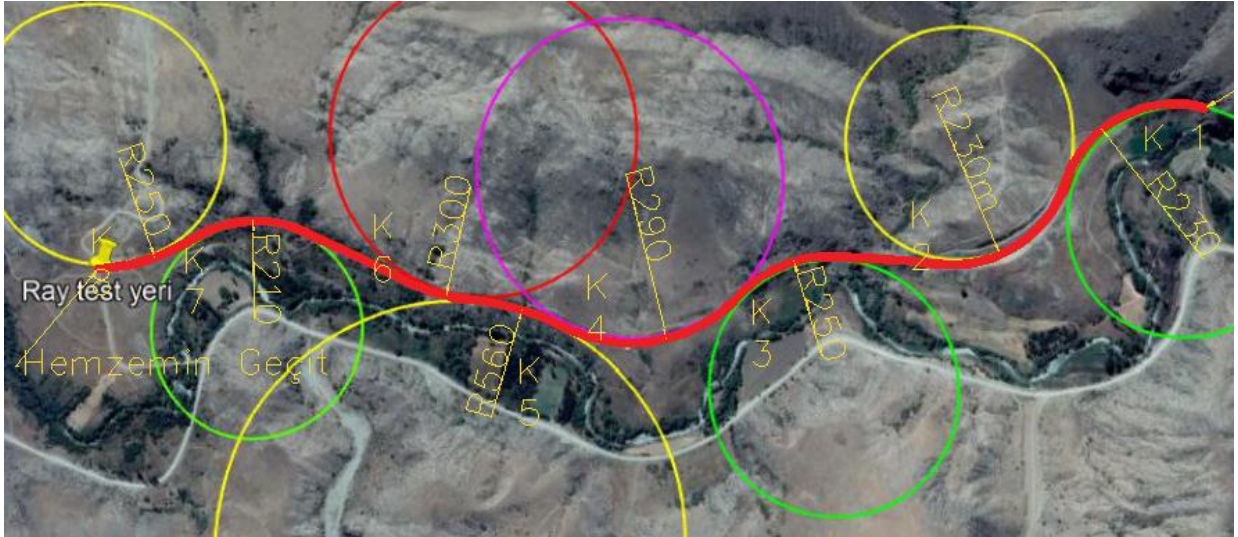
Deney Parametreleri	Ön Çatlak Oluşturma
Gerilme Şiddet Seviyesi	15 MPa√m
Yükleme Oranı	0.09
Deney Frekansı	40 Hz
Mesnetler Arası Mesafe	180

Kalıntı kesme

yapılmıştır. EN 13674 standasına göre, 1 metre uzunlukta rayın tam orta noktasında ve rayın taban kısmına yapıştırılan elektrik dirençli gerinim ölçer vasıtasıyla ölçüm yapılmaktadır. Raylarda müsaade edilen en yüksek kalıntı gerilme değeri 250 MPa'dır [7].

gerilme ölçümler metoduyla

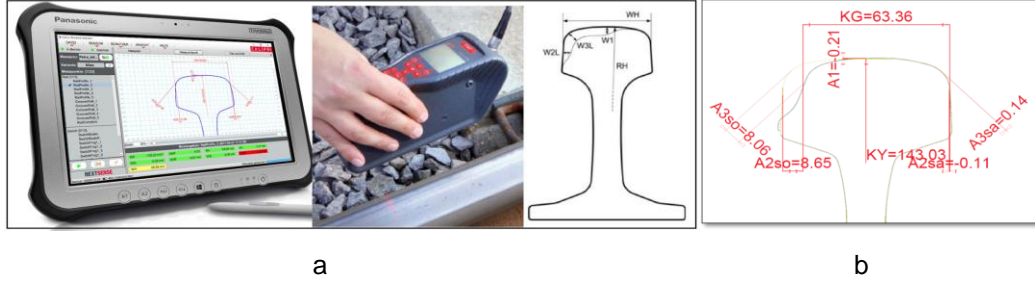
Laboratuvar testlerinden onay alan raylar saha testleri için Yozgat/Yerköy'de, şekil 3'de görülen geometrideki hatta, montajı yapılmış ve altı ay süreyle takip edilmiştir.



Şekil 3. Proje kapsamında üretilen R350HT kalite rayların saha testlerini yalıtıldığı test hattının uydur görüntüsü.

Deneme hattı genel olarak proje öngütüsü olarak imal edilen R350HT kalite raylardan oluşmaktadır. Fakat, hat içerisinde mukayese imkanı sağlamak için R260 kalite raylar da kullanılmıştır. Kurp içerisindeki davranışları karşılaştırmak için K1 isimli kurpta, düzyol davranışlarını karşılaştırmak için de K6 ve K7 isimli kurplar arasındaki düzyolda R260 kalite raylar kullanılmıştır.

Aşınma ölçümlerinde kullanılan ray profil ölçüm cihazı şekil 4.a'da, ölçüm sonrası alınan veriler ise şekil 4.b'de görülmektedir. Saha testleri süresince rayların üzerinden ortalama 17 ton dingil yüküne sahip trenler geçmiştir. Günlük en az 20 tren geçişi yapılan bu hatta test edilen raylar üzerinden, toplamda dingil başına 35000 ton yük geçmiştir.



Şekil 4. Saha testlerinde ray profillerindeki aşınma miktarlarını ölçmek için kullanılan Nextsense/Calpri profil ölçüm cihazı (a) ve ray profilinde yapılan ölçüm sonucu elde edilen veriler ve profil görünümü (b).

Saha çalışmalarında kullanılan raylar EN 13674 standardına göre R260 ve R350HT kalite ve 60E1 boyutlarındaki raylardır. bu rayların kimyasal kompozisyonları tablo 3'de, boyutları da tablo 4'de görülmektedir. Tablo45'de ifade edilen bölgeler, şekil 4.b'de ray mantarı üzerinde görülmektedir.

Tablo 3. EN 13674 standardına göre R260 ve R350HT kalite rayların kimyasal kompozisyonları.

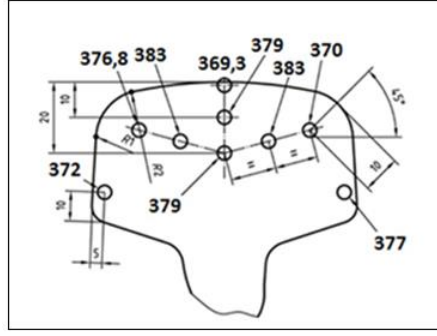
Ray Sınıfı	%							Ppm	
	C	Si	Mn	P (max)	Cr	Al Max.	V Max.	O	H
R260	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,030	0,15 max.	0,004	0,030	20	2,5
R350HT	0,70-0,80	0,13-0,60	0,65-1,25	0,025	0,15 max.	0,004	0,030	20	2,5

Tablo 4. EN 13674 standardına göre 60E1 boyutlarındaki rayın mantar profil ölçüleri.

Ray Boyutu	Kaplama Yarıçapı (KY)	Kafa Genişliği (KG)	Aşınma 0° (A1)	Asınma +45° (A3sa)	Aşınma +90° (A2sa)	Aşınma -45° (A3so)	Aşınma -90° (A2so)	Aşınma Alanı mm <sup>2</sup> (AA)	Aşınma Alanı (%) (AAP)
60E1	289.93	71.95	0.45	0.35	0,00	0.38	0.04	37.78	1.23

### 3. Deneysel Sonuçlar

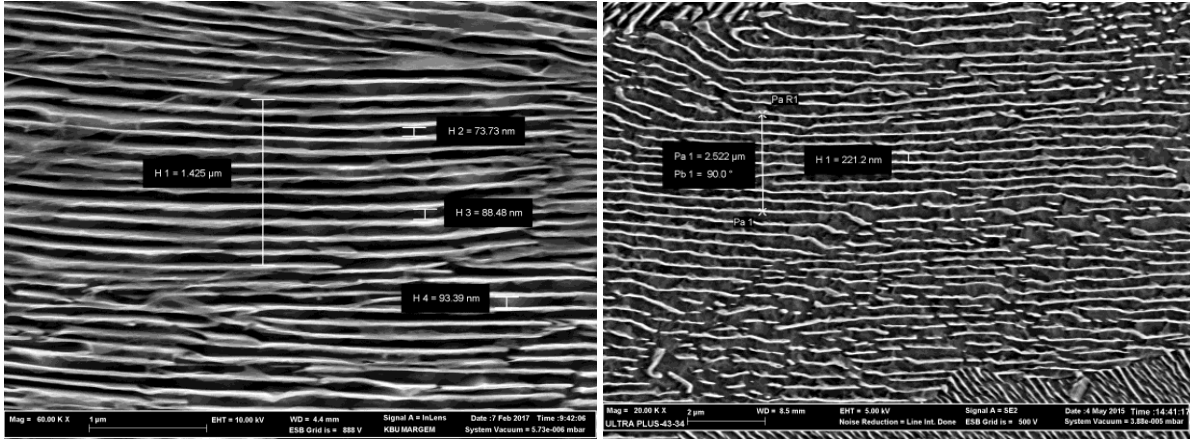
Proje sonucunda elde edilen rayların 20 cm boyunda parçalara ayrılması sonucu bu parçaların mantar kesitinde yapılan sertlik taramaları sonucu ortalamaları şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Proje çıktısı olarak imal edilen raylarda, 20 cm aralıklarla, EN 13674 standardına göre, yapılan sertlik ölçümlerinin ortalamaları.

Yapılan sertlik ölçümleri ve ortalamaları EN 13674 standardını sağlamakta ve 72 metre boyunca marjinal bir saçılım göstermemektedir. Bu da rayın 72 metre boyunca homojen olarak soğuduğunu ve ani bir özellik değişimi olmadığını göstermektedir.

Rayların RS bölgelerinde alınan mikroyapı görüntüsü şekil 6'da görülmektedir. Teorik olarak perlit lamelleri arası 150 nm vr altında olan mikroyapılar sıkı dizili perlit, 100 nm ve altı olanlar ise ekstra sıkı dizili perlit olarak adlandırılır. Proje çıktı olan R350HT kalite rayların RS bölgelerinde perlit lamelleri arasında 90 nm civarında mesafeler bulunmaktadır. Bu da milroyapının ekstra sıkı dizili perlit olduğunu göstermektedir. R260 kalite rayların RS bölgelerinde ise 200 nm civarında lameller arası mesafeler olduğu ve kaba perlit mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir.



a, 6000X büyüt

b, 2000X büyütme.

Şekil 6. Proje çıktısı olarak imal edilen R350HT (a, 6000X) ve konvansiyonel olarak üretilen R260 (b, 2000X) kalite rayların RS bölgesinden, SEM cihazı ile, alınan mikroyapı görüntüsü.

EN 13674 standardına göre raylarda kalıntı gerilme değerleri 250 MPa değerini geçemez. Hatta 150 MPa seviyelerinde olursanız çok başarılı olarak kabul edilir. Proje kapsamında imal edilen R350HT kalite rayların ve R260 kalite rayların kalıntı gerilme değerleri tablo 5'de görülmektedir. Kalıntı gerilme değerlerinin tamamı standardın istediği değerlerde çıkmış ve başarılıdır.



Tablo 5. En13674 standardına göre yapılan kalıntı gerilme ölçümlerinin sonuçları.

	R260 Kalite Ray		R350HT Kalite Ray	
	Strain $\mu\text{m/m}$	Kalıntı Gerilme MPa	Strain $\mu\text{m/m}$	Kalıntı Gerilme MPa
Ortalama	519,6667	116,6667	676,1111	139,6667

Yorulma deneyinde, mukayese olması için hem R260 hem de proje çıktısı olarak imal edilen R350HT kalite raylardan numuneler hazırlanmış ve test edilmiştir. proje çıktı olarak imal edilen R350HT kalite raydan elde edilen 12 adet numune ve R260 kalite raylardan elde edilen 9 adet numune kullanılmış ve hepsi de deneyi başarıyla tamamlamıştır.

Yorulma çatlak ilerleme hızı test sonuçları tablo 6'da görülmektedir. Mukayese olması için hem R260 hem de proje çıktısı olarak imal edilen R350HT kalite raylardan numuneler hazırlanmış ve test edilmiştir. Numunelerin hepsi deneyleri başarı ile tamamlamıştır.

Tablo 6. EN 13674 standardına göre yapılan yorulma çatlak ilerleme hızı tesit sonuçları.

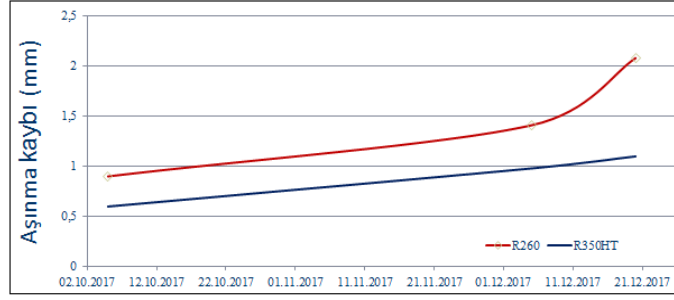
	R260 Kalite Rayın Yorulma Çatlak İlerleme Hızı ( $10^{-5}$ ) (mm/cycle)		R350HT Kalite Rayın Yorulma Çatlak İlerleme Hızı ( $10^{-5}$ ) (mm/cycle)	
	Gerilme Şiddet Faktörü ( $\Delta K$ )			
	10 Mpa $\sqrt{\text{m}}$	13.5Mpa $\sqrt{\text{m}}$	10Mpa $\sqrt{\text{m}}$	13.5Mpa $\sqrt{\text{m}}$
Ortalama	1,23	1,71	1,30	1,78
Standart Sapma	0,07	0,25	0,31	0,20

Kırılma tokluğu deney sonuçları tablo 7'de görülmektedir. Mukayese olması için hem R260 hem de proje çıktısı olarak imal edilen R350HT kalite raylardan numuneler hazırlanmış ve test edilmiştir. Numunelerin hepsi deneyleri başarı ile tamamlamıştır.

Tablo 7. EN 13674 standardına göre kırılma tokluğu testi sonuçları.

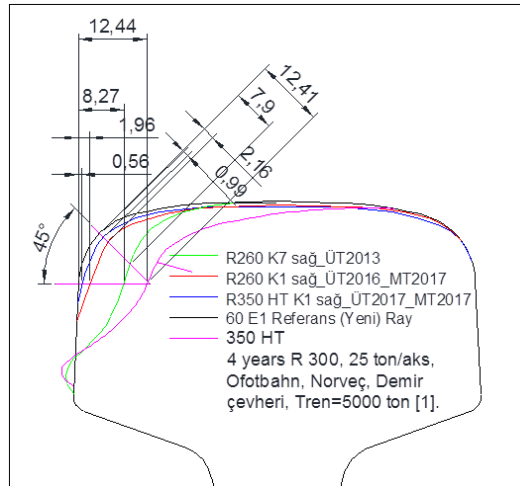
R260			R350HT		
Ortalama	Kıc (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Numune Standart Sapması	Ortalama	Kıc (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Numune Standart Sapması
	41.924	2.414		41.145	2.473

K1 kurpunda yer alan R260 ve R350HT kalite rayların A3so bölgesinde meydana gelen aşınma kayıpları şekil ... de görülmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere R260 ve R350HT kalite rayların grafikleri belli bir noktaya kadar aynı eğimi takip etmiştir. Fakat iki aylık kullanım sonucunda R260 kalite rayların aşınma kayıplarında hızlı bir artış meydana gelmiştir. R350HT kalite raylarda ise, başta da düşük olan aşınma kayıpları aynı eğimle devam etmekte ve R260 kalite raylara göre daha yüksek aşınma mukavemeti sergilemektedir.



Şekil 7. K1 kurpunda R260 ve proje çıktısı olarak imal edilen R350HT kalite rayların A3so bölgesi aşınma miktarlarının zamana göre değişimi.

Şekil 8'de test hattı üzerinde benzer özellik gösteren K1 ve K7 kurplarında 3 yıl süreyle kullanılmış, halen kullanılmaya devam eden ve referans olarak da kullanılmamış 60E1 boyutlarındaki rayların profilleri verilmiştir. Test hattında yaklaşık 4 yıl kullanılmış, R260 kalite, 2013 üretimi ray kafa genişliğinden yaklaşık 9 mm, A3so bölgesinden de 8 mm kayıp vermiştir. Hali hazırda K1 kurpunda kullanılan ve üzerinden yaklaşık 3000000 ton yük geçmiş olan R260 kalite ray ise kafa genişliğinden 2 mm'ye yakın, A3so bölgesinden de 2,2 mm aşınma kaybı göstermiştir. K1 kurpunda R60 kalite ray ile aynı zorlamalara maruz kalan, proje ürünü R350HT kalite rayda ise referansa yakın değerler görülmektedir. Özellikle kafa genişliğinde 0,2 mm ve A3so bölgesinde de 0,3 mm kayıp görülmektedir ki, bu değerler toleransların bile dışına çıkmamaktadır. Literatürde yer alan başka bir R350HT örneğinde ise 25 ton aks yüküyle 4 yıl kullanılan bir rayın aşına profili de görülmektedir. Tüm bu değerler mukayese edildiğinde proje çıktısı olarak imal edilen R350HT kalite uzun ömürlü rayın başarısı ortaya çıkmaktadır. Proje çıktısı olarak üretilen R350HT kalite raylarda 6 aylık saha testleri sonucu aşınma hızı 0.218 mm/Ay şeklinde çıkmıştır. Aynı süre içerisinde hatta kullanılan R260 kalite raylarda ise aşınma hızı 0.432 mm/Ay olarak karşımıza çıkmaktadır. Norveç'de yapılan bir çalışmada ise Voestalpine firmasına ait R350HT kalite rayların aşınma hızları da 0.258 mm/Ay olarak kaydedilmiştir.



Şekil 8. Test hattı üzerinde benzer özellik gösteren K1 ve K7 kurplarında 3 yıl süreyle kullanılmış, halen kullanılmaya devam eden R350HT kalite ray ile mukayesesi.

Proje çıktısı olarak Kardemir A.Ş.'de imal edilen R350HT kalite raylar, Kardemir A.Ş.'de üretime devam edilen R260 kalite raylar ve Norveç'de kullanılan Voestalpine firmasından tedarik edilmiş R350HT kalite rayların aşınma hızları tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Farklı rayların benzer koşullarda aşınma hızları.

Aşınma Hızı	R350HT	R260
Türkiye (Kardemir A.Ş.)	0.218 mm/Ay	0.432 mm/Ay
Norveç (Voestalpine)	0.258 mm/Ay	Veri Yok

## 5. Sonuçlar

Bu çalışma, ihtiyacın ithalat yoluyla karşılandığı R350HT kalite rayların Türkiye’de yerli imkanlarla üretilmesini hedefleyen bir projenin ürünüdür. Yapılan çalışmalar, testler ve ölçümler neticesinde proje çıktısı olarak imal edilen R350HT kalite rayların EN 13674 standardını karşıladığı görülmektedir. Özellikle kalıntı gerilme değeri noktasında standardın üst limit olarak belirlediği 250 MPa değerinin çok gerisinde değerler ölçülmüştür. bu da rayların tüm mekanik testlerden başarı ile geçmesine yardımcı olmuştur. Ayrıca saha testlerinde de hem konvansiyonel olarak kullanılan R260 kalite raylara hem de muadili olan R350HT kalite raylara göre daha yüksek aşınma mukavemeti göstermiştir. bu da ülkemizde üretilen R350HT kalite rayların piyasadaki rakiplerine göre daha uzun ömürlü olduğunu sergilemektedir.

## Kaynaklar

- [1] UIC, (2005). Recommendation For The Use Of Rail Steel Grades, Yayın No: 8, Paris.
- [2] TCDD, (2010). T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006-2010, Yayın No: 24, Ankara.
- [3] Özçelik, S., (2014). Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Başkonus, M., ve Tekin, E., (2012). “Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri”, International Iron and Steel Symposium, 02-04 Nisan 2012, Karabük.
- [5] Danielli, R., (2010). “Head Hardening Process”, Danews, 158:62-64.
- [6] Onat, Ö., (2012). Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [7] EN 13674-1, (2003). Railway Applications – Track – Rail – Part 1: Vignole Railway Rails 46 kg/m and Above, Brussels.

# High Speed: New lines or Upgrades?

Haldor Eckhart JOCHIM

RWTH Aachen University

## 1. Introduction

New high-speed lines catch the headlines. All over the world they dominate the picture of modern railways being built. From the 1960s onwards, Japan and France have shown the world that it can be technologically feasible to build lines with maximum speeds far higher than the 120-140 km/h previously common.

Many countries tried to copy the idea and built high-speed lines themselves. Several varying concepts emerged. Solitary new lines versus piecemeal development and improvement of existing network.

Solitary lines usually focus on fast passenger transport, but with this strategy the goods traffic has to use the existing slow lines. An alternative concept sees the interests of goods traffic as equal to that of passenger transport and attempts to accelerate goods transport as well, either by new lines usable both for goods and passengers or by upgrading existing lines, which have almost always been built to bear passenger and goods trains.

Intentions of new lines and upgrades

- Shorter travel time: competition with car/bus/plane
- Capacity improvement

In this paper a short, but systematic analysis of high-speed lines in Europe is undertaken.

New Line	Passenger Traffic	Freight Traffic
High Speed	250-350	---
Conventional Speed	(120-160)	100-120
Upgrade	Passenger Traffic	Freight Traffic
High Speed	200-230	---
Conventional Speed	120-160	100-120

Table 1: Versions of high-speed railways

From an engineering point of view, one might argue that the choice of strategy such as

- New line vs upgrade
- Very high speed (300-350 km/h) vs moderate high speed (160-250 km/h)
- Focus on passengers vs focus on freight

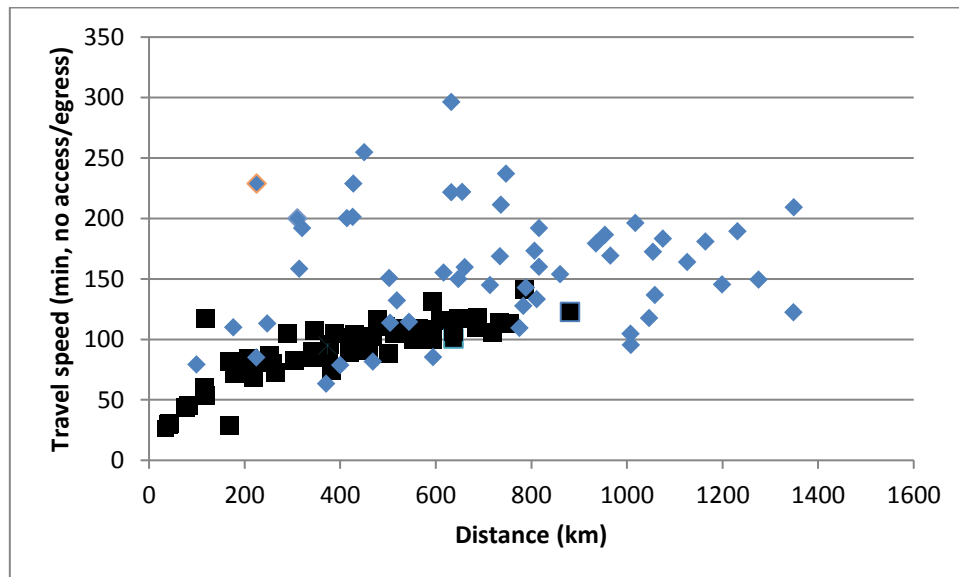
should be subject to several of the following criteria:

- Construction Cost
- Topography
- Design Speed
- Number of tracks
- Built-up areas
- Nature reserves

However, from an economic view the use for the customers must be at the heart of the strategy.

In the following chapter, existing high-speed lines in Germany and France plus some other European countries will be analysed in terms of travel times and their transport environments.

## 2. Analysis of Distance and Travel Time



*Graph 1: Correlation of Travel Time and Distance  
Black = Germany; blue = France*

Graph 1 depicts the travel speeds advertised in timetables and the respective distance for railway connections between the largest cities in Germany and France. There are two main findings:

1. Travel speeds and average distances are higher in France than in Germany on average.
2. Travel speeds in Germany are more homogeneous in Germany than in France, i.e. they correlate more strongly with distance.

One aim of this paper is to show that this difference is mainly due to geographic differences between the two countries and functional differences between the railway lines making up the network.

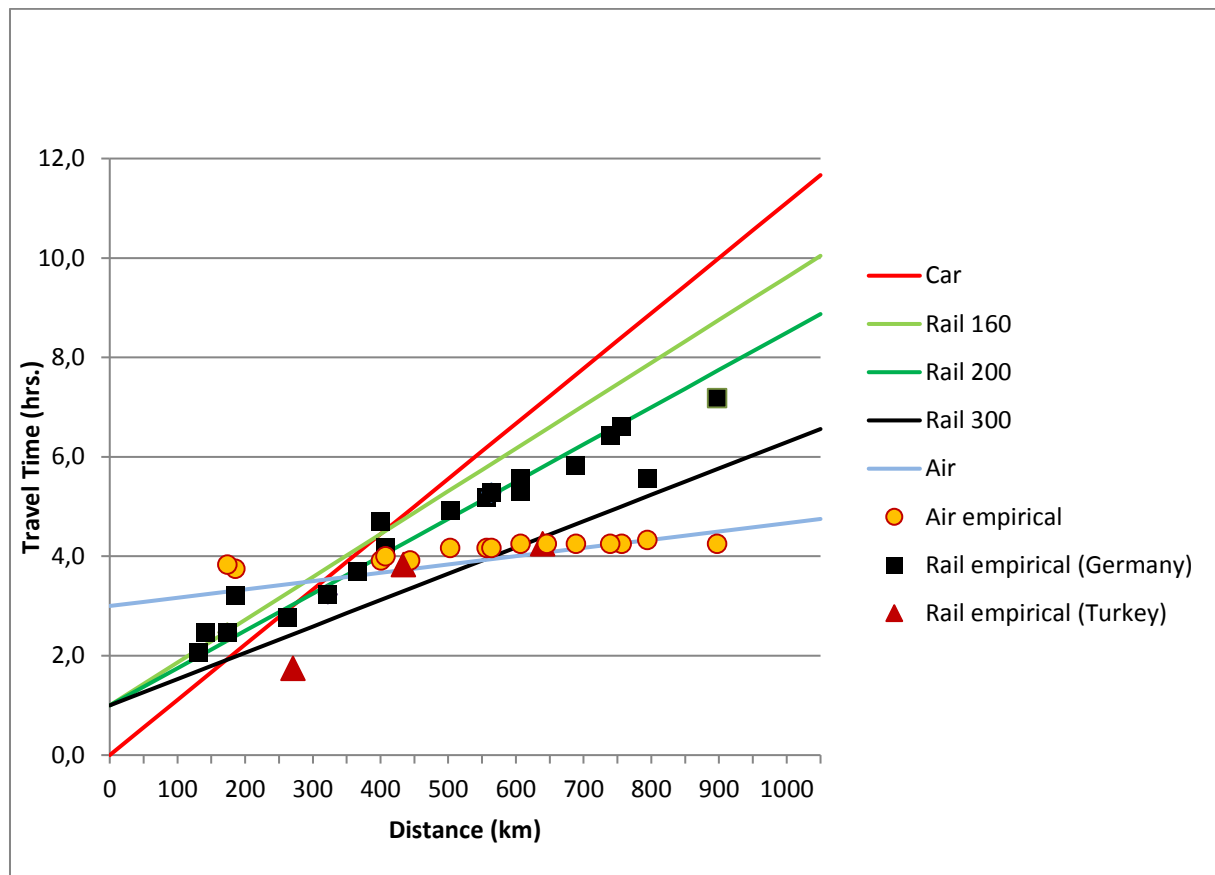
From the geographical overview to be gained from a glance on any railway map showing high-speed lines one can immediately find that

- a) high-speed lines in Germany are a patchwork of lines rather than long lines concentrated on a hub such as Paris in France,
- b) high-speed lines in Germany are mostly also used for freight and sometimes even for commuter traffic and
- c) high-speed lines in Germany are often upgraded lines with moderate high speed, whereas
- d) high-speed lines in France are lines dedicated for high-speed passenger trains and concentrated on lines to and from Paris.

The items a) to c) easily explain the lower average speed on high-speed lines in Germany versus such lines in France. Item d) largely explains the variation of travel time between

centres in France: Connections that do not go from or to Paris are usually not served by high-speed lines or just via a long detour via Paris.

Graph 2 extends the analysis to other modes of transport and also takes into account access and egress times to railway stations and airports.



Graph 2: Correlation of Distance and Travel Time for various travel modes

The lines show theoretical functions derived from the distance of the 14 largest cities in Germany and the theoretical travel time between them with car, rail and air. Travel time in this case includes the travel time between city centres plus access and egress times.

The following table shows the access and egress times assumed as part of the travel time.

	Av. Speed (km/h)	Access plus egress time (min)
Car	90	0
Rail 160	160	90
Rail 200	200	90
Rail 300	300	90
Air	600	180

Access and egress times in car travel are usually very low, so they are assumed to be zero. The highest access and egress times are found in air travel, since airports usually lie far off the city centres and the time for check-in and boarding is high. In effect, any journey by air from a large airport, however short, will take at least 3-4 hours. Railway stations are usually near city centres and check-in times are low, so that access and egress times are much shorter than in air travel.

For very short journeys (up to about 250 km) car offers the lowest travel times due to the short access and egress times. In the graph the (assumed) functions for car and rail intersect between 175 and 375 km, depending on the speed of the railway line.

The graph also shows the travel times taken from flight timetables including the assumed access and egress times of 180 mins between the major airports in Germany. It confirms that air travel times do not vary much with distance if those distances are smaller than 1.000 km.

The symbols depict empirical value pairs of travel time and distance for a number of various lines in Germany and France plus three lines in Turkey.

Interpretation of the results:

1. Travel times on Turkish high-speed lines are lower than on German high-speed lines of the same distance.
2. Istanbul-Ankara and Istanbul-Konya with rail have travel times about equal to that of air and should therefore win a considerable share of the market.
3. In Germany rail is faster than air for distances up to 400 km. On distances larger than 400 km air is faster, so that the market share of both modes will be determined mainly by price.
4. Most relations in Germany run roughly along the 'Rail 200' function. That is not surprising because most connections between cities run along several stretches of line with varying speeds. The question is: Why is this so? That will be explored in the next paragraph.

### **3. Analysis of High-Speed and Stopping Distances**

It has been shown that the average rail speeds of relations between the largest cities in Germany are far lower than the usual design speed of high-speed railway lines. The reason, as shown in Graph 2, is the fact that the German railway network is based on a conventional network, in which high-speed lines were integrated at various places, but only few connections between large cities are served by high speed only. There are several possible explanations for this strategy:

1. Cost savings  
Conventional thinking argues that the cost of lines gets higher with higher speeds. That is true for construction and maintenance costs, but not in terms of line profit. The faster a line can be served the fewer vehicles and staff are needed for the service. In balance, the savings in cars and staff outweigh the construction and maintenance costs at least up to a design speed of 250 km/h<sup>1</sup>. According to this argument, no new line should be built that is slower than 250 km/h.
2. Environmental considerations  
There may be places where high-speed is not compatible with environmental concerns, both in relation to people living near the line and the natural environment. There is one well-known example in Germany where a rare species of large cursorial birds was discovered along the high-speed line to-be-built between Berlin and Hanover. After much discussion a part of the line was built for only 200 km/h instead of the 250 km/h planned previously to protect those animals. Though sometimes an argument, this is an exception and cannot explain the strategy as a whole.

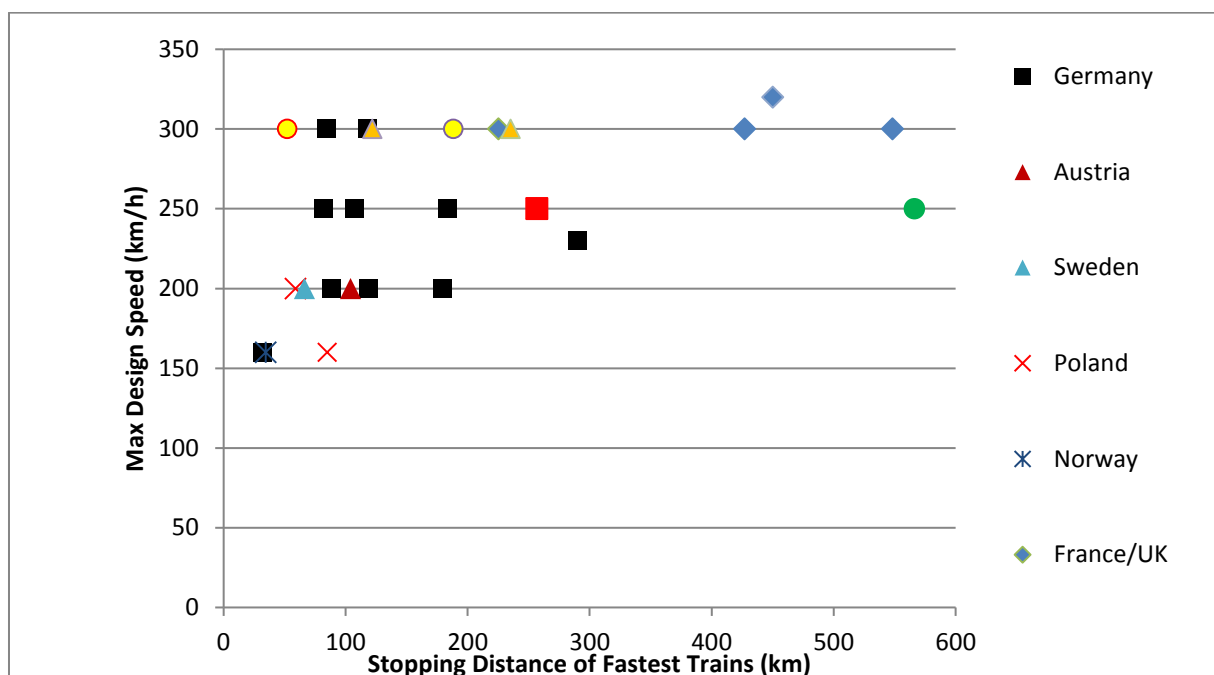
<sup>1</sup> Hughes, Murray, Strategic analysis targets high speed decision-makers, Railway Gazette International, March 2014, p. 52-53

### 3. Functional mixture

There may be more than one reason to build high-speed railway lines. Offering fast connections from A to B may be only one of several aims. Other aims may be:

- a. Providing faster connections for goods trains
- b. Relieving existing line of trains in order to improve the quality of conventional traffic (= capacity enhancement)
- c. Focus on network effects instead of point-to-point connections (sometimes a short relief line can cause great improvements if it is used by many trains serving several relations; the many small effects may add up to large improvements for the network as a whole<sup>2</sup>)
- d. Importance of stops along the line

The point mentioned last (in d.) shall now be explored further.



Graph 3: Correlation between Maximum Design Speed and Stopping Distance

As Graph 3 shows, there is a mild correlation between the maximum design speed and the stopping distance of the trains. (For simplification, only the fastest trains on each route were picked.)

From a dynamics and energy perspective it is obvious that the construction of a line with very high speed is only useful if the trains are able to achieve their maximum speed on a significant part of the line. If lines are built with high-speed service in mind only, those lines tend to be long and have few intermediate stops, as in France. If, on the other hand, high-speed lines are a by-product of capacity enhancement measures or improvements for goods traffic, as in Germany, intermediate stops tend to be frequent.

Furthermore, where high-speed is a means of relief for existing lines, there is usually high travel demand, created by dense population. Retaining many stops in populous places is

<sup>2</sup> One example is the upgrade of the station area at Frankfurt Stadion Junction. The capacity within this junction was improved by the addition of one track and the speed was raised from 60 km/h to 80 km/h. That seems a petty improvement (less than 1 minute travel time saving per train), but, as this junction is used by 300 or more trains per 24 hours, it is a considerable improvement in total.



common sense and a good argument against high-speed lines à la France. A simple comparison between France and Germany illustrates this point:

	France	Germany
Population Density (people/km <sup>2</sup> )	103	231
Population of largest conurbation	12.5m	6.0m
Average (direct) distance between the four biggest cities	493	499
Population of Top 10 cities minus capital	3.7m	8.5m
Population of Top 10 conurbations minus capital	11.6m	24.5m
Average direct distance between the Top 10 cities (minus capital)	765 km	399 km
Median direct distance between the Top 10 cities (minus capital)	788 km	387 km

*Table 2: Geography of France and Germany in comparison*

The analysis shows some differences between France and Germany:

1. Population density in Germany is much higher (more than twice as high) compared with France.
2. The population of the Top 10 cities and also the Top 10 conurbations are much larger in Germany than in France. Berlin and Paris were taken out of the analysis because the Paris conurbation is an outlier with 12.5m people, twice as many as Berlin, the largest conurbation in Germany.
3. The average as well as the mean distance between large conurbations is much larger in France than in Germany.

In other words: Large conurbations lying relatively close to each other dominate in Germany, whereas smaller conurbations lying farther apart make up the structure in France.

There is one more difference revealing itself easily by a glance on a map: The main hub in France is Paris, the largest city by far, lying roughly in the centre of the country; conversely, there is no such hub in Germany, since Berlin is much smaller and lies in the East of the country.

The analysis backs up the findings from above: the differences in the structures of the high-speed network have not come by chance, nor are they the result of deficient strategies. Rather, they follow logically from the different structures of the two countries. Germany, being a densely-populated country with medium to small distances between important centres, needs lines with a high capacity and just fairly high speeds to compete against the car in the first place; competition against air is coming second. France, on the other hand, is a much more thinly populated country with a hub in the middle and other centres far apart from another. Thus there is a strong argument for building lines that connect those centres directly and as fast as possible to Paris, the hub.

#### **4. Implications**

As we have seen that different high-speed strategies are subject of geography one might ask what other countries' strategies are and whether their consideration have been or will go along similar lines. The countries (apart from France and Germany) which are included in the analysis in Graph 3 do not have enough high-speed lines to argue with confidence about their strategy. That must be left to another paper.

As to the future strategy of Turkey, it might pose the question whether Turkey's geography is more similar to France's or to Germany's. The population density is almost identical to that of France, but is there also a hub in the centre? Well, there is a large city in the centre, Ankara, the capital, but it is not the largest city in the country. The largest city, Istanbul, lies at the edge of the country, just as Berlin does in Germany. So in this case there is more similarity with Germany, which could be an argument against building up Ankara as the hub of the system and in favour of developing a more heterogeneous network. The role of goods traffic for the railway in Turkey is high, which also makes it more similar to Germany than to France. There is some need for capacity enhancements with the aim to improve goods traffic. That would, on the face of it, be an argument for building lines that can be used for high-speed traffic and goods traffic. Unfortunately, the mountainous geography of Turkey might make such a plan very expensive and possibly infeasible. So can there be a compromise such as in Germany, with high-speed lines in some places and moderate upgrades in others?

The author of this paper is not familiar enough with Turkey to present a conclusion or a recommendation. However, he is convinced that there should be a discussion about the future network strategy of the railways in Turkey and particularly about the roles goods transport and high-speed passenger transport are going to play.

# ÜLKEMİZDE TRAMVAY HATLARINDA MEYDANA GELEN DEFORMASYONLAR VE OLASI ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Sultan GÜNDÜZ<sup>1\*</sup>, Engin YILDIRIM<sup>2</sup>, M. Hüseyin ÇETİN<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği, Karabük, Türkiye

e-mail: sltngndz@gmail.com

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Karabük, Türkiye,

e-mail: [enginyildirim@karabuk.edu.tr](mailto:enginyildirim@karabuk.edu.tr)

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Karabük, Türkiye

e-mail: hcetin@karabuk.edu.tr

## Özet

Raylı sistemlerde altyapı ve üstyapı sistemleri olarak balastlı ve balastsız hatlar bulunmaktadır. Balastlı hatlar günümüzde konvansiyonel hat ve YHT hatlarında daha çok tercih edilmektedir. Kent içinde ise, özellikle tramvay işletmelerinde ve metro hatlarının bazı kısımlarında balastsız hatlar kullanılmaktadır. Tramvay hatları karayolu ile zemin olarak birleşik ve alçak tabanlı araçların işletildiği hatlar olduğundan balastsız hat olarak tasarlanmaktadır. Her iki hat tipinde de meydana gelen deformasyonlar, hattın geometrisini bozup emniyetli işletmeciliği önler ve seferleri aksatır. Balastlı hatlarda bu problemlerin tespitinde ve bakımının yapılmasında zorluk çekilmemektedir. Çünkü üstyapı tamamen açıktır ve erişime müsaittir. Fakat kent içi raylı sistemlerde balastsız hatlar zemine gömülü olduklarından hataların tespitinde zorlanılmakta ve müdahalede daha fazla zaman ve iş gücü gerektirmektedir. Balastsız hatlarda yaşanan altyapı problemlerinin çoğu ise yapım sürecindeki işçilik problemlerinden ve altyapı tescilinin doğru şekilde sağlanmamasından kaynaklanmaktadır. Türkiye’de balastsız hatların bakım-onarımı tecrübesi hep deneme-yanılma yoluyla kazanılmıştır ve bu tecrübeler literatür çalışması halinde bulunmamaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de kent içi işletmelerde, balastsız hatlarda meydana gelen problemler bir araya getirilip, olası çözümleri derlenip literatür haline getirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kent İçi Raylı Sistemleri, Tramvay, Balastsız Hatlar, Hat Deformasyonları, Altyapı

## Abstract

Infrastructure and superstructure systems in railway systems have ballasted and slab (ballastless) track. Ballasted tracks are preferred today on conventional line and high speed train lines. In the light rail systems, slab tracks are used especially in tram operators and in some parts of subway lines. The tram lines are designed as ballastless tracks, as they are connected by road to the ground and there is a line where low-floor vehicles are driven. The deformations that occur in both line types distort the geometry of the line and prevent safe operation and disrupt the flights. There is no difficulty in the detection and maintenance of these problems in ballast tracks. Because the superstructure is completely open and accessible. However, in urban rail systems, it is difficult to detect faults because the tracks without ballasts are buried in the ground. Intervention requires more time and work power. In Turkey, maintenance and repair of slab track experience, gained through trial and error. These experiences are not available in the literature study. The aim of this work in urban rail system in Turkey, gathered together from the problems occurred in the slab track, makes literature by compiling solutions and possible solutions.

**Keywords:** Urban Railway Systems, Trams, Slab Track, Deformation of Track, Substructure

## 1. Giriş

Balast yatağı demiryolu üstyapısının en zayıf elemanı durumunda olup, en yüksek bakım harcamalarını gerektirmektedir. Demiryolu hatlarının dizaynlarında servis ömrü maliyeti, inşaat süresi, elverişlilik ve stabilite gibi faktörlerin önemi oldukça artmıştır. Bu nedenlerle balastsız hatların çok üstün avantajları vardır. Trafik yoğunluğunun artışı ile birlikte, bakım ve yenileme çalışmalarını yürütmek her seferde zorlaşmaktadır. Gece vardiyalarında bakım onarımın bir gecede ancak çözülebilmesi ve yakın gelecekte işletmecilikte gece de raylı sistem işletmeciliği yapılması planlandığı için, düşük bakım gerektiren hatların popülaritesi artmıştır. Geçmişte, yapılacak yeni bir projede yatırım maliyetleri en önemli karar verme parametresi olurdu, ama günümüzde servis ömrü toplam maliyeti daha çok önem kazanmıştır. Bu yeni görüşle balastlı üstyapılar, balastsız üstyapıların avantajları yanında çekiciliğini kaybetmektedir.

## 2. Balastsız Üstyapının Bakım Çalışmaları

Balastsız üstyapının en önemli farkı, balastın mevcut olmamasıdır. Bundan dolayı en önemli bakım maliyetlerini oluşturan balast yatağı bakım çalışmaları yoktur. Balastlı üstyapının bakım çalışmaları 5 ana kaleme toplanmıştır. Bu bakımlardan geometrik bakım dışındaki malzeme bakımı, makas bakımı, hat kontrol, ölçüm ve hat temizliği gibi rutin bakımlar ve ray taşlama balastsız üstyapıda da yapılmaktadır. Ülkemizdeki Ankara ve İstanbul'daki balastsız metro hatlarındaki tecrübelerle göre her iki üst yapıda ortak olan bu bakım çalışmalarının periyotları da aynıdır.

Makas bakımı balastsız üstyapıda da aylık olarak yapılır. Makaslar düzenli olarak temizlenir, kayma yatakları ve hareketli kısımlar yağlanır.

Balastsız üstyapıda, haftalık olarak hat kontrol görevlisi tarafından yürüyerek gözle kontrol yapılır. Genelde balastsız hatta herhangi bir yan ve düşey hareket olmamalıdır. Yine de gözlem yapmak gerekir. Hat kontrol görevlisi düşey ve yatay doğrultunun düzgünlüğünü, bağlantı elemanlarının kırık, gevşek olanlarını, ray kusurlarını ve drenaj kanallarının çalışmasını ve hat temizliğini kontrol eder.

Balastsız hatta başlıca bakım faaliyeti bağlantı elemanlarının belli aralıklarla (başlangıçta iki ayda bir olmak üzere) temizliğidir. Çünkü bağlantı elemanları beton tabaka ile aralarında bir izolasyon sağlar. Hat izolasyonunun bozulmasını ve çevredeki yapılara kaçak akım yayılmasını önlemek için temizlik yapılması gereklidir.

Balastlı ve balastsız hatta, ray altında bulunan plastik seletler, her 9 yılda bir balast eleme çalışmasından önce değiştirilmelidir. Japonya Demiryolları (JR)'na göre plastik seletler 10 yılda %6 oranında sertleşmekte ve elastikliğini kaybetmektedir. Balastsız üstyapının diğer üstyapı elemanlarının ömrü, en az hattın servis ömrü kadar olduğu için bir değiştirme programı yapılmamaktadır.

Altı ayda bir, beton tabaka, drenaj kanalları, tabela ve işaretler üzerinde bulunan çamur ve atık malzemeler temizlenir. Beton tabakadaki toz ve gresli kağıtlar, sigara izmaritleri gibi küçük atıklar vakumlu temizleme motorları ile temizlenmelidir. Açık alanlardaki beton tabaka yalnız kuru havalarda basınçlı su ile temizlenmelidir.

Balastlı hatlarda olduğu gibi, her iki yılda bir ray yüzeyi kusurlarını temizlemek için ray taşlaması yapılmalıdır. Yazarların yazım tarzının genellikle literatürde kullanıldığı üzere ve burada belirtilen şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

### **3. Tramvay Hatlarında Yaşanan Problemler ve Olası Çözüm Önerileri**

Sabit çimento-beton seyir yolları, işletme mukavemetine eriştikten sonra bir anda kırılabilen katı taşıma tabakalarıdır- bu davranış ray kırılmalarıyla karşılaştırılabilir. Böyle durumlarda hat yerleşimi öngörülemeyen bir şekilde, bir anda bozulabilir.

Raydan çıkma durumlarında hassas bağlantı noktalarında hasarlar oluşabilir; bu hasarlar sonradan hattın uzun süreli ve masraflı bir şekilde hizmetten çıkmasına neden olur. Sabit hattın hizmet süresi 50-60 yıl arasında kabul edilmektedir. Sabit hattın gerçek hizmet süresi ile ilgili uzun süreli araştırmalar henüz yeterli derecede mevcut değildir. Bunun yanında sabit hatta küçük ama uzun süreli oturmalar beklenmelidir. Bu oturmalar ray bağlantılarının küçük seviyede olan düzetme imkânlarının ötesine geçerse, durum geleceğin demiryolu mühendisleri için muhtemelen ağır bir yük teşkil edecektir.

Yapım ve bakım genellikle henüz otomatize edilmemiştir. Sabit hattın kalitesi, uygun ve yüksek kalite sağlama tedbirleri ile garanti altına alınmalıdır. Bu ise inşaat çalışmalarının uygulama ve kontrolleri açısından daha fazla masraf anlamına gelir. Geriye, beklenen hizmet süresi ile ilgili bir kalite eksikliği kalır ve bu ancak çok masraflı tedbirlerle giderilebilir.

Sabit hattın katı yapısı gelecek için pek az iyileştirme imkânı bırakır. Örneğin hat geometrisinin değiştirilmesi gibi, değişen şartlara uyma olasılığı sadece çok zor ve masraflı olarak mümkün olur.

Bu demektir ki, mevcut bir sabit hattın yenileştirme imkânının çok sınırlı olmasında büyük bir sakınca yatmaktadır.

Sabit hatlarda meydana gelen arızaların bakımları hassasiyet gerektirmektedir. İşletmenin aksamaması ve yolcuların konforunun sağlanması için hattaki problemlerin hızlı çözülmesi gerekmektedir. Bu başlık altında sabit hatlarda yaşanan problemler ve çözümleri incelenecektir.

#### **3.1. Raylarda Oluşan Deformasyonlar**

Rayda oluşan deformasyonlar ray aşınması, rayda ve ray kaynağında oluşan kusurlardır.

##### **3.1.1. Ray Kırılmaları**

Ray kırılmaları; soğuk hava şartları ve don olayları sebebiyle, kaynak yapılan bölgelerde kaynak hatası yapılması sebebiyle meydana gelmektedir.

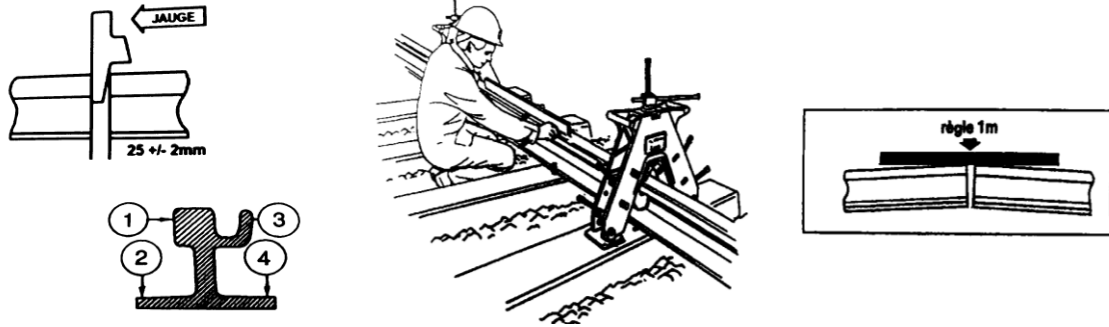


Şekil 1. Ray kırığı.

Şekil 1’de görülen ray kırığı işletimin aksamaması için rayın mantar kısmında çatlağın olduğu yüzeye gaz altı kaynağıyla dolgu kaynağı yapılarak onarılmıştır. Fakat ray kırılması durumunda yapılması gereken kupon ray ile tamirat yapılmasıdır. Kırılan ray kupon ray ile değiştirilir ve alüminotermite ray kaynağı yapılarak hatta montajı yapılır.

### Alüminotermite Ray Kaynağı

Alüminotermite ray kaynağında, ilk olarak kaynak yapılacak raylar hazırlanır. Kaynak yapılacak bölgenin her iki tarafındaki bağlantı elemanları sökülür. Tüm oksidasyon veya gres(yağ) izlerini ortadan kaldırmak için rayın uçları fırça ile temizlenir. Kaynak yapılacak uçların boyutsal kalitesi kontrol edilir. Birleşme yerinin ayarlanması özellikle çok önemlidir. Çünkü kaynağın geometrik kalitesini belirler ve ömrünü garanti eder. Kaynak Boşluğu; iki ray bitimi arasındaki uzaklıktır. (25 +/- 2 mm) Bu alan, rayın her iki tarafında, ray başlığında ve tabanında, yani 4 farklı yerden, bir dereceli sıvı ölçüğü (sıvı terazisi) ile ölçülür. Alınan dört ölçümün sınır değerleri, yukarıda belirtilen tolerans kapsamına girmelidir.



Şekil 2. Kaynak boşluğu, kontrol noktaları ve kaynak çatısının ayarlanması.

Kaynak Çatısı; ray kaynak öncesi bir kaynak çatısı gösterecektir. Bu çatı kesinlikle gereklidir, çünkü soğutmadan sonra metal çekmesini eşitler. Kaynak çatısı değeri, hatta bağlı olarak kaynak yapacak kişi tarafından ayarlanmalıdır. Taşlama bittikten sonra, eğim ölçülecektir ve önemi anlaşılacaktır.

Kaynak boşluğu ve kaynak çatısının ayarı kontrol edildikten sonra, ray oluşunun kaynaktan etkilenmemesi için ray oluşuna uygun formda bir ateş tuğlası konumlandırılır ve macun ile sabitlenir.

İlk yarım kalıp ayarı yapılır. Mengene düzeneği kaynak boşluğu eksenine göre ayarlanır. Her yarım kalıp ilgili kalıp pabucu üzerine yerleştirilir. İlk yarım kalıp kaynak boşluğu eksenine merkezi olarak yerleştirilir, sabitlenir ve mungenenin vidası sıkılır. Aynı işlem ikinci yarım kalıp içinde yapılır. İkinci yarım kalıp merkezi boşluğa yerleştirilir. Mungenenin vidası hafifçe gevşetilir (kalıplar çok sıkılmadan).

Eğer kalıplar doğru merkezde değilse, kalıplar tekrar ayarlanır. Mengene sıkıştırılır. Kalıplara kum girmedeği kontrol edilir. Her iki rayın dikey açısı da briket ile kontrol edilir. Briket taban plakasına düzgün bir şekilde yerleştirilir. Kalıpların dışından kaynak bölgesine hava girmesini önlemek, kaynak kalitesinin iyi olmasını sağlamak için kalıpların etrafı ve taban plaka macun ile kaplanır.

Ön Isıtma; ön ısıtmanın iyi yapılması, kaynak kalitesi ve kaynak ömrü için önemlidir. Ön ısıtmanın amacı, kalıplardaki artık nemin ortadan kaldırılması ve ray uçlarının sıcaklığının işleme karakterize edilen belirli bir değere yükseltilmesini sağlamaktır. Oksijenli propan ile ön ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Kaynak şaloması kalıpların ortasına, nozul ve ray mantarı arasındaki boşluk 50 mm olacak şekilde konumlandırılır ve desteklenir. Oksijen ve propan gazı açılır. Manometrelerin 0,6-1,2 bar arasında göstermesi gerekir. Kaynak şaloması tuttuğunda gaz egzozunun 40 cm alev alabilmesi için her iki yan boruda düzenli ve simetrik olmalıdır. 25 mm kaynak boşluğu için ön ısıtma süresi 4 dakikadır.

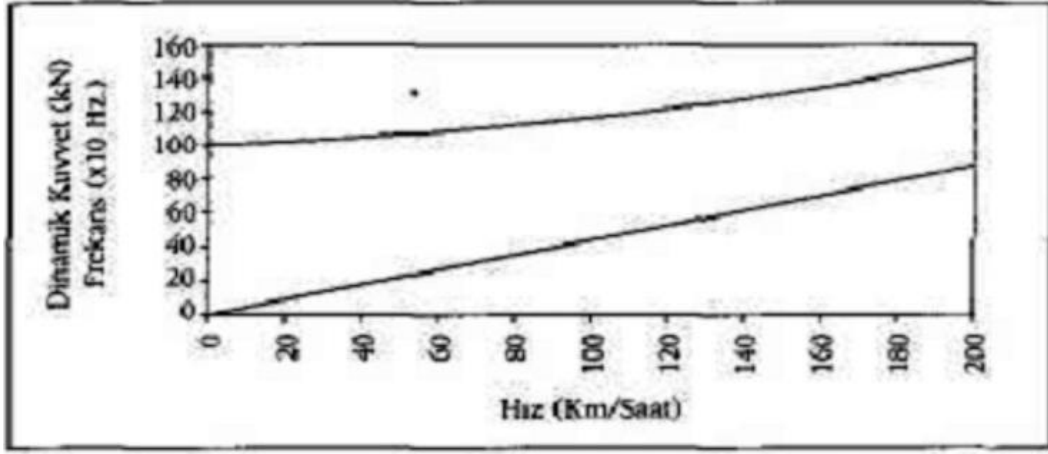
Tek kullanımlık pota hazırlanır. Ön ısıtma tamamlandıktan sonra, temin edilen pense ile ray oluğu ateş tuğlası yerleştirilir. Pota boşluğun üzerine konumlandırılır. İçerisindeki kaynak malzemesinin (alüminyum, barut, termit) kimyasal reaksiyona girmesi için tutuşturulur. Pota kapağı kapatılır. Gerçekleşen kimyasal reaksiyon ile alüminotermit ray kaynağı işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Kaynak tamamlandıktan sonra kalıplar sökülür, rayın etrafı temizlenir ve ray mantarının formu ray taşlaması yapılarak düzeltilir.

### **3.1.2 Raylarda Ondülasyon (Dalgalı Aşınma) Oluşumu**

Ondülasyon, "ray üst yüzeyinde az ya da çok periyodik biçimlerde oluşan düzlemsel bozukluklar" olarak tanımlanabilir. Ray yuvarlanma yüzeyinde birbirlerini izleyen parlak tepeler ile koyu renkli mat vadiler şeklinde bir görünüm oluşturan bu aşınma, trafik güvenliği açısından tehlikeli değildir. Ancak taşıtlarda ve yol elemanlarında yüksek ivmeli titreşimlere yol açarak, ek dinamik zorlanmalar doğurmakta, yolun kısa sürede bozulmasına ve bakım masraflarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca dalga boyları kısa olan aşınmalar, yüksek frekanslı titreşimlerle önemli bir gürültü oluşturmaktadır. Bu durum, kent içi raylı sistemlerde çevreyi rahatsız etmektedir.

Ray-tekerlek sisteminin dinamik yapısı, yoldaki doğrultu ve yükselti bozuklukları, ray yüzeyinin pürüzlülüğü ve tekerleklerdeki aşınma durumunun yanı sıra, ray ve tekerlek arasındaki kuvvet aktarımı koşullarına bağlı olarak, farklı şiddetlerde tahrik edilir. Bunun sonucunda boyuna, yanal ya da düşey yönde etkiyen dinamik yada aşınma gibi hasarlara yol açarlar. Bu hasarlar da belirli dalga uzunluğu bölgelerinde ray başlangıç profilinin değişimine neden olur.



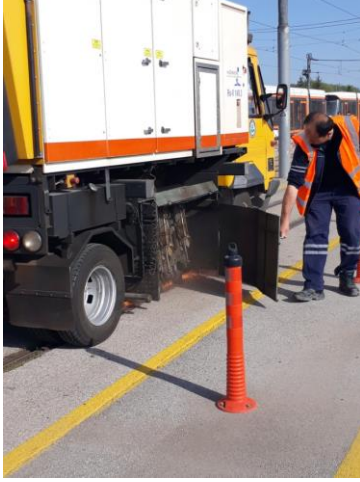
Şekil 3 Ondülasyon oluşumunun tekerleğin raya ilettiği dinamik kuvvet ve araç hızına bağlı gösterimi. Bugüne dek yapılan araştırmalar, "dalga uzunluklarının, frekansı sabit bir dinamik etkileşim olayı ile belirlendiği" görüşünde birleşmektedirler. Yol ve taşıt dinamiği, ray mantarının profil bozuklukları ve kaynaklı ek yerleri ile uyarılarak, rezonans titreşimlerine yol açar. Yaylandırılmamış taşıt kütlelerinin (tekerlek, dingil mili, yatak) yola ilettiği (P2) kuvveti, balastlı yolda 30 ile 50 Hz arasında, balastsız yolda ise 150 Hz'e kadar çıkan frekanslarda olur. Yolun esnekliği ise, ray ve traverslerin kendi elastikliklerinin yanı sıra, ray ve travers arasındaki ara mesnet ya da balastsız yol tabanı ile traversler arasındaki mesnetlerin elastikleri ile belirlenir. Dalga uzunlukları, basit olarak, (V) seyir hızına ve (P2) dinamik kuvvetinin (f) frekansına bağlı olarak ( $I = 0.28V/f$ ) şeklinde hesaplanabilir. Bu bağıntıda I, V ve f değerlerinin birimleri, sırasıyla metre, km/saat ve Hertz olarak tanımlanmıştır.

### Ray Taşlama

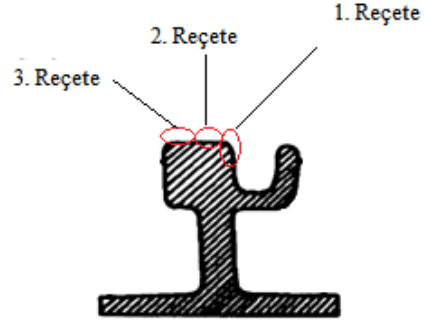
Dalgalı aşınmanın olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için en iyi çözüm, rayların taşlanması ve ray mantarı profilinin düzeltilmesidir. Yolda bazı rayların taşlanması için taşınabilir taşlama araçları kullanılabilir. Metro ve tramvay gibi küçük demiryolu şebekeleri için 24-32 diskli gerekli teknik donanıma sahip taşlama trenleri kullanılır.

Ray taşlama trenleri ya da taşlama vagonları, düşey eğilebilen aksları olan dönen taşlama diskleri ile donatılmışlardır. Bu ikili ya da dördü gruplar halinde dizilmiş taşlama diskleri, yalnızca dalgalı aşınmayı ortadan kaldırmak için değil, aynı zamanda akslarına eğim verilerek, ray mantarlarına aşınma profiline uygun biçimde yeniden şekil vermek için de kullanılır.





a)



b)

Şekil 4. a) Ray taşlama cihazı, b)Raydaki reçeteler.

Ray taşlama aracında, ray mantarının profiline göre taşlar 3 noktaya göre konumlandırılmıştır. Bu konumlara reçete denilmektedir. Bu reçeteler öncesinde RI 59- RI 60 ray mantarı profillerine göre kodlanır ve araçtaki yazılıma işlenir. Oluşan ondülasyonlar, 3 reçetede taşlama işlemi yapılarak ve ray profiline uygun biçimde yeniden şekil verilerek giderilir. Aşınma arttığı takdirde ray değiştirilir.

### 3.1.3 Ray Oluğuna Cisim Sıkışması

Ray oluğuna cisim sıkıştığı takdirde, cisim oluktan çıkarılır. Makas bölgelerinde oluklara sıkışan cisimler makas dilleri hassas olduğu için ve makas ayarının bozulmasına sebebiyet vermemesi için gece yapılan bakımlarda tazyikli su ile temizlenir.

### 3.1.4 Araç Geçerken Rayda Vuruntu (Apleti-Rayda Düzleşme)

Araç sürücüleri aracı ivmelendirirken ani olarak hızlandıklarında ve ani fren yaparak aracı durdurduklarında raylarda kuvvetli sürtünmeden ve patinajdan dolayı apletler, mantar profilinde düzleşmeler meydana gelir. Araç geçerken ise apletler sebebi ile rayda vuruntu olur.

Apletlerin giderilmesi için elektrotla veya gaz altı ile dolgu kaynağı yapılır. Dolgu kaynağı sonrasında taşlama işlemi gerçekleştirilerek ray profiline uygun şekil verilir. Tercih durumunda dolgu kaynağı yapılmadan taşınabilir taşlama araçları ile ray profili apletinin konumuna göre şekillendirilir. Aracın bu kısımdan geçerken yumuşak bir geçiş sağlaması ve rayda vuruntunun en aza indirilmesi için bu taşlama işleminde apletiye uygun profil rayda 2 metre boyunca sağlanmalıdır. Fakat bu yöntem genellikle tercih edilmemektedir.



Şekil 5. Apleti ve apletlerin taşlanması.

### 3.2 Altyapı Problemleri

#### 3.2.1 Ray Altı Gizli Boşluğu

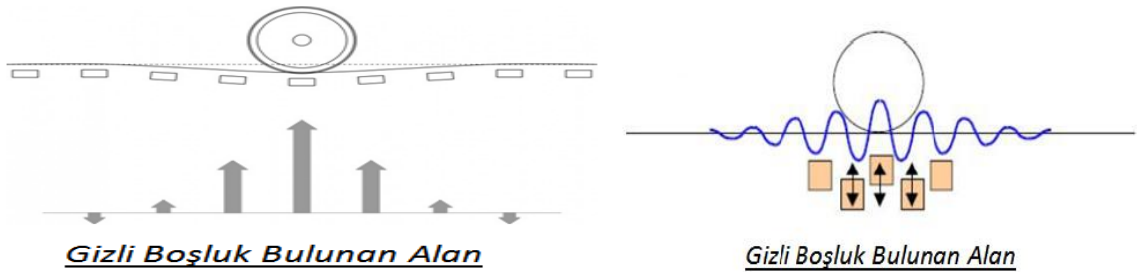
Tramvay hatlarında belirli işletme süreleri sonrasında alıymanlarda, makas bölgelerinde, kurbalarda mesnet bloğu ile ana beton arasında gizli boşluklar meydana gelmektedir.

Gizli boşlukların oluşum sebepleri;

- Mesnet Blokları üretiminde işçilik hatası
- Ana beton dökümünde vibratör işçiliği hatası
- Nabla bağlantılarını yetersiz torkta sıkma
- Mesnet blok betonlarında işçilik hatası
- Sönümlenemeyen araç geçiş titreşimleri

Bu deformasyon işçilik probleminden kaynaklanmaktadır. Yapım aşamasında mesnet blokları raylara sabitlenir, rayların fikstürü alınır ve donatılar arasına beton dökülür. Mesnet bloklarının altının vibratör yardımı ile titreşim alınarak betonla doldurulması gerekmektedir. Titreşim alınmadan beton doldurulduğu için mesnet bloklarının altlarında boşluklar kalmaktadır.

Alıymanda araçların hızlanma ve yavaşlama bölgelerinde mesnet bloklarının hep sabit aralıkta olması gerekmektedir. Araç yükü mesnete etkir, mesnet geri tepki verir. Dalgalar birbirini sönümler. Böylece ray üzerinde dalga tepeciği oluşmadan sönülmenmiş bir dalga mekaniği oluşur. Aradan bir mesneti çıkarırsak bu analiz bozulur ve rayın üzerine ondülasyon olarak yansır.



Şekil 6. Dinamik koşullar altında mesnet blokları.

Gizli boşlukların olumsuz etkileri;

- Ray Stresini Artırarak Ray Kırılmaları

- Ondülasyon ve Extra Ray Taşlama İhtiyacı
- Ekartman Açılması
- Boden Flanşına Binen Aşırı Yük ve Aşınma
- Araçta Düşey Merkez ve Ağırlık Merkezi Değişimleri
- Pantograf-Havai Hat Etkileşimi
- Üst Kaplama Bozulmalar

Gizli boşluklar, göz ile muayene yönetimiyle ve sürücülerden gelen bilgilere vasıtasıyla tespit edilir. Hatta gizli boşluk bulunun kısımlarda rayların yanlarındaki yapılarda ciddi anlamda bozulmalar göz ile tespit edilebilir. Aynı zamanda araç gizli boşluğun olduğu bölgeden geçerken gizli boşluğun olduğu tarafa doğru yatar ve yalpalar. İyi bir usta gözü araç geçerken o bölgeyi gözlemediğinde araç tekeri geçtikten sonra raydaki dalgalı hareketi görebilir.



Şekil 7 Gizli boşluk oluşan hattaki bozulma.

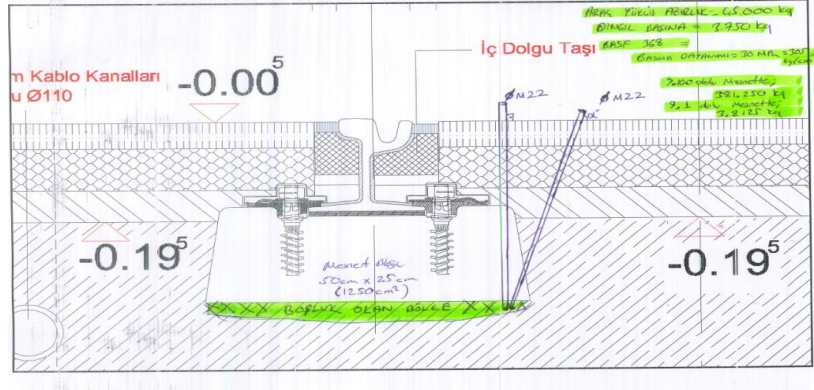
Gizli boşlukların bakım onarımı, hattın iki yanı hiltillerle açılarak, mesnet blokları altına şim çakılarak ve ya iki farklı sıvı komponentin yer altı enjeksiyon pompasında karıştırılarak mesnetlerde önceden açılan M 22'lik deliklerden boşluğa 20 bar ile enjekte edilmesi yöntemleri ile yapılmaktadır.



Şekil 8. Gizli boşluğa ilave selet montajı

Gizli boşluğa ilave selet montajında hat bir süre işletmeye kapatılır. Hattın iki yanı hiltillerle (kırıcı) açılır. Mesnet bloğu ile ana beton arasına tam erişim mümkün olmadığından mesnet bloğu altına şim

plakalar çakılır. Selet montajı yapılır. Boşluk kısımlara da harc ilave edilecek yük dağıtılmaktadır. Kolay uygulanabilir bir yöntem değildir. Fazla iş gücü ve zaman gerektirir.



Şekil 9. Gizli boşluğa kimyasal enjeksiyonu için mesnet bloklarına delik açılması.

Gizli boşluğa kimyasal enjekte edilebilmesi için öncelikle mesnet bloklarına gelen dingil yükü ve basıncı hesaplanır. Mesnet bloklarının mukavemetlerine zarar vermeyecek şekilde iki yerden M22 lik delikler açılır. Bu delikler gizli boşluğun sürdüğü hat kesimindeki tüm mesnet bloklarına açılır. İki farklı kimyasal komponent için birim zamanda aynı hacimde pompalamanın yapılabileceği Esinject makinesi kullanılır. Bu iki komponent çok kullanımlık statik karıştırıcı özellikli enjeksiyon pakerinde karıştırılır. İki kimyasal istenen hacimde karıştırıldıktan sonra deliklerden gizli boşluğa 20 bar basınç ile enjekte edilir. Enjeksiyon işlemi asfaltta kasma olana kadar devam eder. Bu yöntem kolay uygulanabilir olduğundan ve iş gücü ile zamandan tasarruf sağlanabildiğinden daha avantajlıdır.

Deliklere enjeksiyon yapıldıktan sonra delik ağızları kimyasalın özelliğinin bozulmasını engellemek ve hava kabarcığı oluşmasını önlemek için tıplarla kapatılır.

### 3.2.2 Hatta Oturma

Hatların paralelinde su kanalları bulunuyorsa, drenaj kanallarında taşmalar oluyorsa veya doğal afetlerden kaynaklı hatlarda oturmalar meydana gelmektedir. Hattaki oturmalarda hat iki tarafından açılmakta ve çimento enjeksiyonu ile eski kotuna getirilmektedir. Ana betonunun alttan beslenerek zemin taşıma gücünün istenilen değerlere gelmesi sağlanmaktadır. Bunun için fore kazık veya geogrid uygulamaları yapılmaktadır. Fakat bu yöntemler ray ana betonu atılması öncesinde zemin etüdü yapılarak, uygun görülen yerlere iş öncesi yapılmaktadır. Güçlendirilen toprak yapısının zemin taşıma gücü artırılmaktadır. Alt ve üst yapısı hali hazırdaki bir demiryolu hattında yaşanan çökme için bu sistemler kullanımı zor ve işletimi uzun süre aksatacak olmasından dolayı bu yöntemlere başvurulmamaktadır. Estram'da, yeni bir yöntem olarak Esinject ile onarımın yapılabilmesi için, kullanılacak makinede daha yüksek kaldırma kuvveti yaratabilmek için makinenin kapasitesi 160-200 bar seviyesine getirilerek bakım onarım çalışmaları uygulanmaktadır.

### 3.3 Makaslarda Yaşanan Problemler

#### 3.3.1 Dil Aşınması

Makas dilleri hassas elemanlardır. Makas dillerinde aşınma olduğu takdirde, dil değişimi yapılır. Çünkü taşlama vb önlemler ile makas dillerindeki aşınmayı gidermek mümkün değildir. Belli bir süre işletimi sürdürmek için spiraller ile aşınma giderilerek normal profile uygun bir şekillendirmeye gidilebilir.

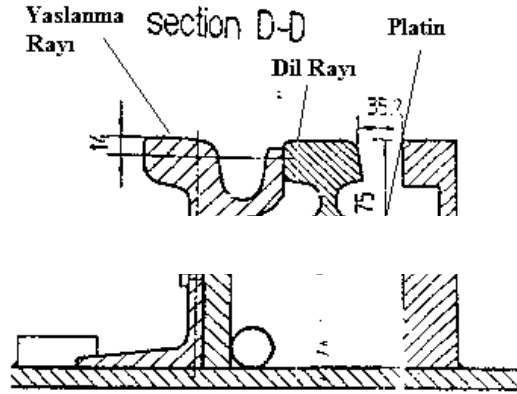
#### 3.3.2 Göbek Aşınması

Makas göbeklerinde aşınmalar meydana geldiğinde dolgu kaynağı yapılır. Kaynak sonrasında ise göbekteki raylar spiraller ile kesme vasıtası ile olması gereken profile uygun biçimde şekillendirilir. Çapaklanmalarda da spiraller kullanılır.

#### 3.3.3 Ekartman Sorunları

Ekartman ayarlarının bozulması durumunda ve makas bölgelerinde 3-5 cmlik ayarlar bozulduğunda hat iki tarafından açılarak ekartman ayarı tekrar yapılır ve bağlantı elemanlarının arasına şim (sac plaka)konulur.

### 3.3.4 Seletlerin Altının Bozulması



Şekil 100. Gizli boşluğun bulunduğu makas bölgesinin enkesiti.

Estram 'da gerçekleştirilen bir bakım onarım uygulamalı eğitiminde makas bölgesinde tespit edilen ray altı gizli boşluğunun tamiraty yapılmıştır. Seletlerin altının bozulduğu ortaya çıkmıştır. Makas dilinin üzerinde oynadığı platin takozlarla sabitlenmiştir. Fakat takozlar aşındığı için platin araç geçişi sırasında aşağı inmektedir. İlerde platinin özelliğini kaybedip kırılması durumunda makas dili de kırılıp aşağı iner ise makas ısıtıcılarının galvaniz borularına temas eder. Bu durumun makas ısıtıcılarının çalıştığı bir zamanda meydana gelmesi ihtimali tehlike arz edeceğinden sorun çözümlenmelidir. Platinin tekrar sabitlenebilmesi için öncelikle perçinler düzeltilmiştir ve perçinler kendini tekrar salınca tij atılmıştır. Fakat bu işlemde makasların 3-5 cm lik ayarını bozmuştur. Platinin aşağı inmesini önlemek için platinde M16 lık bir delik açılarak alt kısımdan platinin sabitlenmesi için iki komponentli kimyasal 20 bar basınç ile enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen işlem sonrasında ertesi gün platinin daha az aşağı indiği hareketi yarı yarıya sönümlendiği gözlemlenmiştir.

## 4. Sonuçlar

Yapılan çalışma sonucunda yaşanan problemlerin asli sebebinin hat inşası sırasında yapılan hatalardan kaynaklanmakta olduğu gözlemlenmiştir. Tramvay hatlarının, gömülü balastsız hat sistemler olması sebebiyle ise yapılacak bakım onarım çalışmalarında problemleri yere ulaşımın, onarımın zorlaştığı ve onarımın zamanını olumsuz etkilediği görülmüştür.

Bu çalışmanın her safhasında yardım ve katkılarıyla desteklerini esirgemeyen Eskişehir'de faaliyet gösteren ESTRAM A.Ş.'nin Yönetim Kuruluna, Eren ERMAĞAN'a ve tüm Hat Bakım ekibi çalışanlarına teşekkür ederiz.

Çerçeve 1. Tramvay hatlarında yaşanan problemler ve olası çözümleri.

Tramvay Hatlarında Yaşanan Problemler	Olası Çözüm Önerileri									
	Alüminotermitt Ray Kaynağı	Dolgu Kaynağı	Ray Taşlama	Selet	Fore Kazık ve Beton	Kimyasal Enjeksiyon	Spiral ile Taşlama	Değişim	Ekartman Ayarı	Basınçlı Su ile Temizleme
Ray Kırıkları	X	X	X							
Raylarda Ondülasyon (Dalgalanma)		X	X							
Olukta Cisim Sıkışması										X
Rayda Apleti (Düzleşme)		X	X							
Ray Altı Gizli Boşluğu				X		X				
Hatta Oturma					X					
Makasda Dil Aşınması							X	X		
Makasda Göbek Aşınması		X					X			
Ekartman Sorunları									X	
Mesnetlerin ve Seletlerin Altının Boşalması				X	X	X				

## 5. Kaynaklar

[1] Lichtberger, B. , "Demiryolu Cep Kitabı",Eurailpress, 183-1864 (2011)

[2] Arlı, V; Öztürk, Z, 'Demiryolu Mühendisliği', 68-77,146-166 (2009)

[3] Uygulama: Eskişehir Hafif Raylı Sistem İşletmesi, Sabit Tesisler Departmanı, Hat ve Yapılar Şefliği

[4] Gizli Boşluğun Selet ile Tadilatı, Kayseri Ulaşım A.Ş.

# HIGH SPEED RAIL COMPARISON BETWEEN TURKEY AND EUROPEAN COUNTRIES IN TERMS OF NETWORK, OPERATION AND INVESTMENTS

Serkan GÖRK<sup>1</sup> \* and Üsame EKİCİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ministry of Transport and Infrastructure of Turkey, Ankara, Turkey, e-mail: serkan.gork@uab.gov.tr

<sup>2</sup> Ministry of Transport and Infrastructure of Turkey, Ankara, Turkey, e-mail: usame.ekici@uab.gov.tr

## Abstract

High speed rail (HSR) is a complex and interdisciplinary system that concerns many technical aspects, such as infrastructure, rolling stock and operations, as well as strategic and cross-sector issues covering human factors, financial, commercial and managerial elements. Since HSR systems are developing all around the World, amount of investments on this sector is increasing day by day. To be able to cope with the needs of intercity passengers enhancing the current transportation system, which is road dominant today, Turkey has been investing in HSR system as a competitive mode since 2009. 10 European countries other than Turkey provide HSR services inside their national borders today. These countries were compared in terms of total railway network length, HSR network length, investments and operational aspects of railways. As a result of the analyses, the situation of Turkey in this field was evaluated and some recommendations were made on development of the sector.

**Keywords:** High-Speed Rail, Network, Transportation

## 1. Introduction

High speed rail (HSR) is a complex and interdisciplinary system that concerns many technical aspects, such as infrastructure, rolling stock and operations, as well as strategic and cross-sector issues covering human factors, financial, commercial and managerial elements. Since HSR provides important characteristics such as safety, velocity, capacity and sustainability, it is a rapidly growing new transport mode which is defined as “transport mode of the future” [1].

Although there is no universal description of the term “High-Speed Rail”, the most common and the most accepted definition is given in the Directive 2008/57/EC by European Union as follows [2]:

*“The high-speed lines shall comprise:*

- specially built high-speed lines equipped for speeds generally equal to or greater than 250 km/h,*
- specially upgraded high-speed lines equipped for speeds of the order of 200 km/h,*



— specially upgraded high-speed lines which have special features as a result of topographical, relief or town-planning constraints, on which the speed must be adapted to each case. This category also includes interconnecting lines between the high-speed and conventional networks, lines through stations, accesses to terminals, depots, etc. travelled at conventional speed by ‘high-speed’ rolling stock.”

This paper provides a general overview on comparison between Turkey and European countries which have HSR services inside their borders. After introduction, section 2 gives information on socio-demographic structure of Turkey and the other European countries to be compared. Section 3 shows statistical parameters about HSR in these countries in terms of length, density, HSR length ratio (HSR/Total Rail network), HSR/population ratio (HSR length/population of the country), share of HSR in total transportation and investments. In section 4, conclusion and recommendations are given and the last section (section 5) covers references.

## 2. Countries Serving HSR in Europe

Currently, there are 11 countries in Europe in which HSR is being served. These countries are given in table 1 with their socio-economic and demographic data.

Table 1 Socio-demographic parameters of HSR Serving Countries in Europe (2016) [3]

2016	Surface Land Area (1000 km <sup>2</sup> )	Population (Million)	Population Density (inhabitants per km <sup>2</sup> )	Gross Domestic Product (GDP) (Billion USD)	GDP per capita (USD)
Austria	83,88	8,74	106	390,80	44.731
Belgium	30,53	11,33	374	467,55	41.261
France	549,09	66,86	122	2.465,13	36.870
Germany	357,38	82,35	236	3.477,80	42.233
Italy	301,34	60,63	206	1.859,38	30.669
Poland	312,68	37,97	124	471,40	12.415
Spain	505,94	46,48	93	1.237,26	26.617
Switzerland	41,29	8,37	212	668,75	79.866
The Netherlands	41,54	17,03	506	777,23	45.638
United Kingdom	243,61	65,60	271	2.650,85	40.412
Turkey	785,35	79,51	103	863,72	10.863

The largest country in the list is Turkey in terms of surface land area with 785.350 km<sup>2</sup> and the second is France with 549.090 km<sup>2</sup> and Germany is the fourth with 357.380 km<sup>2</sup> after Spain with 505.940 km<sup>2</sup>. However, Germany leaves behind Turkey and gets the first place in population with 82,35 million people. That makes population density more than twice as much as Turkey. Belgium is the densest

country looking at the ratio of population over surface land area with 374 inhabitants/km<sup>2</sup>. In terms of GDP, Turkey is right in the middle of the list with 863,72 billion U.S. dollars. Germany is leading the list with 3.477,80 billion USD and Austria is placed in the last position with 390,80 billion USD. However, Turkey gets the last place in the list of GDP per capita with 10.863 USD after Poland in the 10th place with 12.415 USD. The highest GDP per capita belongs to Switzerland (79.866 USD) of those countries serving HSR. A representation of HSR network in Europe is given in the map in figure 1.



Figure 1 HSR Network in Europe [4]

### 3. Comparison of HSR in European Countries

#### 3.1. HSR Length

Length of HSR lines in each country is given in table 2. When these figures are analysed, it is seen that the largest HSR network is owned by Spain with 2.852 km and it is followed by France (2.814 km) and Germany (1.634 km) in the top 3. Turkey is placed on the 5th rank in this list. The Netherlands and the United Kingdom are the last two with 120 km and 113 km respectively. It is also realised that Poland has no HSR service faster than or equal to 250 kph. However, according to EU definition, they have 224 km of HSR network with speed of greater than or equal to 200 kph.

Table 2 HSR Length by Country [4]

	>=250 kph	>=200 kph

Austria	67	268
Belgium	209	209
France	2814	2814
Germany	1236	1634
Italy	896	896
Poland	-	224
Spain	2247	2852
Switzerland	92	144
The Netherlands	120	120
United Kingdom	113	113
Turkey	594	594

### 3.2. Rail Network Density

Rail network density is the ratio of length of total railway network in meters to the surface land area of the country in km<sup>2</sup>. Figure 2 shows density data for the countries compared.

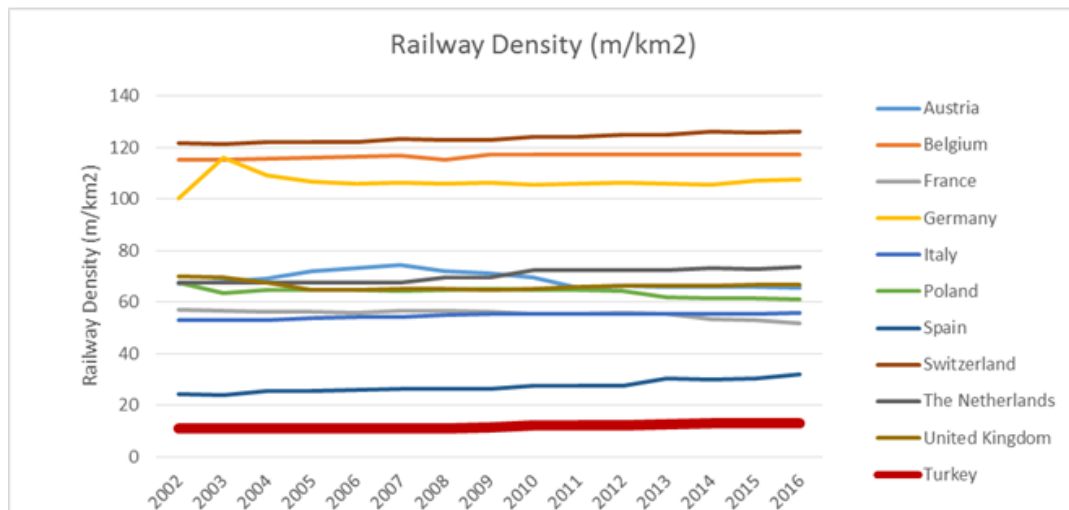


Figure 2 Railway Density [5]

In terms of total railway network density, Switzerland, Belgium and Germany are the leading countries in the list. Turkey is placed on the bottom and has relatively smaller density with 13 m/km<sup>2</sup> in 2016. HSR density shows different profile and the data in 2018 is given in figure 3 for the countries compared.

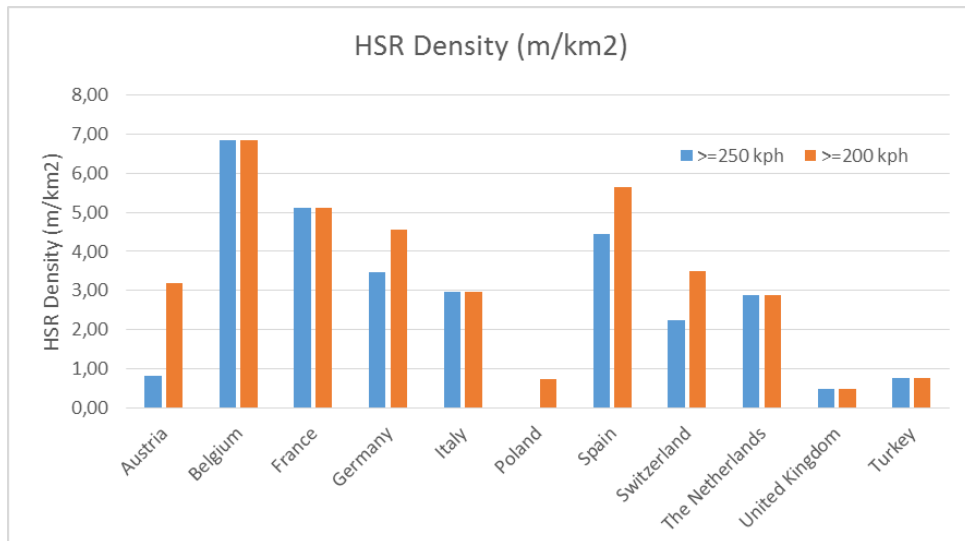


Figure 3 HSR Density in 2018 [3,4]

Although Belgium has a smaller HSR network than 7 countries in the list, it is the top country in the density list with 6,85 m/km<sup>2</sup> due to its small land surface area. Spain and France follow Belgium with 5,64 and 5,12 respectively. Turkey is placed 9<sup>th</sup> with 0,76 m/km<sup>2</sup>, before Poland (0,72) and the UK (0,46).

### 3.3. HSR Length Ratio in Total Railway Network

Another parameter examined is the HSR ratio in total rail network. It is the length of HSR network divided by total rail network in the country. Graph is given in figure 4 which shows the HSR ratio in total rail network.

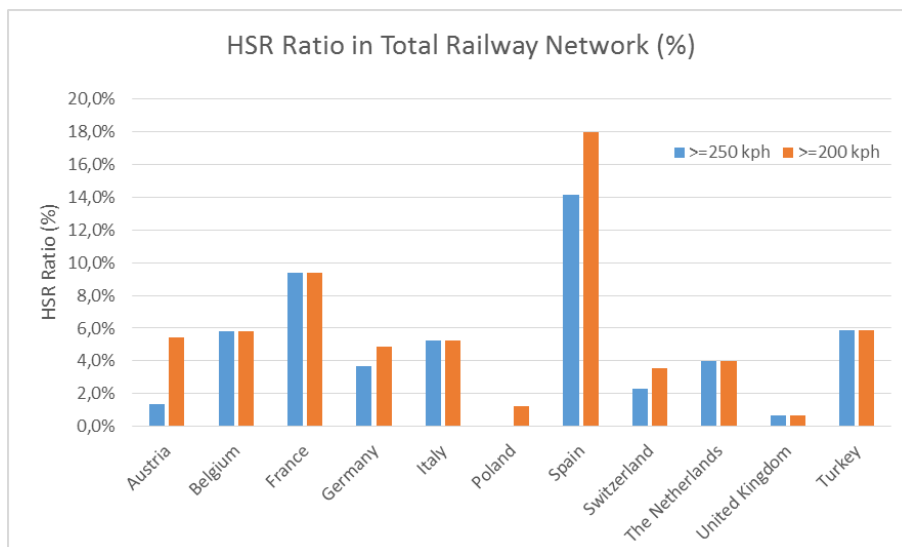


Figure 4 HSR over total rail network ratio [4,5]

When the graph is seen, Spain attracts the attention with 18% and leading the list. France is the second (9,4%) and Turkey is the third (5,9%) in the list.

### 3.4. HSR/Population Ratio

HSR length is divided by population in the country and this ratio is used for another parameter for comparison. Figure 5 shows the relevant data.

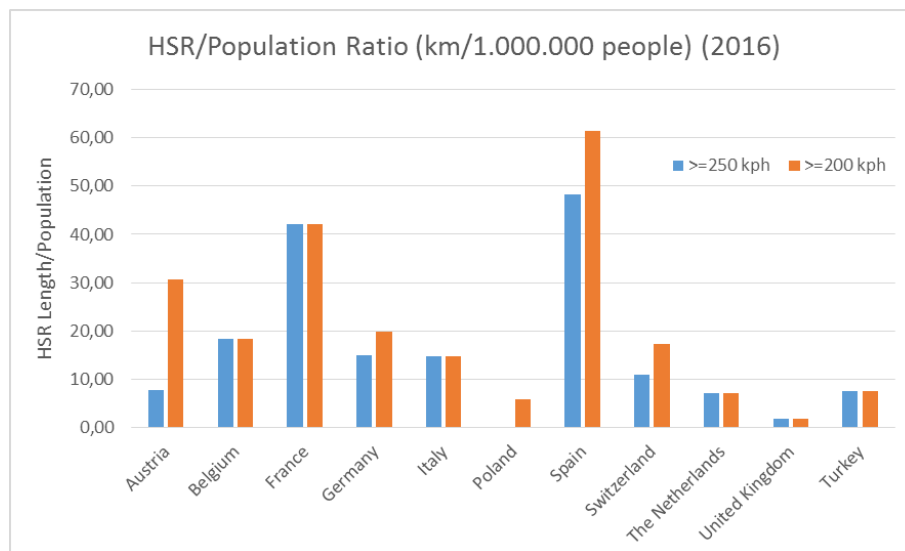


Figure 5 HSR length/population ratio [3,4]

The figures show that similarly to the previous graph, Spain is placed on the top with 61,35 km/million inhabitants. Following countries are France (42,09) and Austria (30,68). Turkey is placed on the 8<sup>th</sup> rank with 7,47 km/million inhabitants.

### 3.5. Share of Railways in Total Transportation

As well known, railways is competing with other transportation modes in intercity trips. With this regard, modal share of railways was investigated for the 11 countries. Ratio of the rail trips in all trips in terms of passenger-km gives the modal share of railways. Switzerland has the highest share with 19,1% in 2015 and it is followed by Austria (12%) and the Netherlands (10,8). Turkey is placed on the bottom (1,6%) much lower than the EU average (7,7%) as it is still a road-dominant country in transportation.

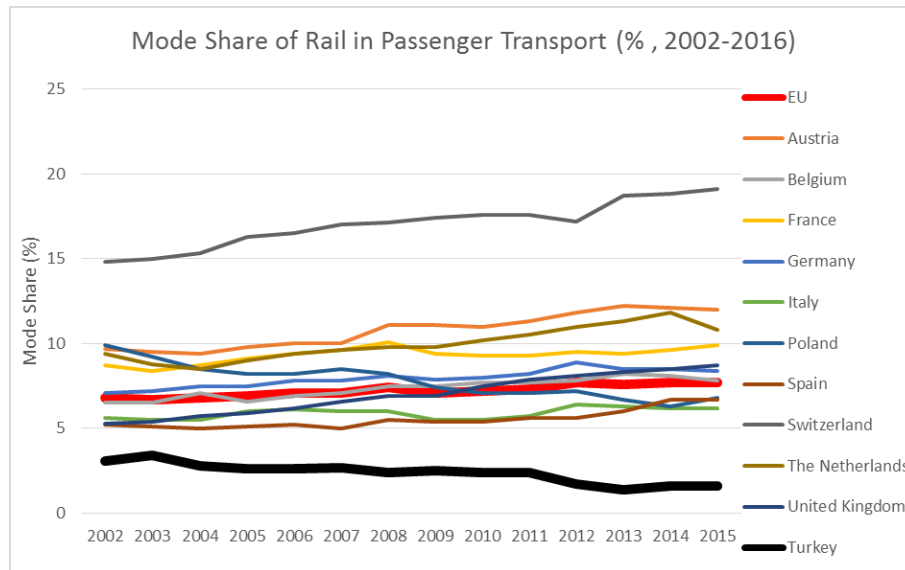


Figure 6 Modal share of railways [5]

### 3.6. Rail Investments

Investment in railway sector is trending in all over the World and it was used as a comparison parameter in this study for the 11 countries in the list. Figure 7 shows the graph of rail investments from 2002 to 2016 for these countries in terms of million euro.

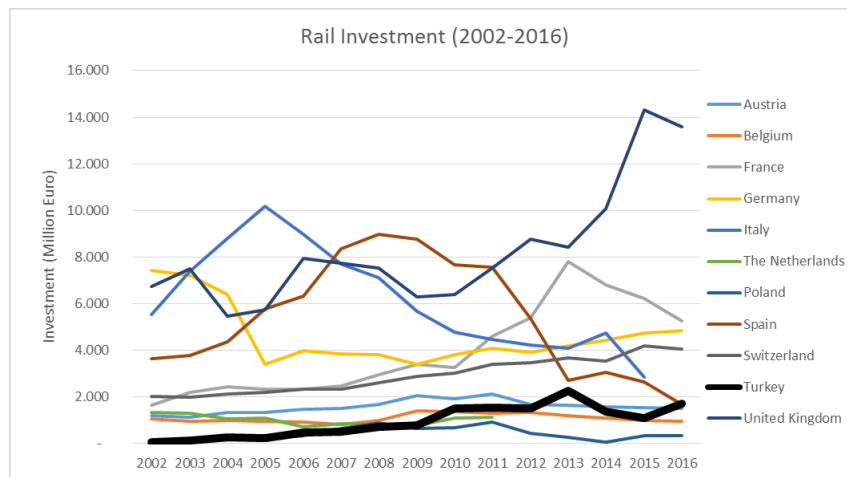


Figure 7 Rail investments 2002-2016 [6]

The top 3 countries in this context are UK (13.578 M€), France (5.244 M€) and Germany (4.840 M€) in 2016. Turkey invested 1.718 million euros in 2016 and this amount of investment is significantly higher than 2002 and before.

These investment amounts are divided by GDP of the countries and given in figure 8 for 2013. In Switzerland, 1% of the GDP was invested on railways sector. Austria and UK follow Switzerland with ratio of 0,54% and 0,44% respectively. This ratio for Turkey is approximately 0,18%.

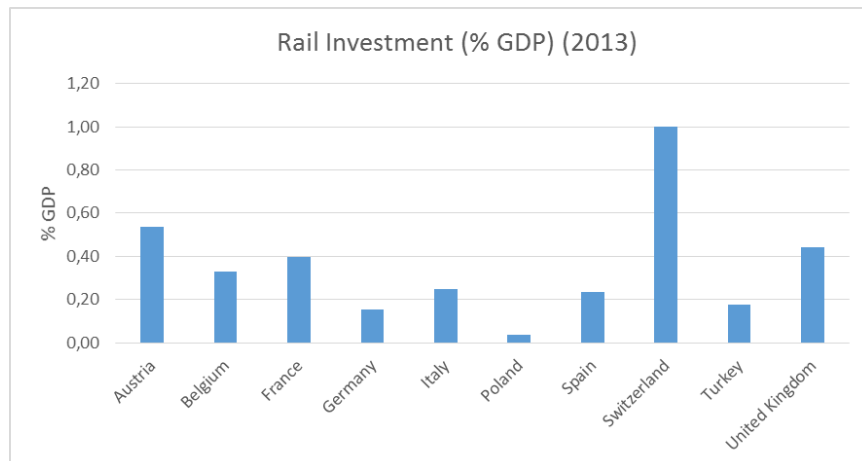


Figure 8 Rail investment/GDP 2013 [3,6]

#### 4. Conclusion and Recommendations

After all analyses were performed, it is seen that Turkey is a developing country in railways sector and investing in HSR systems increasingly year by year. Although Turkey is spending significant amount of sources in this sector, it has to continue developing the network and operations in order to keep up with other countries. Not only for this purpose, but also for having a more efficient and comfortable, reliable, safe transport system, Turkey needs to carry on investing in HSR.

It is more meaningful to compare Turkey with the countries with similar socio-economic and topographical characteristics in detail. Therefore, Germany, Spain and France need to be studied with a further thought in a future research. Also, non-European countries can be included in a study with a broader scope.

#### References

- [1] UIC – International Union of Railways High Speed Rail – Fast Track to Sustainable Mobility, May 2018
- [2] EU Directive 2008/57/EC on the interoperability of the rail system within the Community
- [3] World Bank Open Data <https://data.worldbank.org/> (Last accessed on 01.10.2018)
- [4] UIC – International Union of Railways High Speed Database and Maps <https://uic.org/high-speed-database-maps> (Last accessed on 01.10.2018)
- [5] Eurostat - Statistical Office of European Union <https://ec.europa.eu/eurostat> (Last accessed on 01.10.2018)
- [6] OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) Data <https://data.oecd.org> (Last accessed on 01.10.2018)

# DEMİRYOLU RAYLARININ ALÜMİNOTERMİT KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Fevzi BEDİR<sup>1</sup>, Mehmet Ali ÖZDEN<sup>2</sup>, Erhan ÖZÇARE<sup>1</sup>, İhsan Gökhan SERİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gebze Teknik Üniversitesi 41400 Gebze/Kocaeli, Türkiye  
<sup>2</sup> Antalya Büyükşehir Belediyesi, 07310 Muratpaşa/Antalya, Türkiye

## Özet

Demiryolu rayları kompleks dinamik yüklere maruz kalmaktadırlar. Bu gerilmeler altında demir raylar yorulma davranışları gösterirler. Bu nedenlerden dolayı gelişen teknoloji ile beraber üstün mekanik özelliklere sahip demiryolu rayları talep edilmektedir. Bu çalışmada Antalya Büyükşehir Belediyesi raylı sistemlerinde kullanılan, Kardemir A.Ş. üretimi S49 (49E1) kodlu ray demirlerinin alüminotermite kaynağı ile birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi esas alınarak EN 14730-1 standardına uygun yorulma testi, statik eğilme testi, sertlik ölçümleri ve pin on disk (POD) aşınma testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar doğrultusunda geçiş bölgesinin ve kaynak bölgesinin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Alüminotermite kaynağı, ısının tesiri altındaki bölge, pin on disk aşınma testi, S49 demiryolu rayı.

## Abstract

Railway rails are exposed to dynamic forces. The stress occurred as a result of applied force, increases the probability of fatigue failure in railway rails. With developing technology, improved mechanical properties are demanded. In this study, aluminothermite welding of S49 (49E1) railway rails, manufactured by Kardemir A.Ş., used in rail systems of Antalya Metropolitan Municipality was carried out. Fatigue test, static bending test, hardness measurement and pin on disc (POD) abrasion test, in accordance with the standards of EN 14730-1, were carried out based on welding zone and transition zone of the samples. Results of experimental procedure were used to compare welding zone and transition zone of welded samples.

**Keywords:** Aluminothermite welding, heat affected zone, pin on disc wearing test, S49 railway rail.



## 1. GİRİŞ

Demiryolu rayları kompleks dinamik yüklere maruz kalırlar. Genellikle bu yükler rayların en zayıf noktasında hasar oluşumuna neden olur [1]. Raylar daha önce geleneksel yöntemlerle civata bağlantıları ile birleştirilirdi. Bu durum yoğun bakım gerektirmekte ve maliyeti artırmaktaydı. Ancak teknoloji geliştikçe yerini kaynaklama işlemlerine bırakmıştır. Demiryolu raylarını birleştirmek için genel olarak direnç kaynağı ve alüminyum termit kaynağı (ATK) olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Birincisi, elektrik ile ısıtılarak ergitilen parçaların birleştirilmesini destekleyen bir sıkıştırma kuvvetinin eş zamanlı olarak uygulanmasıyla gerçekleşir. Bu yöntem genellikle kısa ray kesitlerine uygulanan bir yöntemdir. İkinci yöntemde ise raylar arası bağlantı, küçük bir boşluk içeren seramik bir kalıp kullanılarak termit reaksiyonu tarafından üretilen ısıyla eritilen dolgu malzemesinin kalıba doldurmasıyla meydana gelir.

İki kaynak yönteminde de ray ağında yüksek kalıntı gerilmeler ortaya çıkar ve bu da çatlak oluşumunu ve ilerlemesini teşvik edebilir [2]. Yapılan çalışmalarda alüminyum termit kaynağının daha yüksek yorulma ömrüne sahip olduğu ifade edilmiştir. Çünkü ATK gerçekte bir döküm prosesidir [3]. Kaynak kalitesi önemli derecede operatörün kabiliyetine bağlıdır. Döküm esnasında oluşacak döküm hataları gerilme yığılmalarına ve çatlak oluşumuna neden olur [4]. Diğer taraftan demiryolu rayları; ray temas basıncı, trenin ağırlığının sebep olduğu eğilme ve kesme kuvvetleri, sıcaklık etkisi ile ortaya çıkan termal gerilmeler gibi kompleks yüklere maruz kalmaktadır [5]. Özellikle eğme ve kesme kuvvetleri rayı destekleyen traverslerden dolayı dinamik yüklere maruz kalırlar [6]. Birleştirme sıcaklığı ve çevre ortam sıcaklığı farklarından kaynaklanan termal gerilmeler, sıcaklık arttıkça (rayın basma gerilmelerine maruz kaldığı zaman) malzeme genişlemesine ve çevre sıcaklığı azaldığında da malzeme büzülmesine yol açar. Kasılma kısıtlı olduğundan, malzeme yüksek gerilme stresine maruz kalacaktır ve bu nedenle özellikle soğuk kış gecelerinde yorulma çatlaklarının yayılması için uygun ortam oluşacaktır [7].

İllic ve arkadaşları, çalışmalarında termit kaynağı ile birleştirilmiş rayın kaynak bölgesine ısı işlem uygulayarak yapının mekanik özelliklerini, içyapısını ve kırılma mekaniği davranışlarını incelemişlerdir [8]. Jiang ve ekibi, ray ile kaynaklı bölgenin darbe aşınması özelliklerini araştırmışlardır [9]. Demiryolu ile ulaşımda hızın, konforun ve güvenliğin istenen seviyede olması için ray kaynak bölgelerinin en yüksek standartlarda olması gerekmektedir. Rayların birleştirilmesinde alüminotermit kaynağı önemli bir yer tutmaktadır. Alüminotermit kaynağı rayların çökmesine karşı iyi bir bağlantı sağlar, trenin raydan çıkmasını engeller ve konforlu yolculuk sağlar [10]. Bu çalışmada, alüminotermit kaynağı ile birleştirilen ray numunelerinde ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) esas alınarak bu bölgenin mikro yapısı, sertliği, yorulma ve pin on disk (POD) aşınma testi ile mekanik davranışları incelenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DeneySEL çalışmalarda Kardemir A.Ş. üretimi S49 (49E1) kodlu ray demirleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan ray malzemesi numune boyu 130 cm uzunluğundadır. Numunelere sırasıyla yorulma dayanımı, statik eğilme deneyi, sertlik ölçme, aşınma deneyi ve metalografik inceleme yapılmıştır. Deneylerde kullanılan ray çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan S49 ray çeliğinin kimyasal kompozisyonu (%)

C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Pb
0,535	0,605	1,22	0,036	0,107	0,0307	0,0461	0,532	0,0331	0,0216

### 2.1 Yorulma dayanımı

Yorulma testi, S49 (49E1) ray numune üzerinde, "Rayların Alüminotermit Kaynağı Avrupa Standardı EN 14730-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneye, kaynaklı birleştirme bölgesi tam ortaya gelecek ve maksimum çekme gerilmeleri rayın taban kısmında olacak şekilde, 3 noktalı eğme düzeneği kullanarak yorulma testi uygulanmıştır. Yorulma testi 250 kN kapasiteli DARTEC marka universal test düzeneğinde yapılmıştır. Yorulma deneyleri parametreleri 130 cm numune boyu, 100 cm mesnet açıklığı, 480 devir/dakika çevrim sayısı, 220 N/mm<sup>2</sup> üst yük, 50 N/mm<sup>2</sup> alt yük, 5.000.000 yük çevrim sayısı sinuzoidal olarak uygulanmıştır.

## 2.2 Statik eğilme deneyi

Test için 3 adet kaynaklı numune hazırlanmıştır. Numunelerin tam ortasından tekil bir kuvvet uygulanmak suretiyle numuneler eğilme gerilmelerine maruz bırakılmıştır. Tüm ray numunelerinde kırılma meydana gelinceye kadar kuvvet uygulanmıştır. Kopmanın olduğu kuvvet ve ray kırılmadan hemen önceki sehimler ölçülmüştür. Buna ilaveten test düzeneğinde her bir numune için ayrı ayrı yük sehim grafikleri oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan numunelerin görünüşleri Şekil 1’de verilmiştir.



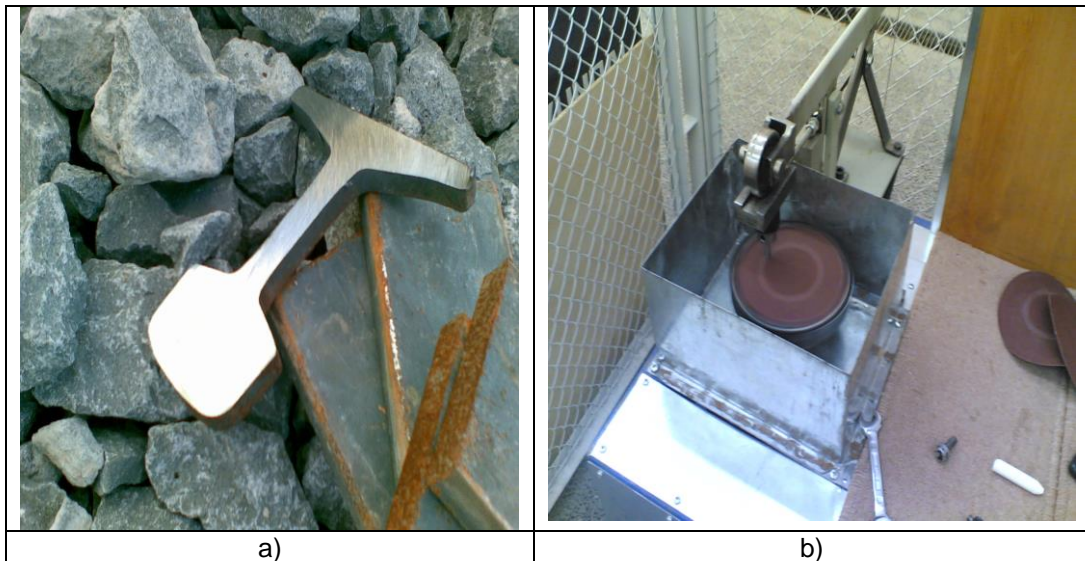
Şekil 1. Statik eğilme testi için hazırlanan kaynaklı numuneler

## 2.3 Sertlik Ölçümü

Kaynak bölgesinin sertliğini belirlemek için, kaynağın yuvarlanma yüzeyinin üzerinde birbirinden 10 mm uzaklıktaki farklı noktalar için ölçüm yapılmıştır. Kaynaklı ray numunesinin üst yüzeyi zımparalandıktan sonra parlatılmıştır. Homojen olmayan bölgeler ve hatalı ölçümden doğan yanlışlıkları azaltmak amacıyla beş farklı noktada sertlik ölçümleri Brinell ölçeğine göre gerçekleştirilmiştir.

## 2.4 Aşınma deneyleri

Aşınma deneyinde, elde ettiğimiz numunelerin mekanik özellikleri abrasiv aşınma yöntemiyle belirlenmiştir. Aşınma deneyi için POD deney düzeneği kullanılmıştır. Numuneye uygulanan yük ve kullanılan aşındırıcıya bağlı olarak numunelerin aşınma yük grafikleri elde edilmiştir. Şekil 2’de deneylerde kullanılan POD ve deney numunesi gösterilmiştir.



Şekil 2. a) ray kesiti örneği, b) POD deney düzeneği görüntüsü

Ölçümler numunelerin ray malzemesi, geçiş bölgesi ve kaynak bölgesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Numunelerin aşınma testleri, oda sıcaklığında, 230 devir/dakika ve 30 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numune, 5 değişik yük altında (10 N, 15 N, 20 N, 25 N ve 30 N ) ve 4 değişik aşındırıcı kağıdında ( P80, P100, P150 ve P220 ) aşınmaya maruz bırakılmıştır. Numuneler aşınma testine tabi tutulduktan sonra metanol ile temizlenmiş, temizleme işleminden sonra kurutulmuş numuneler, 0.1 mg hassasiyetindeki elektronik terazide tartılmıştır. Aşınma testi öncesi ve sonrası numunelerin kütle kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$W = \frac{m / \rho}{\pi \cdot D \cdot 10^{-3} \cdot d}$$

Denklemden, aşınma oranı W (mm<sup>3</sup> m<sup>-1</sup>), kütle kaybı m (g), malzeme yoğunluğu ρ ( g mm<sup>-3</sup>), zımpara üzerindeki izin çapı D (mm), motorun devri ise d (d/dak) ile gösterilmiştir.

## 2.5 Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme için daha önce aşınma deneyi için kullanılan ray kesitlerinin kaynak ve geçiş bölgeleri üzerinden inceleme yapılmıştır. Ray kesitinin mantar kısmının yüzeyleri zımparalanıp parlatılmıştır. Kesim işlemleri tamamen biten numuneler çelik macunu yardımıyla kalıp içine alınmıştır. Zımpara makinesi yardımıyla yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiştir. Daha sonra yeterli ve gerekli yüzey görüntüsünü sağlamak amacıyla elmas suyu ile parlatılmıştır. % 2'lik nital ile dağlanarak hazırlanan numuneler, optik mikroskop cihazı yardımıyla incelenmiş ve resimleri alınmıştır.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

### 3.1 Yorulma Dayanımı

Kaynaklı ray numunenin yorulma testi sonrası görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. Elde edilen yorulma testi sonucunda numunede kritik hasara rastlanmamıştır. Bu durum yapılan kaynak sonucunda cüruf ve kalıntıların yorulma mukavemetine etkisi olmadığı şeklinde değerlendirilmiştir. Yorulma testinin sonucu olarak kaynaklı numunenin yüksek yorulma dayanımına sahip olduğu belirtilebilir.



Şekil 3. Yorulma deneyi sonrası kaynaklı numune

### 3.2 Statik Eğilme Testi

“Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa standardı EN 14730-1” [11] standartlarına göre ray kırılma gerilmesi minimum 750 N/mm<sup>2</sup> ve rayın kırılmadan vereceği sehim minimum 15 mm olması gerekmektedir. Statik eğilme deneyi uygulanmış rayların deney sonrası durumları Şekil 4'te görüldüğü gibidir. Yapılan test sonucu Tablo 2'de değerleri ile birlikte verilmiştir.



Şekil 4. Eğilme deneyi sonrası kaynaklı numunenin yakından görünüşü

Tablo 2. Eğilme deneyi sonrası sonuçlar

	1. Numune	2. Numune	3. Numune
<b>Uygulanan Yük (N)</b>	1027,04 N	1024,1 N	857,5 N
<b>Sehim ( mm )</b>	17,28 mm	15,45 mm	10,45 mm
<b>Deney Sonrası Numunenin Durumu</b>	Gevrek Kırılıma Oluşmuştur	Gevrek Kırılıma Oluşmuştur	Gevrek Kırılıma Oluşmuştur

Statik eğilme deneyi sonrası elde edilen verilerde incelendiğinde, ilk iki numunenin istenilen değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Fakat son numunenin grafiğine bakıldığında gevrek kırılma öncesi oluşan sehim değerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum son numunenin kaynak şartlarına uygun olarak hazırlanmadığını göstermektedir.

### 3.3 Sertlik Testi

Kaynaklı ray numunesine yapılan beş farklı ölçümün ortalaması alınarak kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi için sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinin ve rayın sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca uygulanan ısıl işlemlerin ve kaynak yüzey taşlamasının sertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Kaynak numunelerinden elde edilen sertlik değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Sertlik deneyi sonuçları

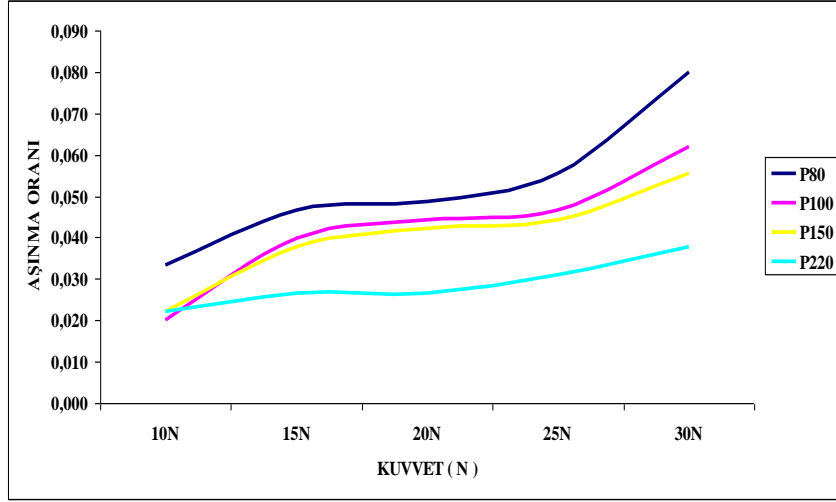
Numune	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	5.Ölçüm	Ortalama
<b>Kaynak Bölgesi</b>	321 HB	313 HB	329 HB	306 HB	313 HB	316 HB
<b>Geçiş Bölgesi</b>	346 HB	324 HB	338 HB	331 HB	336 HB	335 HB

Kaynak bölgesinin sertlik değeri 316 HB, geçiş bölgesinin sertlik değeri 335 HB olarak ölçülmüştür. St 900A çelikten imal edilen S49 ana ray malzemesinin sertlik değeri 280 HB'dir. EN 14730-1'e göre kaynağın Brinell Sertlik değerinin ray çeliğinden 20 HB fazla olması gerekmektedir. Bu da ölçülen sertlik değerlerinin normal sınırlar içerisinde olduğunu bizlere göstermektedir.

### 3.4 Aşınma Testi

Numuneler, mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla abrasiv aşınmaya maruz bırakılmıştır. Aşınma deneyi için POD deney düzeneği kullanılmıştır. Numuneye uygulanan yük ve kullanılan aşındırıcıya bağlı olarak numunelerin aşınma yük grafikleri elde edilmiştir.

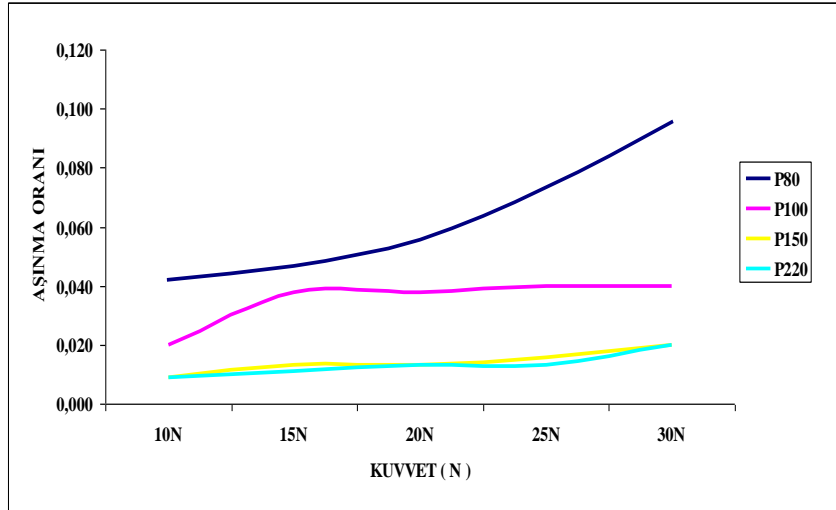
Şekil 6'da, ray malzemesinden elde edilmiş numunenin P220, P150, P100 ve P80 aşındırıcıları ve 10 N, 15 N, 20 N, 25 N, 30 N yükleri altında POD üzerinde yapılan testlerle bulunan aşınma oranlarının grafiği görülmektedir.



Şekil 6. Ray malzemesine ait aşınma grafiği

Artan yükler ve abrasiv aşındırıcının cinsine bağlı olarak aşınma oranı artmaktadır. P80 aşındırıcısında diğer aşındırıcılara nazaran daha yüksek aşınma oranı görülmektedir. P220 aşındırıcısının etkisi diğer aşındırıcılara nazaran daha azdır. Aşındırıcı büyüklüğü arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Ancak grafikten görülebileceği üzere 15 N ile 25 N yükleri arasında aşınma oranlarının neredeyse değişmediği görülmüştür. Bu durumun numunenin aşınma mekanizması ile ilgili olduğu değerlendirilmektedir.

Şekil 7'de kaynak bölgesi malzemesinden elde edilmiş numunenin P220, P150, P100 ve P80 aşındırıcıları ve 10 N, 15 N, 20 N, 25 N, 30 N yükleri altında POD üzerinde yapılan testlerle bulunan aşınma oranlarının grafiği görülmektedir. Artan yükler ve abrasiv aşındırıcının cinsine bağlı olarak aşınma oranı artmaktadır. P80 aşındırıcısı diğer aşındırıcılara nazaran daha yüksek aşınma oranı sağlamaktadır. P220 aşındırıcısı ile diğer aşındırıcılara nazaran daha az aşınma oranı görülmektedir.

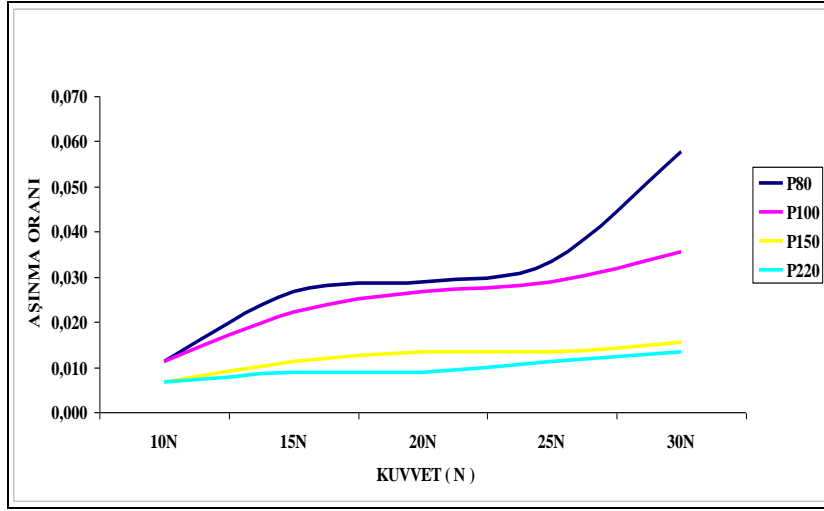


Şekil 7. Kaynak bölgesine ait aşınma grafiği

Aşınma işlemleri sonrasında numunelerin yüzeylerinde deformasyonlar oluşmuştur. Numunelerin aşınması ve abrasiv aşındırıcıların yüzeyine yapışmalardan dolayı kütle aşınma miktarları artmıştır. Aşınma testi sonucu olarak geçiş bölgesinin aşınma oranlarının ray malzemesi ve kaynak malzemesine göre düşük olduğu, ray malzemesinin aşınma oranının da kaynak malzemesinin aşınma oranından düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum sertlik deneyi sonuçları ile de örtüşmektedir.

Şekil 8'de geçiş bölgesi malzemesinden elde edilmiş numunenin P220, P150, P100 ve P80

aşındırıcıları ve 10 N, 15 N, 20 N, 25 N, 30 N yükleri altında POD üzerinde yapılan testlerle bulunan aşınma oranlarının grafiği görülmektedir.

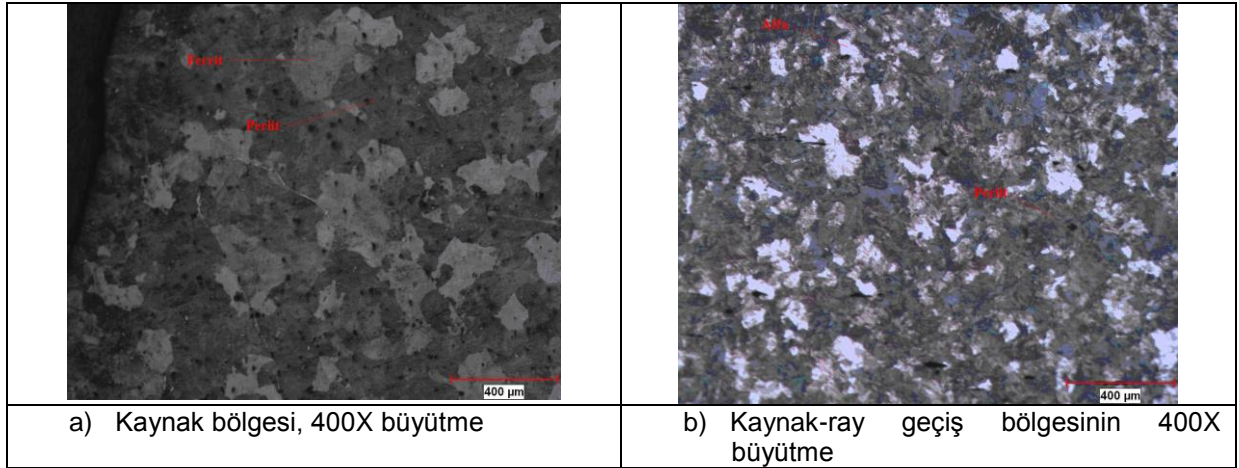


Şekil 8. Geçiş bölgesine ait aşınma grafiği

Artan yükler ve abrasiv aşındırıcının cinsine bağlı olarak aşınma oranı artmaktadır. P220 aşındırıcısı ile diğer aşındırıcılara nazaran daha az aşınma oranı görülmektedir. Grafiklere bakıldığında en yüksek aşınma oranı, 30 N yük ve P80 aşındırıcısı altındaki kaynak bölgesi numunesinde görülmüştür. En düşük aşınma oranı ise 10 N yük altındaki ve P220 aşındırıcısına maruz kalmış ray-kaynak geçiş bölgesi numunesinde gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulanan ray bölgesinde aşınma oranı düşmektedir.

### 3.5 Metalografik İnceleme

S49 kaynaklı ray numunesinin kaynak bölgesi temizlenip, zımparalanıp, parlatılmıştır. Daha sonrasında optik mikroskopta metalografik incelemeler yapılmıştır. Kaynak bölgesinin ve geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Kaynak ve geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafları ( 400 µm )

Mikroyapı fotoğraflarında siyah görülen bölgeler perlitik, açık renkli bölgeler ise ferrit fazını göstermektedir. Kaynak bölgesinin mikroyapı fotoğrafında, kaynak malzemesinin ferrit ve perlit yapıların olduğu ayrıca iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, belirli bölgelerde yoğunlaşmaların olduğu görülmektedir. Kaynak ray geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlenmiştir.

Kaynak bölgesi içyapısında yer yer ferrit kümelenmeleri görülmüştür. Kaynak bölgesinin üst kısımlarındaki tanecikler büyümeye fırsat bulamadan hızlı bir şekilde soğumuş ve sonuçta tanecikler daha küçük kalmıştır.

Ray-kaynak geçiş bölgesinin içyapısı beklendiği gibi tamamen perlitik yapıdadır. Kaynak esnasındaki cüruf oluşumunun kaynak yapısının hava ile direk temas etmesini engellediği ve bu yüzden dekarbürizasyonun oluşmadığı anlaşılmıştır. Mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında da kaynak malzemesindeki zayıf alfa fazının ray malzemesine göre %25'e yakın daha fazla olması kaynağın raya göre zayıf bir karakterde olduğunu göstermektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada S49 (49E1) kodlu ray demirlerinin alüminotermite kaynağı ile birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kaynak bölgesinin ve geçiş bölgesi esas alınarak EN 14730-1'e uygun yorulma testleri, statik eğilme testleri, sertlik ölçümleri ve pin on disk (POD) aşınma testi gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklı ray numunesi için yapılan yorulma testi sonucunda numunede kritik hasara rastlanmamıştır. Statik eğilme test sonucunda kaynaklı numunelerin EN 14730-1 e göre statik eğilme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sertlik değişimlerinin kaynak bölgesi ile ana ray malzemesi arasında 20 HB seviyesinde bir fark olduğu ölçülmüştür.

Abrasiv aşındırıcının tane boyutu büyüdükçe aşınma miktarı artmıştır. P80 abrasiv aşındırıcı en büyük tane büyüklüğüne sahiptir. P220 abrasiv aşındırıcı diğer abrasiv aşındırıcılara göre daha az aşınma miktarı oluşmuştur. Deneylerden elde edilen aşınma sonuçları ile sertlik deneyi sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür.

Kaynak malzemesinin mikroyapı fotoğraflarında iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu buna karşın ray geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlenmiştir.

#### Teşekkür

Deneylerin numunelerinin ve deneylerinin gerçekleşmesinde katkılar sağlayan Antalya Büyükşehir Belediyesi'ne teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

[1] R. Baptistaa,c, T. Santosb, J. Marquesb, M. Guedesa,d, V. Infante, Fatigue behavior and microstructural characterization of a high strength steel for welded railway rails, International Journal of Fatigue, Volume 117, December 2018, Pages 1-8.

[2] A. Skyttebol, B.L. Josefson, J.W. Ringsberg, Fatigue crack growth in a welded rail under the influence of residual stresses, Engineering Fracture Mechanics, 72 (2005), pp. 271-285.

[3] P.J. Mutton, E.F. Alvarez, Failure modes in aluminothermic rail welds under high axle load conditions, Engineering Failure Analysis, 11 (2004), pp. 151-166.

[4] I. Salehi, A. Kapoor, P. Mutton Multi-axial fatigue analysis of aluminothermic rail welds under high axle load conditions, International Journal of Fatigue, 33 (2011), pp. 1324-1336.

[5] U. Zerbst, R. Lundén, K.O. Edel, R.A. Smith, Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails - a review, Engineering Fracture Mechanics, 76 (2009), pp. 2563-2601.

[6] S. Romano, D. Manenti, S. Beretta, U. Zerbst, Semi-probabilistic method for residual lifetime of aluminothermic welded rails with foot cracks, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 85 (2016), pp. 398-411.

[7] U. Zerbst, M. Schödel, R. Heyder, Damage tolerance investigations on rails, *Engineering Fracture Mechanics*, 76 (2009), pp. 2637-2653.

[8] N. Ilic, M.T.Jovanovic, M.Todorovic, M.Trtnj, P.Saponjic, Microstructural and mechanical characterization of post weld heat-treated thermite welding rails, *Material Characterization*, 43(1999) 243–250.

[9] W. J. Jiang, C. Liu, C. G. He, J. Guo, W. J. Wang, Q. Y. Liu, Investigating on impact wear and damage mechanism of railway rail weld joint and rail materials, *Wear* 376-377 (2017) 1938-1946.

[10] Meriç ve Engez, C.T., Termit Kaynağı ile Birleştirilen bir Rayın Kaynak Bölgesindeki Sertlik Dağılımı ve Metalurjik Özellikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4 – 2, 649–654].

[11] DIN EN 14730-1, Railway applications –Track- Aluminothermic welding of rails.



# RAYLI SİSTEMLERDE DİZEL VE ELEKTRİKLİ ÇEKİM TÜRLERİ

Yalgın Kahraman<sup>1\*</sup> and Sümeyye Uçar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Raylı Sistemler Derneği, Ankara, Türkiye, [yalginkahraman@rsd.org.tr](mailto:yalginkahraman@rsd.org.tr)

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Derneği, Malatya, Türkiye, [sumeyyeucar@rsd.org.tr](mailto:sumeyyeucar@rsd.org.tr)

## Özet

Günümüzde çekim kuvveti için güç üretimi dizel motorlar veya elektrik motorları ile yapılmaktadır. Dizel çekimlerin düşük hat yapım maliyetleri gibi avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktaydı. 1950'li yıllara gelindiğinde dizel çekimi türlerinin maliyetli ve çevreye olan zararları nedeniyle elektrikli çekim türlerinin yaygınlaşmasına neden olmuştur. Ulusal güç şebekelerinin farklı olması ve teknolojinin gelişmesi ile elektrikli çekim türleri de kendi arasında değişiklikler göstermiştir. Bu çalışmada çekim türleri incelenmiş çekim kuvveti ve verimlilik hesapları verilmiş ve türler arasındaki farklılıklar belirtmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu Çekim Türü, Dizel, Elektrik, Doğru Akım, Alternatif Akım

## Abstract

Today, the power generation for the draft force is made by diesel engines or electric motors. Diesel shots have disadvantages as well as advantages such as low line construction costs. In the 1950s, diesel shooting caused costly and environmentally damaging types of electric shooting. The different types of national power networks and the development of technology and the types of electric shots have also changed. In this study, shooting types were examined, gravity and efficiency calculations were given and differences between species were indicated.

**Keywords:** Type of Rail Shooting, Diesel, Electric, Direct Current, Alternating Current

## 1. Giriş

Çekim güç üretimi buhar, dizel veya elektrik motorlarına dayanır. Demiryolunda kullanılan ilk enerji kaynağı buhardır. Gerçekten demiryollarının ilk başlarda hızlı bir şekilde ya buharın icadına dayanmaktadır. İlk buharlı araç 1804 yılında ortaya çıkmış ve 1830 yıllarda demiryolunda kullanılmaya başlanmıştır. 120 yıldan fazla bir süre buhar motorlar demiryolunun başlıca güç kaynağı olmuştur. Günümüzde verimsiz işletme şartları ve çevreye olan zararı nedeniyle sadece tarihi değerleri nedeniyle turizm kaynaklı işletmeleri yapılmaktadır.

Dizel çekim II. Dünya Savaşından kısa bir zaman önce kullanılmaya başlamış ama savaş sonrası sistematik olarak geliştirilmiştir. Dizel lokomotifler içten yanmalı dizel motorlarla çalışır. Buharlı çekime göre çok fazla etkinliği, daha düşük işletme maliyeti (nerdeyse %50) daha iyi performansı (güç, hız) ve daha temiz işletme vardır ve yolcu konforu artmıştı; makinist için daha az yorucu ve daha uygun kullanma imkânı vardır. Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığında genel olarak dizel elektrikli lokomotifler kullanılmaktadır.

Elektrikli demiryolu çekimin ilk ortaya çıkması 1879 yılına dayanmaktadır. 1890-1914 yılları arasında elektrikli tramvayların geliştirilmesi ile elektrik güç ilk başlarda sadece şehir içi hatlarda kullanılmaya başlamıştır. 1920 yılından beri özellikle 1950'dan sonra elektrikli çekim yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Elektrik çekimin işletme maliyeti dizele göre %35 daha düşüktür ama sabit tesisler gerektirdiği için ilk maliyeti daha yüksektir. Buna rağmen ülkemizde ve dünyada elektrikli demiryolu hatları giderek artmaktadır. Daha verimli işletme şartları, çevreye duyarlı, kömür ve petrole bağımsız bir çekim sistemi, diğer ulaştırma türlerine göre elektrikli demiryollarını daha üstün hale getirmiştir.

## 2. Dizel Çekim

Otomobillerde aracın hareketini sağlayan sistemde olduğu gibi dizel motorlar krank milini döndürür. Krank milindeki dönme hareketi bir aktarma organı ile yürütücü dingile (motris) iletilir. Dizel motorlar ve aktarma organları ile birlikte lokomotifin içinde bulunur.

Dizel motorlar aşağıdaki gibi dört aşamada çalışırlar:

- Emme hareketi: Bu sürede giriş valfi açık ve çıkış valfi kapalı iken piston yukarıdan aşağıya doğru hareket etmeye başlar ve silindir taze hava ile dolar.
- Sıkışma hareketi: Giriş ve çıkış valfleri kapalı iken piston aşağıdan yukarı doğru hareket eder. Bu durumda pistondaki hava basıncı 1 atm den 30-40 atm ye çıkar ve sıcaklığın 400- C ye çıkmasına neden olur. Piston yukarı çıkmadan kısa bir süre önce pistonu basınçlı yakıt enjekte edilir. Piston yukarı çıktığı zaman yakıt ateş alır ve sıcaklık 1800- C ye çıkarken, silindirdeki basınç 50-80 atm ye ulaşır.
- Genleşme aşaması: Valfler kapalı iken genleşen gaz pistonu, bu sefer aşağıya doğru hareket eder, uygun bir anda çıkış valfi açılır.
- Egzoz aşaması: Çıkış valfinin açılması ile piston aşağıdan yukarıya doğru hareket etmeye başlar. Bu aşamanın ilk sürelerinde yanan gazın büyük bir kısmı pistondan dışarı atılır. Geri kalan gaz giriş valfi açık iken piston yukarı çıkarken piston tarafından itilir.

Bütün bu aşamalar tamamlandıktan sonra piston ilk konumuna geri döner ve bu işlem tekrar baştan başlayarak devam eder. Buna karşın, bu döngüyü iki zamanlı motorla iki aşamada yapmak da mümkündür. Silindir sayısına bağlı olarak dizel motorlar, sıralı olarak 4, 5 veya 8 silindirli veya V düzeyinde 8-12 silindirli olabilir.

Motor hızı yavaştan (750 devir/dak), hızlıya (1200-1500 devir/dak) kadar değişir. Yavaş motorlar daha ağırdırlar. Yüksek sıcaklıklara dayanmaları açısından, silindirler, aralarında su devrinin sağlanması için iki tabakalı yapılırlar.

### 2.1. Dizel Lokomotiflerde Aktarma Organları

Yapısı, korunması ve çalışmasının ekonomik olması için dizel motorların dakikadaki devir sayıları olabildiğince sabit olmalı ve motorlar en uygun rejimde çalıştırılmalıdır. Ancak dizel motorlar yük altında harekete geçememekte ve hızlanamamaktadır. Bu nedenle, tren en küçük rejim hızına ulaşıncaya değin krank milinin yürütücü dingillerle bağlantısını çözümlü tutacak, rejim hızına ulaşıldığında ise bu bağlantıyı sağlayacak bir kavrama düzenine gerek bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, motor rejim hızını, taşıtın farklı seyir hızlarına çevirecek şanzıman adı verilen bir düzene daha gerek vardır. Kavrama ve şanzıman düzenlerinin tümü aktarma organı (transmisyon) olarak adlandırılır. Dolayısıyla, transmisyon düzenleri krank milinin boşta dönmesini ve dönme hızını değişik oranlarda azaltarak, yürütücü dingilin değişik hızlar ve döndürme momentleri ile dönmesini sağlayan bir düzendir. Transmisyon düzenleri mekanik, elektrik ya da hidrolik olmak üzere üç türde üretilmektedir. En çok kullanılan elektrikli düzende dizel motoru bir doğru akımı jeneratörünü harekete geçirir. Jeneratörden elde edilen akımla çekim motorları çalıştırılır.

Dizel lokomotiflerde motordan tekerleklere gücün iletimi aşağıdaki yöntemlerle sağlanır:

- Hidrodinamik iletim ve hidrodinamik hız değiştirme ile (Voith tipi)
- Hidrodinamik iletim ve mekanik hız değiştirme ile (Mekydro tipi)
- Elektrikli iletimle; dizel motor elektrik jeneratörünü çalıştırır, jeneratör de çekimli tekerleklere mekanik olarak bağlı olan bir seri elektrik motoru çalıştırır. Elektrikli iletimde dişli kutu yoktur, çalışma prensibi elektrikli lokomotiflerde olduğu gibidir. Bu sistem dizel-elektrik adıyla bilinir. Dizel motor direkt olarak tekerleklere bağlı olmadığından dolayı iletim sistemi, dizel-elektrik

sistemlerde daha basittir, daha az bağlantı elemanı ve daha az bakım gerektirir. Dizel-elektrik lokomotifler, temel olarak dingilleri hareket ettiren doğru akım jeneratörleridir. Eğer yüksek çekim gücü gerekiyorsa, aynı trene birkaç tane dizel lokomotif bağlanır.

Dizel-elektrik lokomotifler son yıllarda Hybrid (melez) lokomotif olarak üretilmeye başlanmıştır. Bu sistemde lokomotif, gücünü yeniden şarj edilebilir bataryalardan alır. Bataryalar boşaldıkça dizel motor bataryaları doldurur. Bu tip lokomotiflerde dizel motora sürekli olarak ihtiyaç duyulmadığından dolayı yakıt tüketimi daha az gerçekleşir. Ayrıca yapılan araştırmalarda, melez lokomotiflerin ürettiği emisyon miktarının, dizel çekimle çalışan lokomotiflerin ürettiğinin yarısı kadar olduğu tespit edilmiştir.

- Diğer yöntemlerle, örneğin hidrostatik iletim veya mekanik iletim ile.

## 2.2. Dizel Motorun Güç ve Çekim Kuvveti

Bir silindirin  $W$  cinsinden endike gücü,

$$N_i = nQP_i$$

olarak tanımlanabilir. Burada,  $n$  motor milinin saniyedeki devir sayısı,  $Q$  faydalı hacim,  $P$  de  $N/m^2$  cinsinden ortalama basınçtır. Ortalama basınç, yakıtın enerjisi ile silindirdeki basınç enerjisi birbirine eşitlenerek hesaplanır.  $d$  metre cinsinden piston çapı,  $s$  de piston sayısı olmak üzere, faydalı hacim,

$$Q = \frac{\pi d^2 s}{4}$$

olur. Motorun gücü ise,  $\rho_m$  motorun mekanik verimi olmak üzere,

$$N_m = \rho_m N_i$$

olur. Bandajdaki güç bir dizel lokomotifte,

$$N_b = n_m n_d n_j N_i$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $n_m$  motordan transmisyona geçişteki kayıplar,  $n_d$  transmisyon düzeninin verim katsayısı,  $n_j$  jeneratörün verim katsayısıdır.

## 2.3. Dizel Motorda Enerji Verimliliği

Elektrifikasyonun olmadığı hatlarda dizel demiryolu araçları kullanılmaktadır. Dizel motorlardaki enerji dengesi aşağıda görülmektedir.



## Şekil 1. Dizel motor enerji dengesi.

Şekil 1 incelendiğinde atık ısının (%33 + %11 + %7) motor gücünü (%41) geçtiği görülecektir. Egzozdan dışarı atılan %33'lük, motor soğutma sistemine geçen %11'lik atık ısının kullanımına yönelik teknolojiler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı DMU tren setlerinde motor soğutma sistemindeki atık ısının trenin ısıtılması için kullanımınıdır. Diğer teknolojiler ise egzozdan atılan atık ısıyı kullanarak soğutma yapan absorpsiyonlu soğutma makinası ve clausius-rankine yönetimidir. Motor soğutma sisteminde 80-90°C sıcaklığında 48-280kW, egzozdan ise 420-560°C sıcaklığında 102- 413kW atık ısı meydana gelmektedir

### 2.4. Dizel Çekimin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları;

- Elektrikasyon işlerine ve kataner sistemlerine gerek olmadığı için daha düşük hat yapım maliyeti
- Otonomi

Elektrikli çekime göre dezavantajları;

- Daha düşük mekanik performans (güç, kuvvet, hız)
- Daha yüksek enerji tüketimi
- Daha fazla hava ve gürültü kirliliği
- Daha yüksek bakım maliyetleri

## 3. Elektrikli Çekim

Çekim sistemine ve hatlardaki trafik yüküne bağlı olarak, trafolar 15-70 km mesafeler ile yerleştirilir. Ulusal enterkonnekte güç şebekesinden; Avrupa'da 50 Hz ve Amerika'da 60 Hz'dir. Kullanılan kolektörlü seri bağlı AC motorlarda frekansla orantılı olarak bazı sorunlardan dolayı kamusal 50 Hz frekansından daha düşük 16 2/3 Hz frekansında kullanılması ihtiyacı oluşmuştur. Bundan dolayı, bir elektrikli demiryolu hattı planlanırken (mevcut veya inşa halinde) yakınlarda enerji sağlanabilecek bir kamusal santralin varlığı ve oradan sağlanabilecek enerji miktarı tespit edilmelidir. Trafodan araçlara iletim hattı tek fazlı olarak yapılmaktadır.

Raylar üzerinden, kataner hattın ya da 3. raydan iletilen akımın geri dönüşü (topraklaması) gerçekleştirilir. Güç kaynağı ve çekim alt sistemlerinin farklı talepleri vardır ve bunlar enerji iletimi önceliklerine ve enerji kullanımına bağlıdır. Bu sebeple farklı elektrikli çekim sistemleri geliştirilmiştir.

### 3.1. Doğru Akımlı Çekim

Tren çekim için doğru akımın ve alteneği akımın farklı avantajları vardır. Tren sistemleri göz önünde bulundurulduğunda doğru akım alternatif akımdan daha üstündür. Buna karşılık doğru akım dönüştürülemez ve doğru akımın uzak mesafelere iletimi uygun değildir. (1500 V için trafolar arası mesafe 15-20 km, 3000 V için 35-40 km'dir.) Bu nedenle, santrallerde üretilen yüksek gerilimli üç fazlı akım, bir dönüştürücü (transformatör) ile iletim gerilimi seviyesine çıkarılarak(yükseltici), ikincil santrallere iletilir. İkincil santralde de gerilim yine bir dönüştürücü ile dağıtım hattı gerilimine indirilir(alçaltıcı). Sonrasında da alternatif akım, doğru akıma çevrilir.

Zamanla doğru akım motorlarında elde edilen gelişmeler sayesinde her bir motorun 1.500 V'luk gerilimle çalışması sağlanabilmiştir. İki motor birbirine seri olarak bağlandığında, toplam 3.000 V'luk gerilim uygulanabilmektedir. Doğru akımlı sistemlerde uygulanan akım değerleri üçe ayrılır. 600 — 800 V'luk alçak gerilim kısa mesafeli hatlarında kullanılır ve enerji 3. raydan iletilir. 1.500 V'luk gerilim, diğer gerilimlere göre daha yaygındır ve son olarak 3.000+ V'luk yüksek gerilimdir. Doğru akım sistemi, araç çekim donanımı olarak daha üstün olmasına rağmen daha fazla sayıda trafo merkezi gerektirmesi güç kaynağı olarak kullanılmasında zayıf bir yöndür. Dünya genelinde elektrikli demiryolu hatlarının yarısında kullanılmaktadır.

### 3.2. Alternatif Akımlı Çekim

#### 15000 V, 16 2/3 Hz Alternatif Akım Çekim Sistemi:

Tek fazlı akımlı motorların bulunmadığı ve 600 V'dan daha yüksek gerilimli doğru akım motorları yapılamadığı dönemde, 3.000 V'luk üç fazlı motorlar kullanılmaktaydı. Üç fazlı akımlı çekim sisteminde doğru akımlı çekime benzer sistem kullanılmaktadır. Aradaki fark motor yapısı ve iletişim şebekesi üzerindeki etkisi nedeniyle, bu alternatif akımlarda 16 2/3 Hz 'lik frekanslar kullanılmaktadır. Ancak enerji sanayi tesislerinin şebekesinden elde edilecekse, 50 Hz'lik frekans değeri kullanıldığından ikincil santrallerde frekans değiştirici kullanılması gerekmektedir. Bir diğer fark ise enerji iletiminin yerden ve birbirinden yalıtılmış iki kataner hattı ile yine birbirinden yalıtılmış iki pantograf vasıtasıyla gerçekleştirilmesidir. Topraklama için yine ray dizisi kullanılmaktadır.

Bu sistemde trafo merkezleri iki yolla enerjiyi alırlar. Ulusal güç şebekelerinden yani 50 veya 60 Hz frekansında enerji alırsa bu durumda trafolarla gerilim dönüşümü ve frekans değişimi uygulanır. Eğer düşük frekanslı AC taşıyan ayrı bir şebekeden enerji çekilirse bu durumda trafoda sadece gerilim indirgenmesi olur.

15000 V, 16 2/3 Hz de 50-60 km aralıklarla trafo merkezleri yerleştirilir ve iletken hat kesiti doğru akımdakine oranla daha küçüktür. Buna karşın dezavantajı, kullanılan çekim (cer) motorlarının çok hassas olmasıdır. Üç fazlı akımlı çekim sisteminde de gerilim zaman içerisinde arttırılarak, 4.500, 5.000 ve 6.000 V'luk üç fazlı akımlar kullanılmıştır. Üç fazlı akımlı çekim sistemi dünyadaki elektrikli hatların yaklaşık %18'inde tercih edilmektedir.

#### 25000 V Ac, 50 Hz Çekim Sistemi:

Daha önce bahsedilen iki sistemin dezavantajlarından dolayı, iki sistemin avantajlarını birleştirecek ve dezavantajlarını ihmal edecek bir çekim sistemi bulunmaya çalışılmıştır. Bu, 1950 den sonra etkin ve hafif ignitronlu redresörle başarılmıştır. (daha sonra bunların yerini 1980 li yıllarda GTO teknolojisi almıştır) Bu sistemde, trafo merkezleri kamusal enerji santrallerinden beslenir ve gerilim 25000 V, 50 Hz'e düşürülür ve iletim hattı ile lokomotiflere iletilir. Lokomotifte gerilim yine düşürülür ve doğru akıma dönüştürülerek seri uyartımlı çekim motorları çalıştırılır. Tek fazlı akım sisteminde enerji iletimi tek bir kataner hattından sağlanır ve topraklama raylar ile gerçekleştirilir.

Çoğunlukla yeni hatlarda kullanılmakla beraber, dünyadaki toplam demiryolu hattının %30'nda 25000 V, 50 Hz sistemi kullanılmaktadır.

Trafolar arası 60-100 km'dir ve iletim hat kesiti doğru akımdakine göre 3-5 defa daha küçüktür. Bu durum dikkate alındığında 1500 V DC kullanan çekim sistemlerinin yapım maliyetlerini karşıladığımız zaman, 25000 V, 50 Hz AC çekim sistemlerinin %30 daha az maliyetli olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu sistem trenlerin hareketi için üstün nitelikte olan doğru akım seri motorlarını kullanma imkânı verir.

### 3.3. Raylı Sistemlerde Kullanılan Motor Çeşitleri

Elektrik motorları aşağıdaki üç ana kategoride sınıflandırılabilir.

- Doğru akım motorları: Endüktör sabittir (stator) ve DC taşır. Endüksiyon fırçaları ile DC ile beslenen rotor veya hareketli kısım ve stator arasında endüksiyon olur. Böylece rotorun sargıları alternatif akım taşır. Motor hızı motora verilen DC gerilimini değiştirerek veya manyetik alan değiştirilerek ayarlanır. Dönme yönü endükter bağlantıları ters yüz edilerek değiştirilir, (polarite tersine çevirmek).
- Senkron motorlar: Endüktör döner ve DC taşır. Endüksiyon, rotor ile üç fazlı AC taşıyan sabit kısım (stator) arasında olur. Dönme hızı üç aşamalı alternatif akımın frekansı değiştirilerek sağlanır. Dönme yönü AC fazlarının ters çevrilmesi ile değiştirilir.

- Asenkron motorlar: Endüktör sabittir ve üç fazlı AC taşır. Endüksiyon stator ile üç fazlı AC taşıyan dönen kısım arasında olur. Hız üç fazlı AC frekansı değiştirilerek ayarlanır. Dönüş yönü endüktör fazları ters çevrilerek değiştirilir Asenkron motorlar aşağıdaki avantajları sunar; Daha hafiftir, aynı güçteki senkron motorların yaklaşık yarısı kadardır, Daha yüksek verim ve tork kuvveti, Hatta gelen yükün azalması

Günümüzde çoğu elektrikli lokomotif doğru akım motoru kullanır. Senkron ve asenkron motorlar güç bakımından denktir. Bunlar yüksek dönem hızlarından dolayı doğru akım motorlarından daha fazla efektiftir. Asenkron teknoloji karmaşık elektronik sistemlerine gerek olmasına rağmen hızlı bir şekilde genişlemektedir. 1990 yılında senkronize motorlu bir lokomotif 515 km/sa hıza ulaşmıştır. Bu iki farklı motor arasındaki seçim satın alma, bakım ve işletme maliyetlerine bağlıdır.

### 3.4. Elektrikli Çekimde Güç ve Çekim Kuvveti Hesabı

Elektrik motorunun gücü,

$$N_m = \frac{n_m e i \cos \theta}{1000}$$

olarak hesaplanır. Burada  $n_m$  motor verim katsayısı,  $e$  gerilim (V),  $i$  akım şiddeti (A) ve  $\cos \theta$  de güç faktörüdür. Elektrik motorunun gücü aynı zamanda

$$N_m = \frac{M_m 2\pi n_m}{60} \text{ veya } N_m = \frac{Z_m r 2\pi n_m}{60}$$

şeklinde de ifade edilebilir. Burada,  $M_m$  mildeki döndürme momenti (Nm),  $n_m$  de milin dakikadaki devir sayısıdır. Döndürme momenti,  $Z_m$  mildeki çekim kuvveti (N),  $r$  de motor mili yarıçapı (m) olmak üzere ifade edilebilir. Mildeki çekim kuvveti ile bandajda ki çekim kuvveti eşittir.

Taşıtın hızı,

$$V = \frac{\pi D n_b 60}{1000} \text{ (Km/sa)}$$

Burada  $n_b$ , bandajın, dolayısıyla da tekerleklerin dakikadaki devir sayısıdır.  $D$  tekerlek çapı (m) olmak üzere ve  $m$  ile motor milindeki döndürme momentinin bandaja iletilmesindeki indirgeme katsayısı ifade edildiğinde,

$$\frac{n_m}{n_b} = m$$

$$V = \frac{\pi D n_m 60}{1000 m} \text{ (Km/sa)}$$

yazılabilir. Eğer güç  $kW$  cinsinden yazılırsa,

$$N_m = \frac{Z_b V}{3600} \text{ (kW)}$$

motor gücü, çekim kuvveti ve hız arasındaki bağıntıya ulaşılır.

Elektro motorlar yüklü olarak çalışırken ısı altında bulunurlar. Yük ve uygulanma süresi arttıkça ısı da artar. Isı yalıtımı için kullanılan malzemenin fiziksel ve elektriksel özelliklerinin değişmesine neden olacak bir ısı derecesi ve bu ısının etkisine maruz kalabileceği bir süre vardır. Bu ısı sırtın yalıtım malzemesinin özelliklerine göre 95 - 120 °C arasında değişmektedir. Bu nedenle yükün uygulanma

süresine bağlı olarak hızlanma sırasında, saatlik ve sürekli olmak üzere üç tip güç ve çekim kuvveti hesap edilmektedir.

### 3.5. Elektrikli Çekimde Verim

Gerçek verim,  $R_L$  ile gösterildiğinde,

$$R_L = \frac{\text{Bandajda elde edilen enerji}}{\text{İletim hattında çekilen enerji}} \cong 0,85$$

olmaktadır. Toplam verim  $R$  ise,

$$R = R_L R_T R_S R_N R_I$$

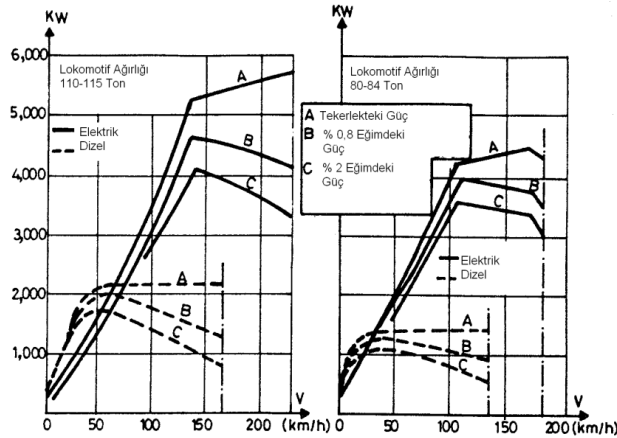
Burada kullanılan katsayılar ve yaklaşık değerleri şöyledir:

- $R_T$ : İletim hattının verimi (ikincil santral ile lokomotif arasındaki)  $\approx 0,92$
- $R_S$ : İkincil santralin verimi (gelen akımın ikincil santrale kadar olan kayıplara)  $\approx 0,90$
- $R_N$ : Kataner hattının verimi  $\approx 0,85$
- $R_I$ : Enerji üreten santralin verimi  $\approx 0,25$

Dolayısıyla toplam verim,  $R = 0,15$  olur.

### 3.6. Elektrikli Çekim Sisteminin Dizele Göre Avantaj Ve Dezavantajları

- Elektrikli lokomotifin en büyük avantajı spesifik gücüdür (50-55 kW/ton). Dizel lokomotiflerin spesifik gücünün (20-25 kW/ton) iki katı kadardır.



Grafik 1. Hız- Güç Grafiği

- Elektrik motorları, geçici aşırı yüklemeleri (demerajda, büyük eğimlerde vb.) karşılayabilirken, dizel motorlar kabul edilen ömürleri ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında bunu başaramazlar.
- Bunun dışında yüksek rakımlardan geçen hatlarda elektrikli motorlarda güç kaybı olmazken, dizel motorlarda motora giren hava azaldığından, güç kaybı olur.
- Uzun tünellerde hava girişi kısıtlı olduğu için elektrikli çekim kullanılması zorunlu hale gelir.
- Son olarak, elektrikli motorlar çok az hava kirliliğine neden olur ve bakımı dizele göre çok daha basit ve kolaydır. Fakat dizel lokomotifler yine de otomobillere göre havayı daha az kirletmektedir.

#### **4. Sonuç**

Bu alışma ile çekim türlerinin çalışma prensipleri anlaştırmaya alışırmıştır. Türler arasındaki farklılıklar ve bu farklılıkla bağlı avantajlar ve dezavantajlar belirtirmiştir. ekim türlerine bağlı olarak g ve çekim kuvveti hesapları ile bu hesaplara bağlı verimlerden bahsedilmiştir. Sonuç olarak demiryolu ulaşımında önemli bir yeri olan dizel çekim türünün yerini gelişen teknoloji, çevreye olan duyarlılık ve en önemlisi enerji verimliliği nedeniyle yerini elektrikli çekim türüne bırakmaya başlamıştır.

#### **5. Kaynakça**

- [1] Evren Güngör, Dündar Selim, "Demiryolu" Birsen Yayınları 2016
- [2] Arlı Veysel, "Demiryolu Mühendisliği" Birsen Yayınları 2015.
- [3] Akbayır mr, "Demiryolu Araçlarında Enerji Verimliliği ve Tasarrufu" 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'16), 13-15 Ekim 2016, Karabük, Türkiye



# BASINÇLI HAVALI FRENLEME SİSTEMİ VE FREN HESAPLARI

Yalgın Kahraman<sup>1\*</sup> Yunus Can Keles and Sümeyye Ucar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Raylı Sistemler Derneği, Ankara, Türkiye, [yalginkahraman@rsd.org.tr](mailto:yalginkahraman@rsd.org.tr)

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Derneği, İstanbul, Türkiye, [yunuscankeles@rsd.org.tr](mailto:yunuscankeles@rsd.org.tr)

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Derneği, Malatya, Türkiye, [sumeyyeucar@rsd.org.tr](mailto:sumeyyeucar@rsd.org.tr)

## Özet

Demiryolu araçlarının emniyetli bir şekilde hızını azaltmak, kesmek veya rampa inişlerinde hız seyrinin korunması amacıyla yapılan frenleme işleminin formüle edilerek hesaplanması, etki eden kuvvetlerin belirlenmesi, ve demiryollarında en çok kullanılan basınçlı havalı frenleme sisteminin çalışma prensibinden bahsedilmiştir. Sabo baskı kuvveti ve frenleme kuvveti ile ilgili bilgiler düzenlenmiştir. Kızaklama olayı ve frenleme enerjisi hesapları formüller ile anlatılmıştır. Son olarak frenleme yolu ve frenleme süresi konusunda bahsedilerek literatürdeki bilgiler toplanmış ve sadeleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu Araçları, Fren Sistemleri, Fren Hesapları

## Abstract

Braking process is calculated by formulating in the purpose of reducing the speed of the railway vehicles safely, to cut or to maintain the operating speed at the descent of the ramp. It is important to determine the acting forces on braking systems and the work principle of the most used compressed air brake systems in railway industry is stated. The sources about the brake system and the brake shoe is issued. Sliding and braking energy calculations are explained by formulas. Lastly braking distance and period are mentioned and the information on the technic literature is collected and simplified to a basic version.

**Keywords:** Railway Vehicles, Brake Systems, Brake Calculations

## 1. Giriş

Hareket halindeki bir trenin işletmenin normal gereklerini yerine getirmek ve emniyeti sağlamak amacıyla durdurulması, yavaşlatılması veya rampa aşağı inişlerde rampaya uygun hızla seyrinin sağlanması amacıyla uygulanan hız koruma veya hız azaltma işlemine frenleme denir. Ağır tonajları ve ray teker arasındaki sürtünme kuvvetinin az olmasından dolayı raylı sistem araçlarının durma mesafesi çok uzundur. Bu yüzden bu araçların istenen sınırlar içinde kontrollü bir şekilde durdurulması çok önemlidir. Çekme işlemindeki negatif etki eden seyir dirençleri, kurp direnci ve rampa çıkışındaki rampa direnci frenleme işleminde pozitif bir faktör olarak kendilerini gösterir. Rampa aşağı inişler ise frenleme işleminin negatif yönde etki etmektedir. Frenleme işlemlerinde, pnömatik veya dinamik (hidrolik veya elektrikli) frenleme sistemleri ile trenin gidiş yönüne göre ters bir kuvvet uygulanır. Pnömatik ve dinamik fren sistemlerine ek olarak manyetik frenlerde kullanılmaktadır.

Tekerlek bandajları üzerinde çarklar yardımıyla sürtünme meydana getirilerek yapılan frenlemeye "çarıklı frenleme" denilmektedir. Çarıklı frenlemede, frenleme sonucunda ortaya çıkan enerji, sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevrilmektedir. Bu da aşınmaya ve mekanik enerjinin kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle bu enerjinin sürtünmesiz yok edilebilmesinin çareleri araştırılmış ve bulunmuştur. Örneğin elektrikli çekim sistemlerinde regeneratif frenleme sisteminin (geri besleme) olması halinde atıl enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve kataner hatta geri verilmesi veya araç içerisinde kullanılması ile hem enerji geri kazanımını sağlayacak hem de fren pabuçlarının daha az kullanılmasından dolayı fren

pabuçlarının ömrünü uzatacaktır. Ancak burada, en yaygın biçimde kullanılmakta olan "çarıklı frenleme" üzerinde durulacaktır.

Fren etkisinin uygulanması bakımından dört çeşit çarıklı fren bulunmaktadır.

- El frenleri: Burada frenli vagonların her birinde ayrı ayrı frenler bulunmaktadır. Bütün vagonlarda aynı anda ve aynı şiddette fren uygulanamayacağı için özellikle uzun trenlerde gerekli güvenlik sağlanamaz.
- Sürekli frenler: Makinistin komutasıyla bütün vagonların frenlenebilmesi için olanakını sağlayan bir fren türüdür. Sürekli frenler, direkt frenler ve otomatik frenler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Direkt frenler, lokomotifteki makinist tarafından komuta edilerek, trenin tümünün frenlenmesini sağlar. Otomatik frenler, direkt frenlerdeki olanağa sahip olmakla birlikte, trenlerin bir kopma sonucunda ikiye ayrılması halinde, bölünen her iki kısmı kendi kendine frenleyebilirler. Direkt frenlerde fren tutma bir dış etki aracılığıyla sağlanır. Otomatik frenlerde ise frenleme dış etkisinin kaldırılması, fren çözme dış etkisi sayesinde olur. Böylece, trendeki kopmanın dış etkiyi kaldırması sağlanacak, frenleme yapılır.
- Seri etkili frenler: Lokomotiften trenin arkasına doğru fren etkisinin çabuk geçişini sağlayan frenlerdir.
- Ayarlanabilir frenler: Tekerlek bandajlama uygulanan basıncın ayarlanabilmesi olanağını veren frenlerdir. Yalnız frenlemede ya da hem frenlemede hem de fren çözmede ayarlama sağlayabilen frenler vardır.

Frenleme etkisinin yaratılması biçimi bakımından:

1. Basıncılı havalı
2. Hava boşaltmalı frenler olmak üzere iki tür fren vardır.

Dinamik frenleme sistemlerinde frenleme için gerekli olan enerji tren sisteminin atıl olan kinetik enerjiden temin edilebilir. Bu atıl enerjinin yarattığı güç ve bu gücün yarattığı kuvvet tekerleğin dönüş istikametine ters yönde uygulanarak frenleme kuvveti oluşturabilir. Örneğin elektrikli çekim sistemlerinde regeneratif sistemin (geri besleme) olması halinde atıl enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve kataner hatta geri verilmesi veya araç içerisinde kullanılması ile hem enerji geri kazanımı hem de fren pabuçlarının daha az kullanılması fren pabuçlarının ömrünü uzatacaktır. .

## 2. Basıncılı Havalı Frenleme Sistemi

Basıncılı Havalı Frenleme Sistemi; lokomotifteki bir kompresörde üretilen ve ana depo denilen depoya basılan basıncılı havanın, treni boydan boya kat eden bir boru aracılığıyla fren silindirlere iletimi ile sağlanır. Vagonların arasında bulunan kondivit hortumu ile vagonlar arasında hava bağlantısı sağlanabilmektedir. Normal koşullarda, yani fren uygulanmadığında yardımcı depo, ana depodan gelen ve üçlü valf sayesinde içine giren basıncılı hava ile doludur. Fakat yine üçlü valf sayesinde fren silindiri, yardımcı depo ile bağlantısız olup, açık hava ile temasta bulunmaktadır. Fren uygulanacağı zaman lokomotifteki komuta musluğu yardımıyla, ana borudaki basıncılı hava boşaltılır. Ana boruda havanın boşalması ile üçlü valfin aldığı yeni durum yüzünden fren silindirinin yardımcı depo ile bağlantısı sağlanır ve açık hava ile teması kesilir. Böylece, yardımcı depodaki hava genişleyerek silindir pistonunu iter. Piston koluna geçen basınç kuvveti, manivelalı fren çubuklarından oluşan mekanik bir düzen aracılığıyla sabolara geçer ve tekerlek bandajlama kuvveti uygulanmış olur. Böylece bir frenleme ile donatılmış bir trenin vagonlarının birbirinden ayrılması sonucunda ana borudaki basıncılı hava boşalacak ve bölünen kısımları otomatik olarak frenlemiş olacaktır. Yani basıncılı havalı bir fren, aynı zamanda otomatik bir frenlerdir.

### 3.Kuvvetler

#### 3.1. Sabo Baskı Kuvveti

Sabo baskı kuvveti, saboların tekerleğe bastığı kuvvettir. Bu kuvvet fren silindirlirine uygulanan basınçlı havanın yarattığı kuvvetin bir takım kollar, yataklar ve tijlerle iletilmesiyle elde edilir.

Saboya gelen kuvvet

$$P_s = Ki\eta$$

Formülüyle hesaplanır. Bu formülde  $K$ , fren silindirinde oluşan kuvvet  $i$ , kuvvet iletim oranı  $\eta$ , İletim verimi  $\approx 0,90-0,98$  arasında alınır.

Silindir içine giren havanın basıncı  $p$  ( $kp/cm^2$ ) ve silindir çapı  $d$  ise,

$$K = \frac{\pi d^2}{4} p \text{ (kp)}$$

formülü ile fren silindirinde oluşan kuvvet bulunur.

#### 3.2. Frenleme Oranı

Bir araçta, sabo baskı kuvvetinin, araç ağırlığına oranına frenleme oranı (fren emsali, fren yüzdesi) denir. Buna göre frenleme oranı:

$$\phi = \frac{Ki\eta}{G} \times 100$$

Olarak hesaplanır. Bir tren sisteminde sistemi oluşturan vagonların toplam sabo baskı kuvveti ve toplam yük

$$\phi = \frac{\Sigma P_s}{\Sigma G} \times 100$$

Olarak hesaplanır. Burada  $\Sigma P_s$  fren ağırlığı adı verilir ve birimi tondur.

Fren kuvveti, istenildiği ölçüde büyütülemez. Çünkü ağırlığı  $G_1$  kN olan bir vagon için uygulanan fren kuvveti  $P_s \times \mu_{st}$  nin, vagonun yuvarlanma hareketi yapmasını sağlayan  $\mu \times G_1$  kuvvetinden büyük olması halinde, tekerlekler yuvarlanamayarak kazıklanır ve ray üzerinde kayar bu demiryollarında istenmeyen ve dikkat edilmesi gereken bir durumdur.

$$\mu \times G_1 > P_s \times \mu_{st}$$

$$\frac{P_s}{G_1} = \frac{\mu}{\mu_{st}}$$

aderans katsayısının ( $\mu$ ) sabo tekerlek arası sürtünme katsayısına ( $\mu_{st}$ )

Frenlenen bir trende yüksek hızlarda sabo baskı kuvveti sabit tutulduğunda sabo tekerlek arası sürtünme katsayısı küçük olacağından frenleme kuvvetinde küçülecektir. Frenleme kuvvetin başlangıçtaki değerde tutabilmek için fren baskı kuvvetini arttırmamız gerekir. Bu bakımdan, yüksek hızlı trenlerde hız belirli bir seviyeye geldikten sonra fren baskı kuvveti arttırılmakta, belirli bir hıza düşüldüğünde, sürtünme katsayısı arttığından dolayı fren baskı kuvveti düşürülmektedir. Bu duruma kademeli frenleme denir. Bu frenleme ile demiryolu aracının kızaklaması önlenmiş olur.

### 3.3. Fren Kuvveti

M kütlesindeki bir tren sisteminin; hızının düşürülmesi veya durdurulması işlemi için uygulanması gereken frenleme

$$-F_{fk} = M \times (1 + k) \times \frac{dv}{dt}$$

dir. Ancak bu frenleme kuvvetine destek veren kuvvetler ki bunlar seyir dirençleri kurp direnci ve rampa direnci olup bu dirençlerin toplam değeri gerekli fren kuvvetinden çıkarıldığında geriye kalan değer bize tekerleklerle uygulanması gereken frenleme kuvvetini verecektir. Yapılan deneyler ve sadeleştirmeler sonucunda mutlak değer olarak tekerleklerdeki frenleme kuvveti

$$F_{fk} = \left(\frac{1000}{9.81} \times (1 + k) \times a - (r_{s(ort)} + r_k \mp r_r)\right) \times G \text{ (kp)}$$

formülü ile bulunur.

$k$  kütle faktörü,  $a$  ivme  $r_{s(ort)}$  ortalama seyir direnci,  $r_k$  kurp direnci,  $r_r$  rampa direnci,  $G$  tren toplam ağırlığı (ton) (Dirençler İle İlgili Detaylı Bilgiyi Demiryolu Araçları Üzerinde Oluşan Dirençler Ve Motor Gücü Hesabı, Yalçın KAHRAMAN, Sumeyye UCAR, Kemal Faruk DOĞAN, (2016). 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'16) ISBN:978-605-9554-00-8 Kaynağından Bulabilirsiniz.)

### 3.4. Frenlemede Harcanan Enerji

Bir tren sisteminin frenlemede harcanan enerji, fren saboları ile tekerlek bandajı arasında sürtünmeden dolayı ısı olarak ortaya açığa çıkar ve atık bir enerjidir.

Bu enerjinin hesaplanması için yapılan deneyler ve sadeleştirmeler sonucunda

$$W = \left(\frac{1}{2} \times \frac{1000}{9.81} \times (V_2^2 - V_1^2) \times (1 + k) - (r_{s(ort)} + r_k \mp r_r)\right) \times G \text{ (kpm)}$$

Yukarıdaki formül ile hesaplanır.

1 kpm = 9.806649999698 joule

### 3.5. Fren Yolunun Hesabı

Hareket halindeki bir tren sisteminin belirli bir  $V_2$  hızından yine belirli bir  $V_1$  hızına düşürülmesi veya durdurulmasında katedilen mesafeye tren yolu adı verilebilir.

Frenleme işlemi bilindiği gibi; tren sisteminin hareket halinde iken sahip olduğu kinetik enerjisini düşürmek veya tamamen yok etme işlemi olup. tamamen yok edilmesi işlemi sistemin tamamen durdurulması işlemidir.

Fren yolunun hesabı

$$S = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{1000}{9.81} \times (V_2^2 - V_1^2) \times (1 + k)}{\phi \mu_{st} + (r_{s(ort)} + r_k \mp r_r)} \text{ (m)}$$

formülü ile bulunur.

Bu formülde  $\mu_{st}$  sabo ile tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı olup fren sistemine ve hıza bağlıdır. Bu katsayı, çift sabo, tek sabo, blok fren. disk fren sistemlerinde değişik değerlerdedirler. Fren yolunun. hesaplanmasında; frene başlama işlemi ile fren intikali arasında belirli bir yol daha kat edilir.

Bu yüzden tren sisteminin frene geçildiği andaki hızı  $V_2$ , hızındaki intikal mesafesi fren yoluna eklenmelidir.

$$S_i = \frac{V_2}{3,6} X t$$

$t$ :yaklaşık 3-5 saniye alınmalıdır.

### 3.6. Frenleme Süresi

Bir tren sisteminin frenleme nedeniyle durdurulmasında, frenleme kuvvetinin etkisiyle negatif bir ivme meydana geldiği bilinmektedir. Bu negatif ivme nedeniyle tren sistemi duruncaya kadar düzgün bir şekilde yavaşlayan bir hareket yapar. Başlangıç olarak fren etkisini gösterdiği an dikkate alınırsa frenleme süresi;

$$t = \frac{7,20 \times S}{V} + t_i$$

İntikal süresi  $t_i \approx 3 - 5 \text{ sn}$

## 4. Sonuç

Sonuç olarak bir demiryolu aracının güvenli durabilmesi veya hızını düşürmesi için gerekli fren hesapları ile ilgili formüller sunulmuştur. Aynı zamanda güvenli durmayı gerçekleştirmek üzere gerekli fren gücünün kızaklama yapmasına engel olması gerektiği vurgulanmıştır. Gerekli enerji hesabı için formüller verilmiş frenleme süresi ve güvenli frenleme yolu için gerekli bilgiler sunulmuştur.

## 5. Kaynakça

- [1] Urlu Ceylan, "Demiryolu Araçları İleri Dinamiği" TCDD Yayınları
- [2] Evren Güngör, Dünder Selim, "Demiryolu" Birsen Yayınları 2016
- [3] TCDD Fren Eğitim Notları
- [4] Megep, "Fren Dinamiği Ve Seyir Süresi Hesabı" Megep Yayınları 2013

# EĞİM ÇIKABİLEN %100 ALÇAK TABANLI TRAMVAY ARACI KONSEPT TASARIMI

Yalgın Kahraman<sup>1\*</sup> Yunus Can Keles<sup>2</sup> and Hakkı Kanyılmaz<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Raylı Sistemler Derneği, Ankara, Türkiye, [yalginkahraman@rsd.org.tr](mailto:yalginkahraman@rsd.org.tr)

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Derneği, İstanbul, Türkiye, [yunuscankeles@rsd.org.tr](mailto:yunuscankeles@rsd.org.tr)

<sup>3</sup> Raylı Sistemler Derneği, İstanbul, Türkiye, [hakkikanyilmaz@rsd.org.tr](mailto:hakkikanyilmaz@rsd.org.tr)

## Özet

Raylı sistemler, günümüzde en çok tercih edilen ulaşım ve taşımacılık sistemidir. Gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün daha yenilikçi sistemler ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra artan nüfusla birlikte, ulaşım sistemlerinde alternatif çözümler aranmaktadır. Kent içi ulaşım sistemlerinde yolcu kapasitesi, işletme hızı, işletme zamanı, işletme ömrü, enerji maliyeti ve emisyon faktörleri göz önüne alındığında raylı ulaşım sistemleri büyük avantajlar sağlamaktadır. Fakat her şehrin altyapısı ve geometrik yapısı, raylı ulaşım sistemlerinin kurulmasına müsaade etmemektedir. Çarpık kentleşmenin yanı sıra, yüksek eğimli rampaların olması, raylı sistemler araçları için büyük sorun teşkil etmektedir. Ray-teker arasındaki etkileşimin düşük olması, yüksek tonajlı yüklerin düşük kuvvetlerle taşınmasını sağlamaktadır. Fakat düşük ray-teker etkileşimleri hızlanma, frenleme ve eğim çıkma esnasında karşımıza dezavantaj olarak çıkmaktadır. Hızlanma ve frenleme esnasında ray-teker arasındaki aderans kuvvetini artırmak için kullanılan kumlama sistemi eğim çıkma esnasında yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliği gidermek için kablolu, fönüküler ve dişli olmak üzere üç farklı ilave tahrik yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada dişli-kremayer sistemiyle %25'e kadar eğim çıkabilen, %100 alçak tabanlı bir tramvay aracının konsept tasarımı yapılmıştır. Raylı ulaşım sistemine göre değişmekte olup en yüksek eğim değeri %8'dir. Örnek uygulama alanının uzunluğu 1680 metre, maksimum eğimi %16 ve 7 istasyondan oluşmaktadır. Kremayer dişlinin, demiryolu güzergahı boyunca konumunun ve dişlinin boji üzerine nasıl yerleştirileceğinin tasarımı yapılmıştır. Alçak tabanlı tramvayın, tam kapasite ve ilave tahrik sistemiyle birlikte ne kadar enerji harcadığının hesaplamaları yapılmıştır. Cer gücünde, daha çevreci olduğu için elektrikli tahrik sistemi tercih edilmiştir. Dişli ve tekerlek arasındaki güç aktarımı redüktörle sağlanmıştır. Bu çalışmayla, yüksek eğimli bölgelerde, raylı sistemler işletmeciliğinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Dişli-kremayer sistemli, %100 alçak tabanlı tramvay aracının dünya üzerinde örneği bulunmamaktadır. Bu nedenle, verimli bir işletmecilik açısından, daha ulaşılabilir ve düşük enerjiyle işletme imkanı sağlamak için %100 alçak tabanlı, dişli ilave tahrik sistemli tramvay aracının konsept tasarımı yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Dişli-Kremayer Demiryolu, Tramvay , Eğim,

## Abstract

Rail systems are today's most preferred transportation and transport systems. Technologies are rapidly emerging every day with more innovative systems. Besides, alternative solutions are searched in transportation systems with increasing population. Railway transport systems offer great advantages when considering urban passenger capacity, speed of operation, operating time, operating life, energy cost and emission factors in urban transportation systems. However, the infrastructure and geometric structure of each city does not allow the establishment of rail transport systems. In addition to the conurbation, the presence of high-slope ramps is a big problem for vehicles of rail system. The low rail-to-wheel interaction ensures that high tonnage loads are transported with low forces. But, low track-to-wheel interactions are a disadvantage during acceleration, braking and slope climb. The use of the rail-wheel during acceleration and braking is not sufficient during sanding system to increase the adherence strength. To overcome this inefficiency, three additional drive methods are used: cable, funicular and gear. In this work, a conceptual design of a 100% low-floor tram vehicle is made, which can be inclined up to 25% with a gear-rack system. Rail transport system varies according to the highest slope value is 8%. The example application area has a length of 1680 meters, a maximum slope of 16% and 7 stations. The design of the rack-and-pinion gear, the position along the railway track and how the gear is to be placed on the bogie. The calculation of how much energy you have consumed together with the low capacity tram, full capacity and additional drive system has been made. The electric drive system is

preferred because it is more environmentally friendly. The power transmission between the gear and the wheel will be provided by the reducer. To provide a more accessible and low-en

ergy operation possibility, a concept tramway vehicle with 100% low-profile, gear-assisted drive system was designed. With this work, it is aimed to be able to operate railed systems in high slope areas. There is no worldwide example of a 100% low-bottom tram vehicle with gear-rack system. For this reason, the concept design of a tram vehicle with a 100% low-profile, gear-driven propulsion system has been designed to provide more accessible and low-energy operation possibilities in terms of efficient operation.

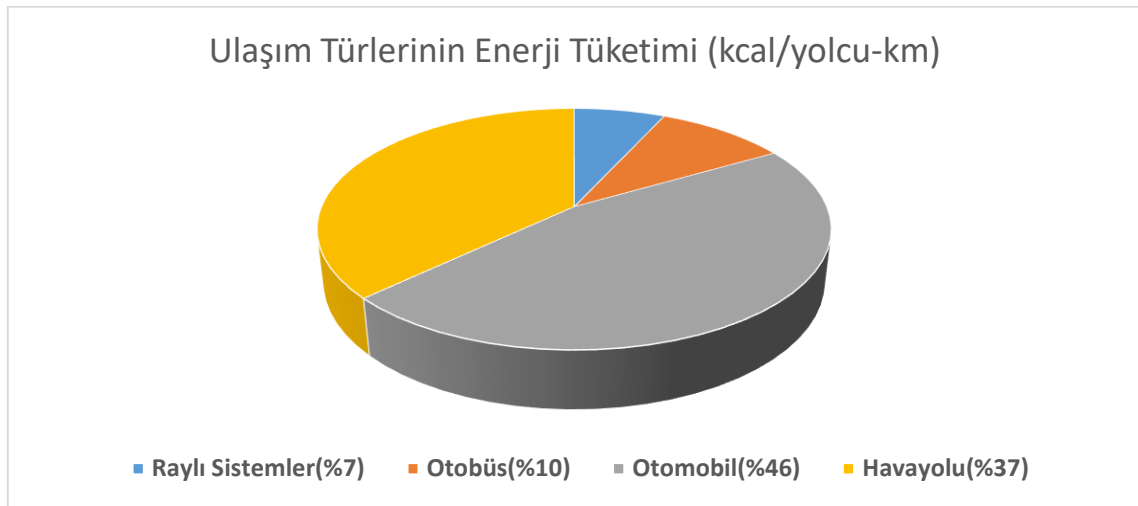
**Keywords:** Gear-rack railway, Tramway, Slope

## 1.GİRİŞ

Raylı sistemler teknolojisi günümüzün vazgeçilmez ulaşım sistemleridir. Tokyo Metrosu günde yaklaşık 9 milyon, New York Metrosu 5,5 Milyon, Chicago Metrosu yaklaşık 4 milyon yolcu taşımaktadır. Nüfus ve yapılaşmanın artması, gelecekte bu tercihin değişmeme sebeplerinden birkaçıdır. Emniyetli, ekonomik ve hızlı ulaşım sistemi olması, tercih edilmesindeki en temel etkidir. Sadece yolcular için değil, işletmeci açısından da bu kriterler geçerlidir.

Raylı sistemlerin bir başka avantajı çok daha az çevre kirliliğinin olmasıdır. Elektrikli trenler tamamen çevre dostudur. Bir karayolu aracı, dizel trene göre 15 kat daha fazla kirlilik oluşturmaktadır. AB ülkelerinde raylı sistemlerin geliştirilmesinde çevre faktörü de önem kazanmaktadır.

Dünyadaki ulaşım modları için en önemli faktörlerden bir tanesi enerjidir. Şekil 1.'de ulaşım modlarının enerji tüketimi yüzde olarak verilmiştir. Enerji tüketimi doğrudan ekonomiyi etkiler. Enerji tüketiminin en az olduğu ulaşım modu Şekil 1.'de verilmiştir. Bu verilere bakıldığında, raylı sistemler ekonomik bir işletme modelidir.



**Şekil 1.** Ulaşım Türlerinde Enerji Tüketim Karşılaştırması

Dünya genelinde insanlar ulaşımın güvenliğine daha duyarlı olmaya başlamıştır. İşletmelerde Emniyet Yönetim Birimleri kurulmuştur. Yolcuların can güvenliği kadar aracın, demiryolu hattının, çevrenin güvenliği de önem arz etmektedir.

Gelişen teknolojiyle birlikte, raylı ulaşım sistemlerinde birçok alternatif çözüm yolları türetilmeye çalışılmıştır. Gelişmeler sadece mühendislik ve teknolojik alanda değil, sistemsel olarak da iyi sonuçlar elde edilmiştir. İşletme faktörleri, ulaşım modları ve entegrasyonu, yeni ulaşım modlarının çözümleri gibi sistemlerin gelişimi de söz konusu olmuştur. Araç ve istasyon bakımlarının daha sistemli ve hızlı çözüme

kavuşması, yine bu gelişmeler sonucunda ortaya çıkmıştır. En önemlisi, sistemli kurulan raylı sistemler ağlarının kolayca birbirine entegre olabilmesidir. Bu durum, sürekli olarak iyileştirme ve geliştirme noktasında avantajlar sağlamaktadır.

### 1.1. Kent İçi Raylı Ulaşım ve İlave Tahrik Yöntemleri

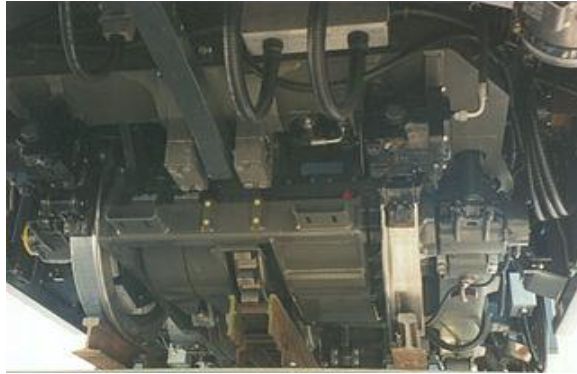
Kent içi ulaşım modları tercih edilirken kurulacağı bölgenin yeryüzü şekilleri oldukça önemlidir. Özellikle yüksek eğim diğer kent içi ulaşım modları için çok önemli olmamakla birlikte, raylı sistem araçlarının en büyük sorunudur. Bazı ülkelerde %15'e kadar işletme gerçekleştirilmiş olsa da, ciddi teknik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Yüksek eğimli yolları çıkma esnasında aderansı artırmak için kullanılan kumlama sistemi yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizliğin çözümü için geliştirilen kablolu, füniküler ve dişli olmak üzere üç ilave tahrik yöntemi bulunmaktadır.

#### 1.1.1 Dişli Raylı Sistemler

Dişli demiryolları ile yüksek eğimli yollarda hareket kabiliyeti sağlanabilmektedir. Tahrikin olduğu her aksta(Resim 2 bkz.), demiryolunun ortasına doğrusal bir şekilde konumlandırılmış kremayer dişliye geçen, dişli çark bulunur. Resim 1'de gösterildiği gibi kremayer dişli takımı hat boyunca değil eğim başlangıcının öncesinden itibariyle yerleştirilir. Ayrıca dişli sistemin tasarım ve hesaplamaları yapılırken, karp yarıçapları ve eğim göz önünde bulundurulmalıdır. Washington Dağı Demiryolu %37 eğim, Brezilya Corcovado Hattı %30 eğim, İsviçre'nin Pilatusbahn Hattı %48 eğime kadar çıkmaktadır.[2] Elektrikli dişli demiryolları aynı zamanda şehir içi ve banliyö toplu ulaşımında da kullanılır. Avrupa'da Stuttgart'ın 2200m uzunluğundaki hattı, %17,8 eğime sahiptir.



Resim 1. Kremayer dişli takımı.[4]



Resim 2. Dişli çarkın boji üzerinde gösterimi.[4]

#### 1.1.2. Füniküler Raylı Sistemler

Füniküler, aynı kalın kesitli kablunun iki ayrı ucuna sabitlenmiş, bir çift raylı taşıttan oluşan bir ring hattıdır. Eşzamanlı hareket sağlanır. Biri, diğeri aşağı inerken yerçekimi kuvvetinden faydalanarak yukarı çıkar. Hattın üstünde bulunan motorla güç sağlanır. Dişli sistemdeki gibi, kablo rayların ortasında bulunur. Eğim %10 ile %100 arasında değişebilmektedir. Yalnız orta derece kurplar (2000m) kullanılır. İsviçre-Davos Parsenn Hattı iki kısımdan oluşur: biri 1893 m diğeri 2226 m uzunluğundadır ve 622m diğeri 449m olmak üzere düşey kot farkları vardır. Kapasite olarak yeterli olan bu sistem, belli bir mesafe arasında işletilebilmektedir. İki araç, makara sistemi düzeneğiyle kurulmuş bir halat ile birbirine bağlıdır. Resim 3'de görüldüğü gibi, araçlar eş zamanlı olarak zıt yönlü hareket sağlarlar. Eş zamanlı zıt yönlü hareket, yer çekimi kuvvetini kullanmak açısından önem taşımaktadır. Eğimli rampalarda hareket kabiliyeti yer çekimi kuvvetinin etkisiyle sağlanmaktadır. İşletme hızı düşüktür. Hat uzunluğu genel itibariyle 1.5-3.5 km aralığında olduğu için işletme hızının düşüklüğü çok önemli değildir. Pittsburgh (Pennsylvania) hattı 9.7 km/s(6 mph) işletme hızına sahiptir. [3]





**Resim 3. F2 Karaköy-Beyoğlu Füniküler Hattı[5]**

### 1.1.3.Kablolu Tramvay

1873 yılında icat edilip Amerika, Avustralya gibi ülkelerde hızla yayılmıştır. Fakat şehir içi elektrikli hafif raylı taşıtların icadı ile etkisini kaybetmiştir. Resim 4'de San Francisco kablolu tramvayı görülmektedir. Eğim %21'e kadar çıkmaktadır. 15 km/s sabit hızla işletilmektedir. Hat uzunluğu ve hat boyunca toplam eğim değerleri Tablo 1.'de verilmiştir. Gelişen teknoloji ile kablolu tramvay yerini elektrikli hafif raylı taşıtlara(HRS) bırakmıştır.



**Resim 4. San Francisco kablolu tramvay[2]**

Kablolu tramvaylar füniküler sistem gibi kısa mesafelere kurulur. Bunun temel sebebi rayların ortasından giden bir kablo ile hareketin sağlanmasıdır. Üç hat için merkezi santral binasında bulunan elektrik motorları ile hareket sağlanır. Düşük işletme hızına(15 km/s) sahipken, hat mesafesinin uzaması bu hızda daha fazla düşüşe sebep olabilmektedir. Ayrıca kullanılan kablonun mukavemet yapısı açısından hat uzunluğu kısa tutulmaktadır.

**Tablo 1. San Francisco'daki Kablolu Tramvayların hat özellikleri[2]**

Hat	Tek Yön Uzunluğu(km)	Azami Eğim(%)
Powell ve Mason	2.6	17.5
Powell ve Hyde	3.4	21.3
California	2.4	17.5

#### 1.1.4. İlave Çekişli Raylı Ulaşım Modların Karşılaştırılması

Bu üç farklı ulaşım modu sadece teknolojileri açısından değil, işletme ve sefer yetkinliği açısından da kendi içinde farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar Tablo 2.'de verilmiştir. İlave çekişli tahrik yöntemleri her bölgeye kurulabilecek sistemler değildir. Bu yöntemlerin en temel amacı yüksek eğimli bölgelerde hareket kabiliyetini artırmak ve güvenli bir işletmecilik sağlamaktadır. Kablolu ve fönüküler sistemler ile sadece yolcu işletmeciliği yapılırken, dişli demiryolları ile yük işletmeciliği de yapılabilmektedir.

**Tablo 2. İlave Tahrik Modlarının Karşılaştırılması [2]**

Dişli Demiryolları	Kablolu Tramvay	Fönüküler Raylı Sistem
Elektrikli, Dizel Elektrikli	Elektrikli	Elektrikli
Tahrik araçların üzerindeki elektrikli motorlardan sağlanır	Sabit elektrik motorlarla, kablo aracılığıyla sevk edilir	Sabit elektrikli motor iki araç veya trene bağlı kabloyu sevk eder
Bağımsız, kendinden itişli	Bağımsız araçlar çekme ve frenleme için kabloyu kavrar veya bırakır	Motorsuz araçlar, tamamen kabloya bağımlı
Hat uzunluğu limitsiz	Hat uzunluğu limitsiz, ağ mümkün	2 araç için tek hat; uzunluk <2 km
Herhangi bir noktada istasyon konulabilir	Herhangi bir noktada istasyon konulabilir	İki veya daha fazla, ancak ilk ve son duraklara göre simetrik

Kablolu tramvaylar işletme hızı ve tahrik yöntemi bakımından tercih edilmemektedir. Tercih edilmemesinin asıl sebebi elektrikli hafif raylı taşıtların geliştirilmesidir. Elektrik motorlarından elde edilen güç, redüktör yardımıyla harekete çevrilmektedir. Bu durum hareket kabiliyetini artırmakta ve verimi yükseltmektedir. Kablolu ve fönüküler sistemde elde edilen güç, kablolu sistem ile harekete aktarıldığı

için bir güç kaybı oluşmaktadır. Bu sebeple, günümüzde kent içi raylı ulaşımda elektrikli hafif raylı taşıtlar tercih edilmektedir. Elektrikli hafif raylı taşıtlara, ilave tahrik yöntemi olan dişli-kremayer sistemi entegre edilebilmektedir. Bu sistem, engebeli topografyaya sahip başka şehirlerde inşa edilebilme imkanı sağlar.

## 2.MASS BUGDET (YÜK ANALİZİ)

Raylı sistemler araç tasarımı gereği ilk yapılması gerekenlerden biri aracın toplam ağırlığının (full ekipmanlı) ve standartlar çerçevesinde yolcu ile beraber ağırlığının tahmini olarak hesaplanmakta ve o sınırların içinde kalınması gerekmektedir. Oluşturulan mass budget dokümanı ile aracın toplam ağırlık bilgisi, aks yükleri belirlenir. Bu doküman aracın gövde yapısı tasarımı, aks tasarımı, boji şasesi tasarımı, cer ve fren hesaplamaları, enerji sarfiyatı hesaplamalarına etki eder.Standartlar gereği AW0 (aracın boş ağırlığı), AW1 (araç ağırlığı ve tam kapasiteli oturan yolcu ağırlığı), AW2(araç ağırlığı ve tam kapasiteli oturan yolcu ağırlığı ve 1 m<sup>2</sup>'de 80 kg ağırlığında 4 yolcu ağırlığı)AW3 (araç ağırlığı ve tam kapasiteli oturan yolcu ağırlığı ve 1 m<sup>2</sup>'de 80 kg ağırlığında 8 yolcu ağırlığı) kodları ile aracın toplam ağırlığı ve aks basına düşen basınçlar hesaplanır .



**Tablo 3.** Maksimum Ağırlık Tablosu

	Modül 1	Modül 2	Modül 3	Toplam Ağırlık
AW0	11785	3725	11785	42595
AW1	13255	4425	13255	46235
AW2	18715	5545	18715	58275
AW3	21445	6105	21445	64295

**Tablo 4.** Aks Yüğü Tablosu

	Aks 1	Aks 2	Aks 3	Aks 4	Aks 5	Aks 6
AW0	9096	6497	6445	6425	6437	8888

AW1	9647	6916	6825	7314	6409	9699
AW2	10460	9543	9181	9753	9177	10536
AW3	11800	10763	10395	10884	10556	11852

### 3. RAYLI SİSTEM ARAÇLARI DİNAMİK HESABI

Sabit bir “V” Hızıyla hareket eden veya hızı değişen bir tren sistemine etki eden ters kuvvetlere direnç denir Demiryollarında dirençler hıza bağlı ve hıza bağlı olmayan dirençler olmak üzere 2 gruba ayrılır. Bu dirençler;

- Hıza bağlı olan seyir dirençleri
- Kurlardan kaynaklanan dirençler
- Rampa dirençleri ki çıkışta negatif etki ve inişte pozitif etki olarak kendini gösteren dirençler
- Dönen kütlelerin eylemsizlik dirençleri

Bu çalışmada 1434 mm’lik ray açıklığı olan standart hatlarda trenin düz eğimli yolda sabit hızda oluşan seyir direnci ve eğimli yoldaki rampa direnci üzerinde durulmuştur.

#### 3.1.Elektrikli Tren Seti Seyir Direnci

Seyir Direnci, hareket yönünden ayrı kurallara uymayan iki temel bileşenden oluşur. Bunlardan biri trenin hareketinden dolayı mekanik parçaların sürtünmelerinden oluşan dirençler ve diğeri ise hareket yönündeki hava rüzgar direncidir. Mekanik sürtünmeler tren setinin sürtünen malzemelerin fiziksel kimyasal ve metalografik özelliklerinden dolayı oluşan muylu dirençleridir. Muylu direncine ve hıza bağlı dirençler ek olarak araç kütlelerine bağlı olmayan ve araç seyri esnasında tren setinin ön yüzeyine dikey doğrultuda etki eden hava direnci kendini gösterir.

Lokomotif seyir direncini veren formüllerde; bu formüllere etki eden tüm faktörler yani muylu direnci, yuvarlanma direnci ve rüzgar direnci gibi faktörler dikkate alınarak verilmiştir.[6]

$$R_{ts} = 0,65. G_{ts} + 13. n + 0,01. G_{ts}. V + 0,031. (V + 15)^2 \text{ (kp)}$$

$R_{ts}$ : Tren sistemi seyir direnci

$G_{ts}$ : Tren setinin toplam ağırlığı (ton)

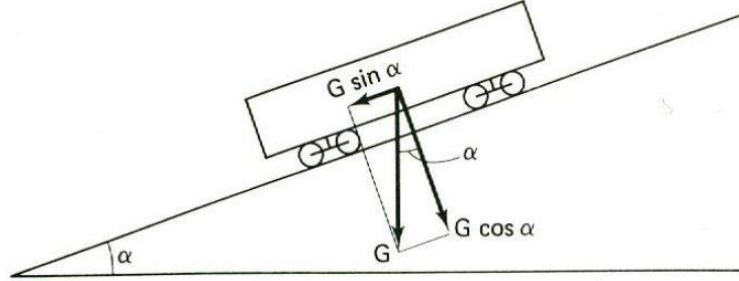
n: Tren setinde toplam dingil sayısı

V: Hız değişkeni (km/h)

#### 3.2.Rampa Direnci

Rampa direnci tren sistemlerinde güçlerini ve ağırlığını en fazla etkileyen olumsuz dirençtir. Çıkışta negatif olarak etki eden bu faktör, inişte pozitif bir etki yaratmaktadır. Frenleme işleminde ise bu faktörler ters etki etmektedir. Rampa direnci hıza bağlı olmayan yolun geometrik yapısından kaynaklanan bir dirençtir. Tren sisteminin rampalardaki seyri esnasında karşılaştıkları direnç rampa yüksekliği ile doğru orantılıdır. Temel fizik kurallarına göre bulunduğu yükseklikteki yerçekimi ivmesi nedeniyle oluşan düşey

kuvvetin sinüslü bileşeni doğrudan rampa direncini verir. Rampa direnci tren sistemlerinde güçlerini ve ağırlığını en fazla etkileyen olumsuz dirençtir. Çıkışta negatif olarak etki eden bu faktör, inişte pozitif bir etki yaratmaktadır. Frenleme işleminde ise bu faktörler ters etki etmektedir. Rampa direnci hıza bağlı olmayan yolun geometrik yapısından kaynaklanan bir dirençtir.[6]



$$R_r = G \cdot \sin \alpha = M \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$R_r$ : Rampa direnci

$M$ : Toplam ağırlık (ton)

$g$ : Yer çekimi ivmesi

### 3.3.Minimum Motor Gücü Hesabı

$$R = R_{tr} + R_r = F$$

Tren sistemlerinin hızdan kaynaklanan seyir direnci ve yolun geometrik yapısına bağlı olarak rampa direncini yenerek hareketini sürdürmesi için gerekli motor gücünün veya tekerlek gücünün oluşması gerekmektedir. Direnç kuvvetini  $R = F$  kabul edersek yenmesi gereken minimum teker gücü "P"ise;

$$P = \frac{F(kp) \cdot V(km/h)}{270} \text{ (BG)}$$

$$P = \frac{F(kp) \cdot V(km/h)}{367} \text{ (kW)}$$

Bu formüllerde yazılı olan "F" kuvveti bir tren sisteminde tahrikli tekerleklerin çemberlerine uygulanan kuvvetlerin toplamını "V", tren sisteminin hızını ve "P" tekerlek çemberinden "F" kuvvetini yaratan gücü gösterir. [6]

### 3.4. Örnek Bir Tramvay Hattının Cer Gücü Hesabı

Tablo 5 Model sistem güzergahı özellikleri[9]

1.Güzergah Şartları	
Güzergah Uzunluğu	3,5 km
Ortalama Hat Eğimi	%16
2.İşletme Şartları	
Ortalama Tren Hızı	40 km/h
Tren Aralığı	2 dk
Yolcu Yüğü	210 (yolcu/araç)
Araç Sayısı	6
Aracın Boş Ağırlığı	30 ton
Aracın Yüklü Ağırlığı	30+210x70x0,001=44.7 ton
Tren Setinin Yüklü Ağırlığı	6x44.7=268,84 ton

Tramvay aracının çekeceği güç:

$$N = [(W + s) \times G \times V] / 275$$

**N:** Trenin aldığı güç

**G:** Aracın toplam ağırlığı

**s:** Araç sayısı

**W:** Ampirik demiryolu toplam mukavemeti

**V:** Hız

$$W = 2.5 + 0.0005 \times V^2$$

$$N = [(2.5 \times 0.0005 \times V^2 + s) \times G \times V] / 275$$

N= 312, 83 kW, her bir araç için iç güç 85 kW alınırsa:

$$N_{\text{TOPLAM}} = 321.84 + (6 \times 85) = 822,83 \text{ kW}$$

$$\text{Parkur Süresi (gidiş, geliş)} = 2 \times S \times 60 / V = 2 \times 3.5 \times 60 / 40 = 10.5 \text{ dk}$$

$$\text{Tren Sayısı} = \text{Parkur Süresi} / \text{Tren Aralığı} = 10.5 / 2 = 5.25 \text{ tren}$$

Tüm hatlar için gereken enerji:

$$Q = \text{Tren sayısı} \times \text{Toplam Enerji} = 5.25 \times 822.83 = 4.31 \text{ MW}$$

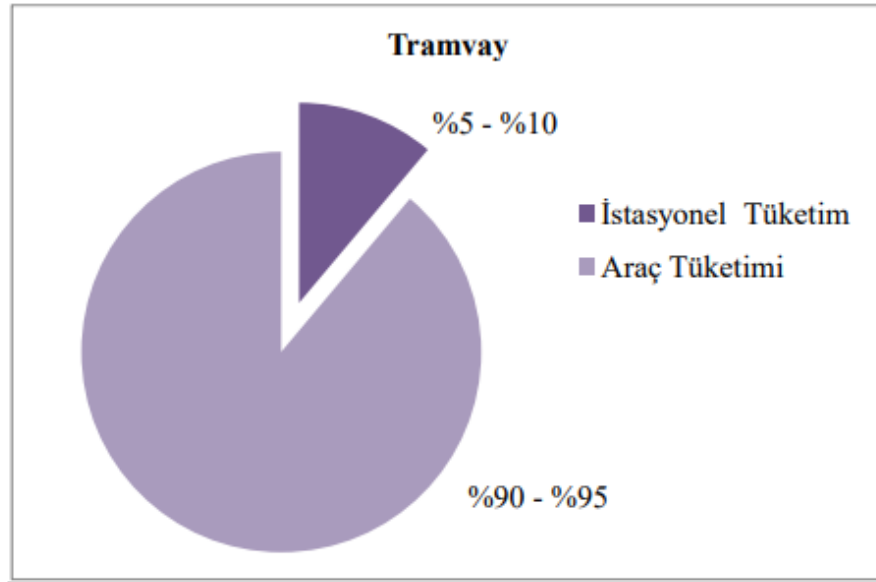
## 4. ENERJİ SARFIYATI VE FREN DİNAMIĞI HESABI

### 4.1. Enerji Sarfiyatı

Enerji tüketimi aşağıda bahsi geçen alanlarda ortaya çıkmaktadır:

- Trafolar, kompresörler, vb. (Yardımcı güç tüketimleri)
- İklimlendirme ve aydınlatma
- Sürüş Sistemleri (Motorlar, Dişliler, Güç Elektroniği, vb.)
- Fren Direnci, Sürtünme
- Rejeneratif Frenleme Kazanımı

Tramvayda istasyon yüklerinin araç tüketimine oranları dünya üzerindeki sistemlere göre farklılık göstermektedir. Şekil 1' de enerji tüketim dilimleri verilmiştir.



Şekil 1. Tramvaylarda enerji tüketimi ana paylaşımı[7]

### 4.2. Frenleme Denklemi

Frenleme kuvvetine seyir dirençleri, kurb direnci ve rampa direnci destek vermektedir. Mutlak değer olarak tekerleklerdeki frenleme kuvveti aşağıdaki formüle edilmesi ile bulunabilmektedir:

$$f_{fr} = \frac{1000}{9.81} \cdot (1 + k) \cdot a_f - (r_{s(ort)} + r_k \pm r_r) \text{ (kp/ton)}$$

$f_{fr}$ : Tekerleklerdeki frenleme kuvveti

$k$ : Sürtünme katsayısı

$a_f$ : Ortalama fren ivmesi

$r_{s(ort)}$ : Ortalama seyir direnci

$r_k$ : Kurb direnci

$r_r$ : Rampa direnci

### 4.3.Frenlemede Harcanan Enerji

Fren saboları ile tekerlek bandajı arasında sürtünmeden dolayı açığa ısı olarak çıkar. Bu enerjide kullanılmayan atık enerji de bulunmaktadır.

$$W = 3.93 (V_2^2 - V_1^2). (1 + k) - (r_{s(ort)} + r_k \pm r_r) \quad (\text{kpm/ton})$$

**W**: Frenleme için gerekli enerji

**V<sub>1</sub>**: Aracın ilk hızı

**V<sub>2</sub>**: Aracın son hızı

### 4.4.Fren Yolunun Hesaplanması

Hareketi devam eden treninin belirli bir **V<sub>2</sub>** hızından, **V<sub>1</sub>** hızına düşürülerek veya durdurularak katedilen mesafeye fren yolu denilebilir.

$$S = \frac{3.93 (V_2^2 - V_1^2). (1+k)}{\varphi \cdot \mu_{st} + (r_{s(ort)} + r_k \pm i)} \quad (\text{metre})$$

**S**: Fren yolu uzunluğu

**μ<sub>st</sub>**: Sabo ile tekerlek arasındaki sürtünme kuvveti

**i**: rampa direnci

**φ**: Trenin fren yüzdesi

### 4.5.Frenleme Gücü

Bir tren **G** ağırlığında olsun. Bu trenin frenleme gücü kW cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$P_{fr} = p_{fr} \cdot G = \frac{G \cdot 1000}{9.81} \cdot (1 + k) \cdot a_f \cdot \frac{V}{367} \quad (\text{kW})$$

**P<sub>fr</sub>**: Frenleme gücü

**k**: Sürtünme katsayısı

**a<sub>f</sub>**: Ortalama fren ivmesi

### 4.6.Frenleme Süresi

Frenleme yoluna ve hıza bağlı olarak değişen frenleme süresi aşağıdaki formülasyon ile ifade edilmektedir:

$$t_{fr} = t + t_i = \frac{7.20 \cdot S}{V} + 4 \quad (\text{s})$$

**t<sub>fr</sub>**: Frenleme süresi

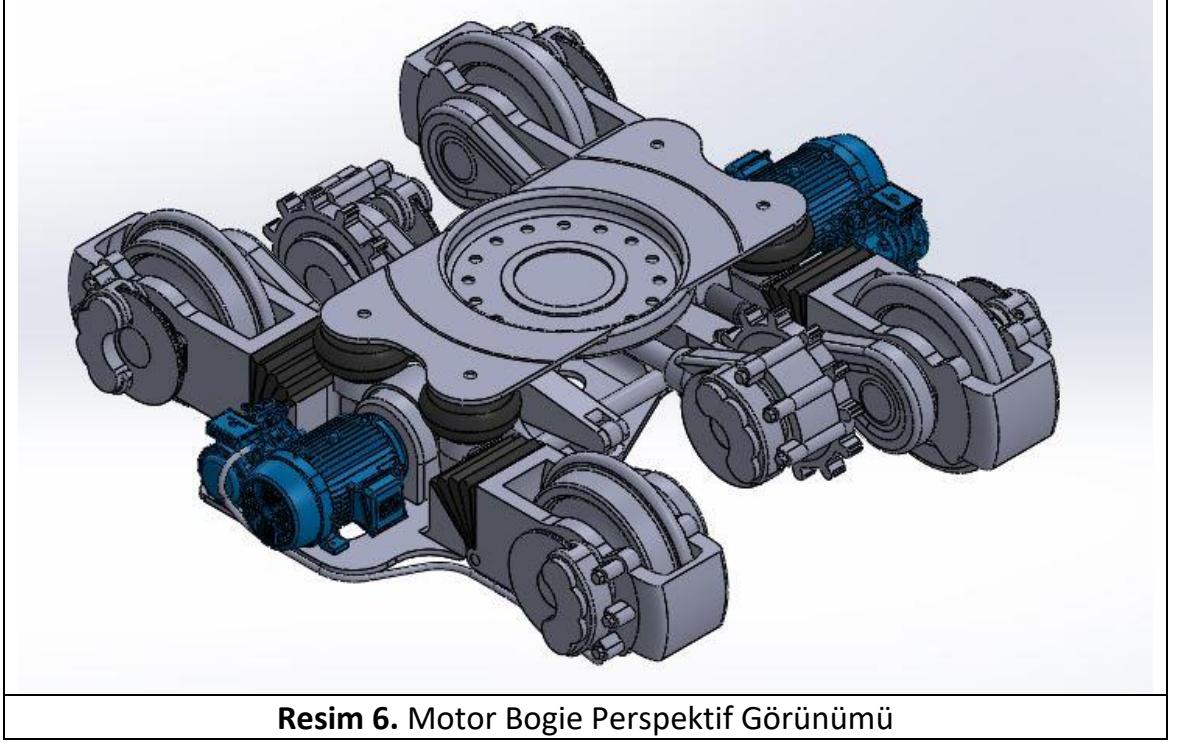
**t<sub>i</sub>**: İntikal fren süresi

**V**: Normal seyir hızı

## 6.BOGİE KONSEPT ÇİZİMİ

Dişli mekanizmalı bogie tasarımı çift 275 KW DC motor ve 6 gearbox (dişli ve tekerler ayrı tahrikli), 4 fren diski 2 fren kompresör ve diğer bogie ekipmanlarından oluşmaktadır. Krameyele kolay oturması ve rampa harici yollarda dişli çarkların zarar görmemesi için dişli sistemi hidrolik kollar ile aşağı yukarı hareket sağlamaktadır. Tramvay araç tasarımı 2 motor 1 taşıyıcı bogie den oluşmaktadır.

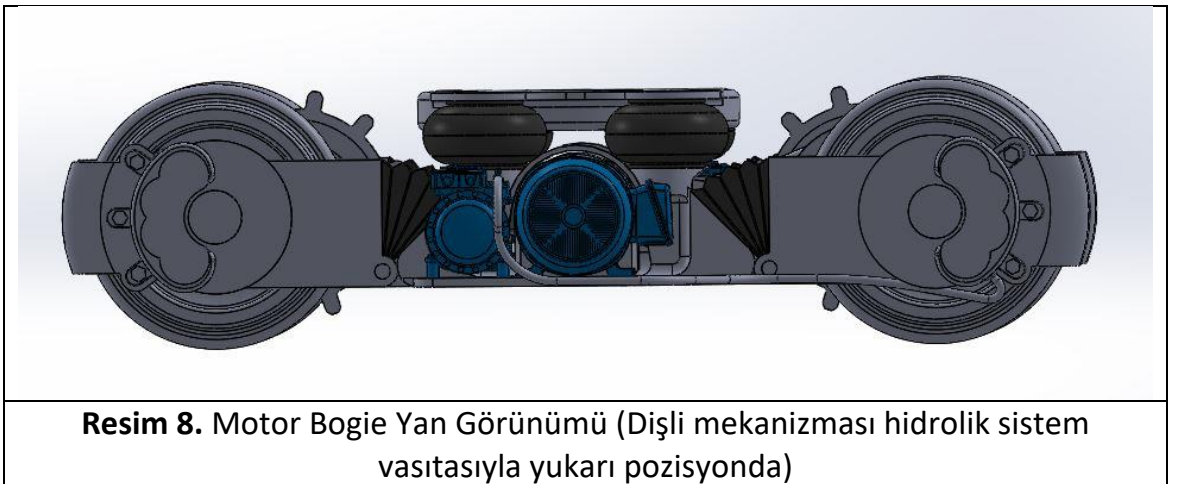




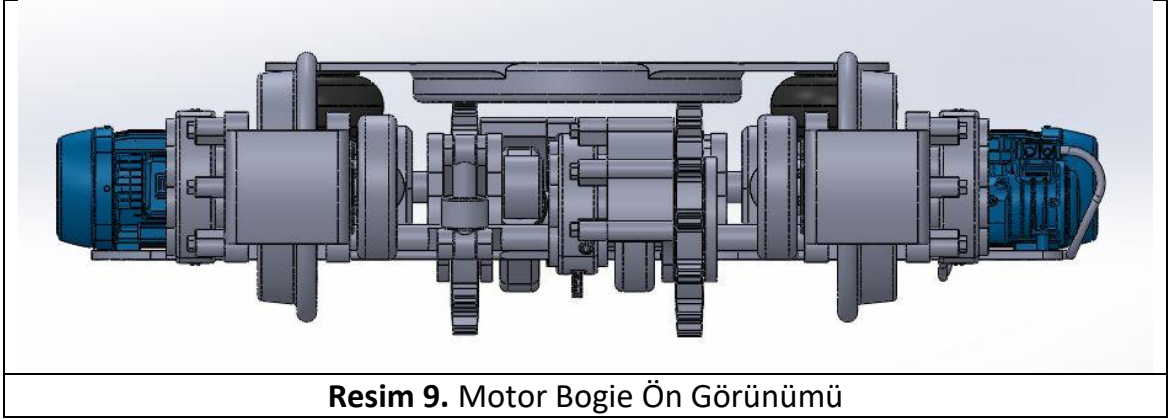
**Resim 6.** Motor Bogie Perspektif Görünümü



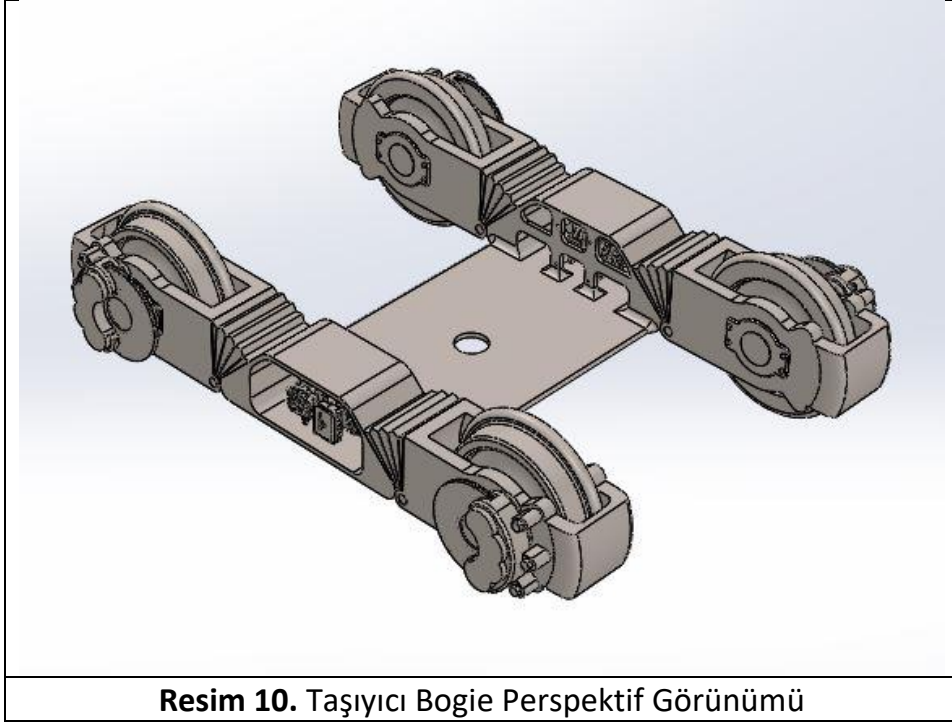
**Resim 7.** Motor Bogie Yan Görünümü (Dişli mekanizması hidrolik sistem vasıtasıyla aşağı pozisyonda)



**Resim 8.** Motor Bogie Yan Görünümü (Dişli mekanizması hidrolik sistem vasıtasıyla yukarı pozisyonda)



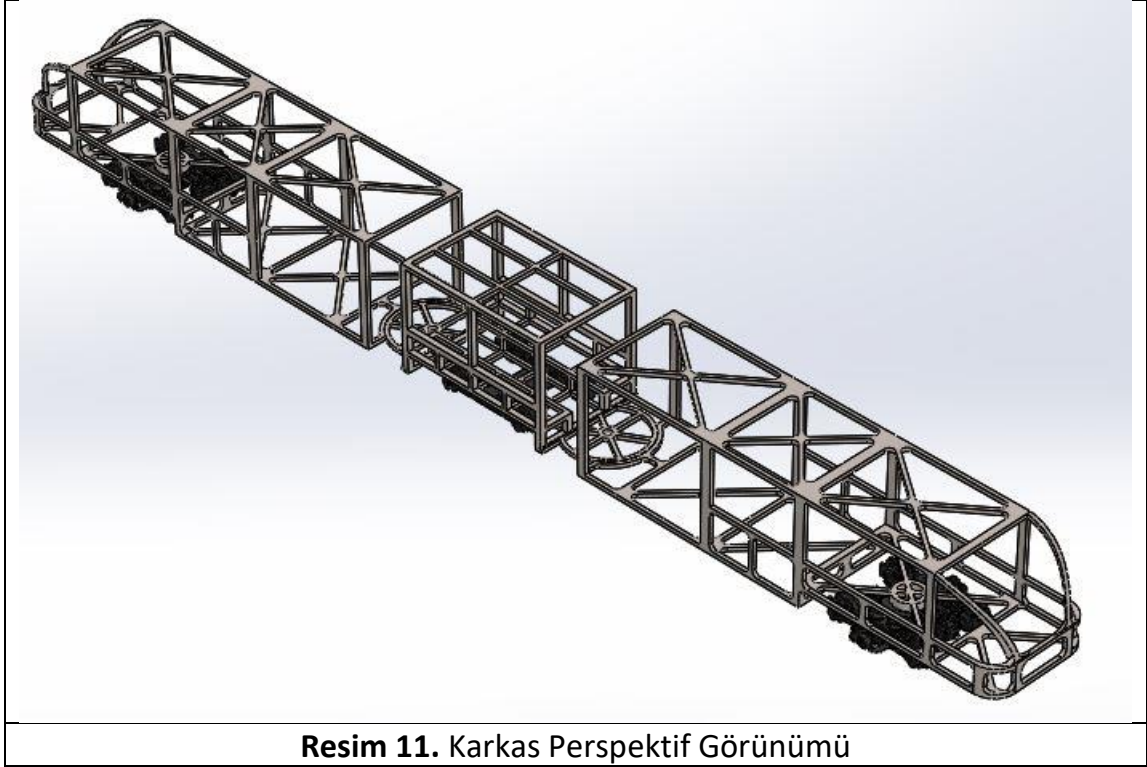
**Resim 9. Motor Bogie Ön Görünümü**



**Resim 10. Taşıyıcı Bogie Perspektif Görünümü**

## **5.GÖVDE KARKAS KONSEPT ÇİZİMİ**

Tramvay aracı 25 metre uzunluğunda ve yolcu kapasitesi oturan 50, 1 m<sup>2</sup>'de 292 kişi (AW3) ayakta olacak şekilde tasarlanmıştır.



**Resim 11.** Karkas Perspektif Görünümü

## 7.SONUÇ

Bu çalışmada, gelişen teknoloji ile büyüyen şehirler için gelecek ulaşım trendi olan raylı sistemlerin şehirlerin farklı yeryüzü şekillerine uygulanabilirliği amaçlanmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde ilave tahrikli raylı sistem yöntemleri hakkında bilgiler verilmiş ve modların karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, dünyada çeşitli örneklerinin bulunduğu dişli-kremayer sistemli demiryolu uygulamalarında, ilk defa literatürde %100 alçak tabanlı (ultra low flow) tramvay konsept tasarımı yapılmıştır. Çalışmada gerekli mass budget (yük analizi), dinamik hesaplamaları, cer gücü hesapları ve fren hesaplamaları için gerekli formüller sadeleştirilerek verilmiştir. Çalışmanın son kısmında dişli sistemli bogie ve karkas konsept tasarımı oluşturularak 3B çizimleri yapılmıştır. Bu proje kentiçi ulaşımında seyahat sürelerinin azaltılması, mevcut yol kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin artırılması, enerji verimliliğinin artırılması ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilmiş olup, gerekli çalışmalar yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Dr. Veysel ARLI, Demiryolu Mühendisliği, İstanbul 2015.
- [2] Vukan R. VUCHIC, Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler, Metro İstanbul 2015.
- [3] ITE, Micheal D. Meyer, Transportation Planning Handbook, 2016.
- [4] İnternet, [http://www.wikiwand.com/cs/Ozubnicov%C3%A1\\_dr%C3%A1ha](http://www.wikiwand.com/cs/Ozubnicov%C3%A1_dr%C3%A1ha), Erişim Tarihi 18.02.2018
- [5] İnternet, [www.topluulasim.com](http://www.topluulasim.com), Erişim Tarihi 18.02.2018
- [6] Ceylan URLU, Demiryolu Araçlarının İleri Dinamiği, Ankara 1999
- [7] S. Açıkbaş, Raylı Toplu Ulaşım Sistemlerinde Enerji Verimliliği, İBB Semineri, 2012
- [8] Durmazlar Makine A.Ş., Raylı Sistemler Derneği Araç Üretimi Eğitim Dokümanı, 2017
- [9] A.Emin ŞİMŞEK, Elektrikli Raylı Sistemlerin İncelenmesi ve Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinde Enerji Kalitesi ve Geri Kazanımı, İstanbul 2008

# RAYLI SİSTEM PROJELERİNDE MAKAS HESABI

Yalgın Kahraman<sup>1\*</sup> and Sümeyye Uçar<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Raylı Sistemler Derneği, Ankara, Türkiye, [yalginkahraman@rsd.org.tr](mailto:yalginkahraman@rsd.org.tr)

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Derneği, Ankara, Türkiye, [sümeyyeucar@rsd.org.tr](mailto:sümeyyeucar@rsd.org.tr)

## Özet

Demiryolu üstündeki raylı sistemler aracının bir yoldan diğer bir yola geçmesini sağlayan yol değiştirme hareketleri makaslar ile sağlanır. Demiryolu projelerinde makaslar, sapan yol, kurp yarıçapı, makas eğimi ve makas uzunluğu verileri ile tanımlanır. Bu tanımlamalar projelerdeki makasın konum hesaplamalarına yardımcı olur. Makasın durumuna göre yapılan hesaplamalar ile makas üretimi gerçekleştirir. Makasların belirlenmesindeki bir diğer etken ise o hattan geçecek olan raylı sistem aracına bağlıdır. Bu çalışma ile literatürler de bulunan bilgiler toplanarak projede makas hesapları ve YHT, Metro, LRV, Tramvay hatlarında kullanılan basit makas ölçüleri ile ilgili kaynak oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu Makasları, Makas Hesapları, Basit Makaslar

## Abstract

The road changing movements of the rail system vehicle on the rail to another road are provided by switches. In railway projects, switches, slingshot road, curve radius, switch slope and switch length are defined by the data. This definitions help the position calculation of switch in projects. Makes switch production with calculations made according to the state of switches. With this work, the switches calculations in the railway projects and the simple switch measurements used in YHT, Metro, LRV, and Tram lines were collected by collecting the information in the literature.

**Keywords:** Railway Switches, Switch Calculations, Simple Switches

## 1. Giriş

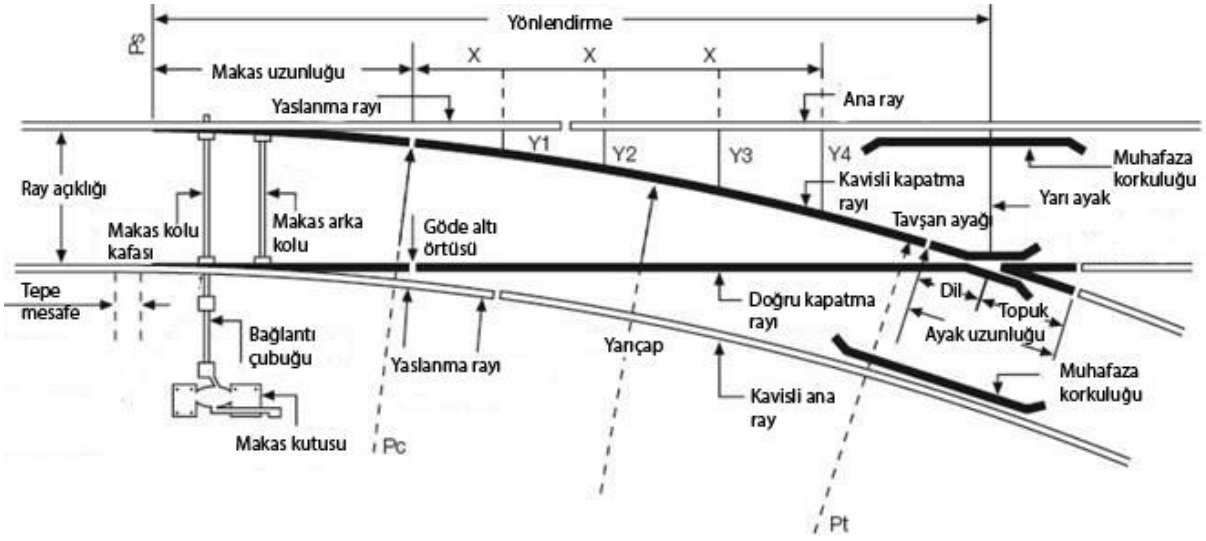
Demiryollarının en temel özelliklerinden biri de tek yönlü hareket etmeleridir. Buna karşın karayolu araçları çift yönlü rahatlıkla hareket edebilirler. Demiryolunda ise yön değişimi makas ve çaprazlarla (kravazman) sağlanır.

Makaslar çok değişik formlarda olmaktadır. Bunların kompleks görülmesine rağmen iki basit sınıfa ayılabılır ve bunların birleşimi olarak bir üçüncüsü eklenebilir:

- Basit veya çoklu makaslar, hattı ikiye (bazen üçe) böler ve aracın yön değiştirmesini sağlarlar.
- Kravazman, yön değiştirme olmaksızın iki hattın kesişimini sağlar.
- Çapraz makas takımı, makas ve kravazman fonksiyonlarını birleştirir

Sonuç olarak, makas ve çaprazların görevi bir hattı iki veya üç hatta ayırmak veya hatları birleştirmektir ve bu sayede trenlerin bir hattan paralel başka bir hatta geçmesine imkân vererek; hareket yönünde bir esneklik sağlamaktır. Bu görevleri etkinlikle yerine getirmek için makas ve çaprazın bazı özelliklere sahip olması gerekir

- Mümkün olan en düşük hız sınırlamalarına uygun olmalı.
- İşletme gereksinimlerini karşılayacak konumda olmalı
- Öngörülen dingil ağırlığını taşımalı
- Üretimi ucuz, montajı basit, çalışması kolay ve değişiminin kolay olmalıdır
- Aşınmaya, korozyona, çürümeye dirençli ve minimum bakım gerektirmelidir
- Sinyalizasyon gereksinimlerine uygun olmalı

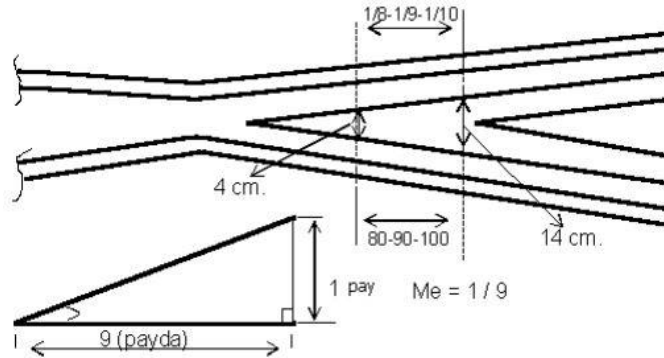


Sekil 1. Makas Elemanları

## 2. Projede Makasın Tanımlanması

Raylı sistem projelerinde makaslar sapan yol karp yarıçapı, makas eğimi ve makas uzunluğu olarak tanımlanır. Makasın sapan yol üzerindeki karp yarıçapı belirlenir. Raylı sistem türüne göre değişen yarıçaplar  $R=25m$  ile  $R=6000m$  arasında değişebilir.

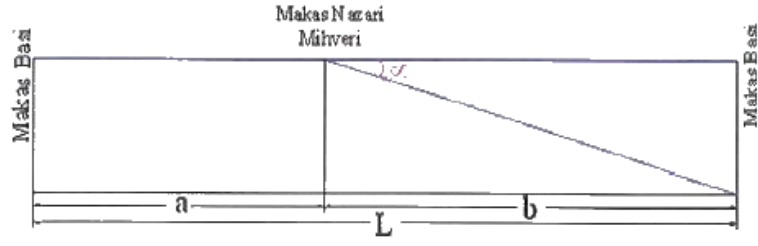
Bir makasın sapan yol ekseninin, doğru yol ekseninden ayrılma oranına makas eğimi denir.  $1/9$  -  $1/10$  -  $1/12$  şeklinde ifade edilir. Eğimi gösteren kesrin payındaki rakam doğru yol üzerinde alınan mesafeyi, paydaki rakam ise bu noktada sapan yolun doğru yoldan uzaklaşma mesafesini gösterir.



Sekil 2. Makas Eğimi Hesabı

Eğimi bulmak için Makas göbeği üzerinde göbek iğne ucu kalınlığının 4 cm. olduğu yer işaretlenir. Sonra göbek kalınlığının 14 cm. olduğu yer işaretlenir. İşaretlenen bu iki nokta arası ölçülür. Bu mesafe 80 cm. gelir ise eğim  $1/8$ , 90 cm. gelir ise  $1/9$ 'dur

Bir diğer tanımlama makas uzunluğu için yapılır. Makam açısı (eğimi), kullanılan karp yarıçapı ve imalat özelliği, makas boyunun tespitinde önemli rol almaktadır. Makas boyu hiçbir zaman makas kurbuna ait tanjant boylarının toplamından az olamaz.

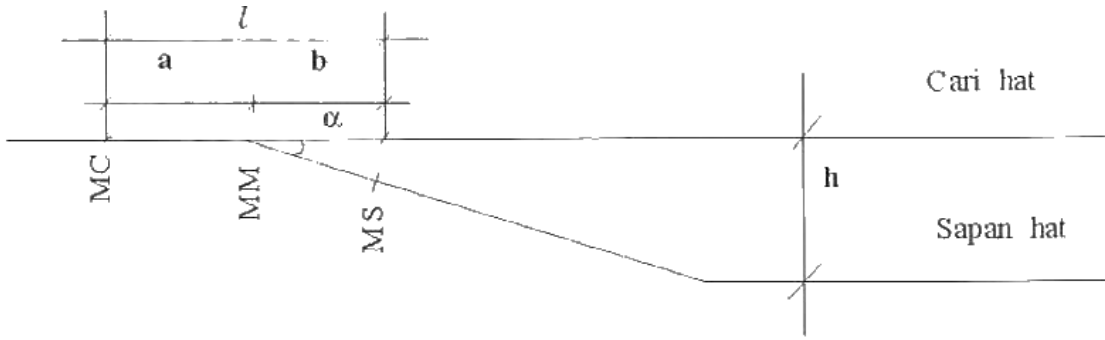


Sekil 3. Makas Boyu

Makasın nazari merkezinden makas dil ucuna kadar olan mesafe (a) mesafesi, nazari mihver (sanal merkezden) makas sonuna kadar olan mesafe ( b ) mesafesidir. ( a ) ve ( b ) mesafelerinin toplamı makasın boyun ( L ) oluşturur.

### 3. Projede Makasların Kullanımı

Makasların yerleştirilmesi demiryolu projelerinde çok önemlidir. Makasın projeye yerleştirilebilmesi için aşağıdaki bilgilere ihtiyaç vardır.



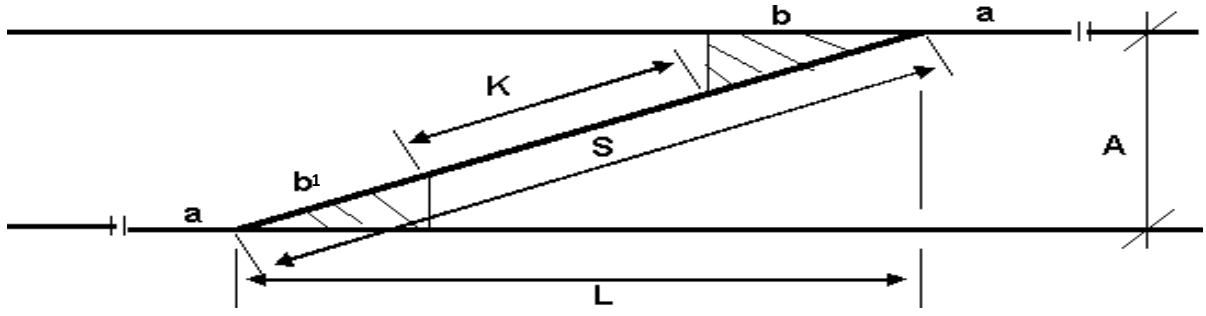
Sekil 4. Makas İçin Gerekli Bilgiler

Makasın tipi ve yönü  $l$  = Makas boyu  $\alpha$  = Makas açısı (makasın eğimi)  $a$  = Makasın mihverini ile dil ucu contası arasındaki mesafe  $b$  = Makasın mihverini ile makas sonu contası arasındaki mesafe  $R$  = Makas sapan yol kurp yarıçapı  $h$  = Hatlar arasındaki mesafe Projede makaslar nazari mihver esas alınarak yerleştirilir. Ancak makasın başı ve sonu tespit edilerek işaretlenir. "MC" Makas dil ucu contası "MM" Makas nazari mihverini "MS" Makas sonu. Özellikle tünel içine yerleştirilecek makaslarda sapan yol kurbu nedeni ile makas mihverinde meydana gelecek sapma ile aracın dinamik gabarisi dikkate alınarak tünel genişliği hesaplanmalıdır.

### 3.1. S Makas Şeklinde Yerleştirilmesi

#### Eğrileri aynı olan makaslarda;

"S" makasta yerleştirme hesabı yapılabilmesi için makas eğimlerinin iki hat mihverleri arasındaki mesafenin ve her iki makasın a - b mesafelerinin bilinmesi gereklidir.



Sekil 5. Basit S Makas

- “S” Makas ile birbirine bağlanacak iki istasyon yolu eksenleri arasındaki mesafe “A”
- Makasların nazari merkezleri arasındaki yatay mesafe “L”
- Makasların sapan yolları doğrultusunda nazari merkezleri arasındaki mesafe de “S” harfi ile ifade edilecek olursa;

1- “A” mesafesi belirlenir.

2- “L” kenarı hesaplanır.

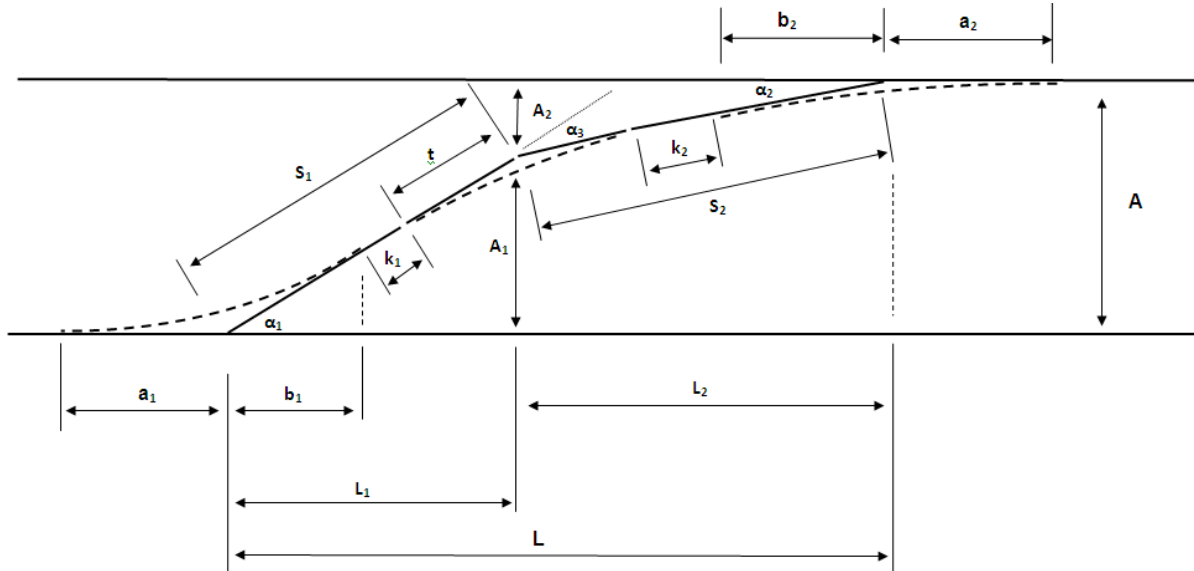
$$L = (\text{Makasların eğimini gösteren kesrin paydası}) \times A$$

3- “S” kenarı hesaplanır.

$$S^2 = L^2 + A^2$$

4- Daha sonra da kupon ray uzunluğu (K) hesaplanır.  $K = S - (b_1 + b_2)$

#### Eğimleri Farklı Olan Makaslarda;



Sekil 5. Eğimi Farklı S Basit Makas

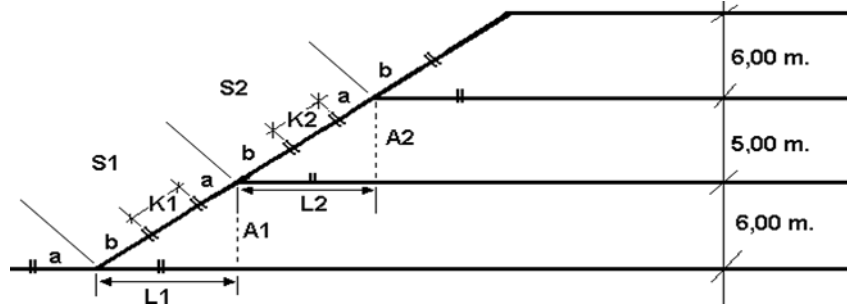
#### İşlem Basamakları;

- Yol eksenleri arası mesafe (A) tespit edilir.
- Makasların eğimlerinden ( $m_1, m_2$ ) yararlanılarak, sapan yolların kesişme noktasının nazari merkezlere olan uzaklığı ve nazari merkezler arasındaki uzaklık hesaplanır.  
 $L_1 = L_2 = A / (m_1 + m_2)$   $L = L_1 + L_2$
- Sapan yolların kesişme noktasının, doğru yol eksenine olan uzaklıkları ( $A_1, A_2$ ) hesaplanır.
- $A_1 = L_1 / \text{Makas 1 meylinin paydası}$   $A_2 = L_2 / \text{Makas 2 meylinin paydası}$

- $S_1$  ve  $S_2$  mesafeleri hesaplanır.
- $S_1 = \sqrt{A_1^2 + L_1^2}$        $S_2 = \sqrt{A_2^2 + L_2^2}$
- Makasların devamındaki aliymanların uzunluğu hesaplanır.  
 $k_1 + t = S_1 - b_1$      $k_2 + t = S_2 - b_2$
- Geçiş kurbu sapma açısı ( $\alpha_3$ ) hesaplanır.       $\alpha_3 = (\alpha_1 - \alpha_2)$
- Geçiş kurbunun developman boyu hesaplanır.       $d = (\pi * R * \alpha_3) / 200$
- $k_1 + k_2 + d$  işlemi yapılarak makaslar arasında kalan yol uzunluğu hesaplanır.

### 3.2. Makasların Birbirini Ardına Yerleştirilmesi

Çapraz Takım Olarak Yerleştirilmesi, birbirini takip eden makasların eğimleri farklı olabilir.

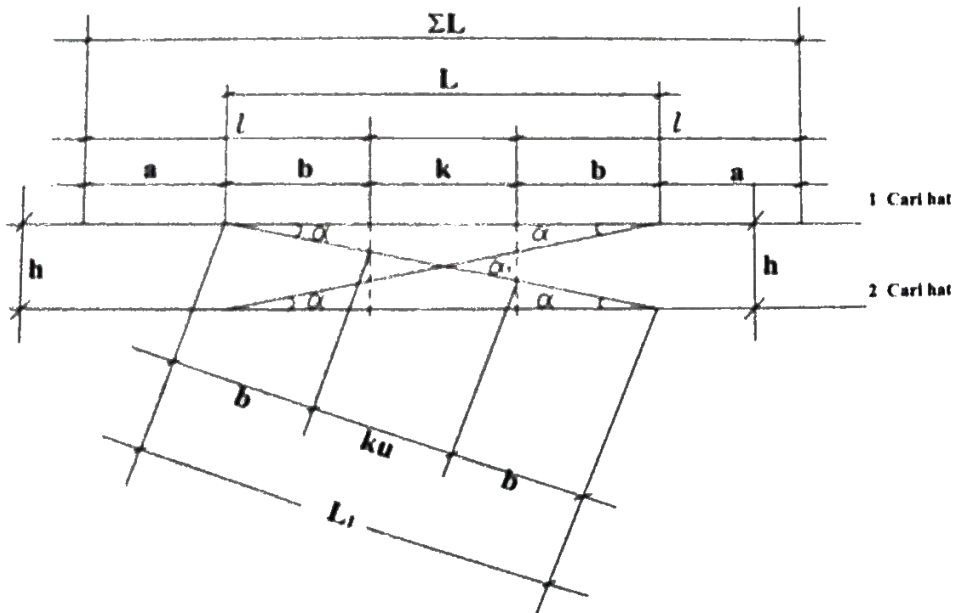


Sekil 6. Birbirini Ardına Yerleştirilen Makaslar

Birbirini Ardına Yerleştirilen makaslarda kupon hesabı yapılırken "S" makasta kupon hesabı işlem basamakları aynen tekrarlanır. Tek farklı işlem olarak formül  $K = S - (b + a)$  şeklinde uygulanır.

### 3.3. Çapraz Takım Olarak Yerleştirilmesi

Çapraz takımları teşkil eden makasların tamamı aynı eğimde olmalıdır. Hat açıklığı makaslar arasında kruvazman sığacak kadar geniş olmalıdır.



Sekil 7. Çapraz Makaslar



$$L = \frac{h}{\text{tg}\alpha} \text{ veya } \text{eğim} \times h$$

$$l = a + b$$

$$k = L - 2b$$

$$\Sigma L = L + 2a$$

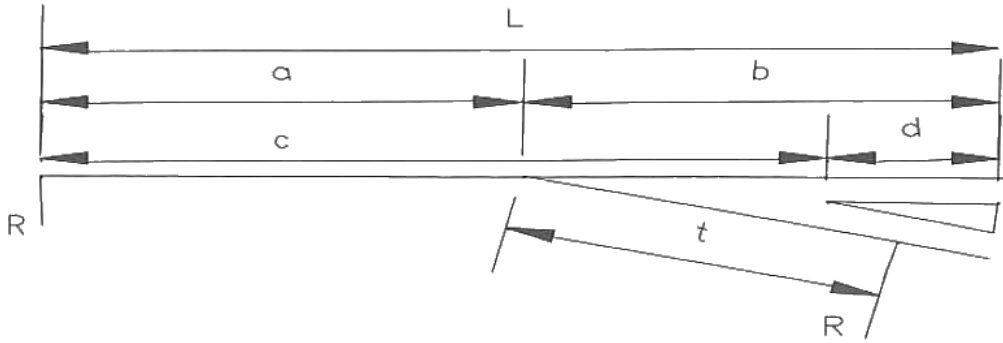
$$L_1 = \sqrt{L^2 + h^2}$$

$$Ku = L_1 - 2b$$

$\alpha_1$  =Makas açısının iki katı veya eğim acısının yarısı

#### 4. Raylı Sistemlerde Kullanılan Basit Makas Tipleri

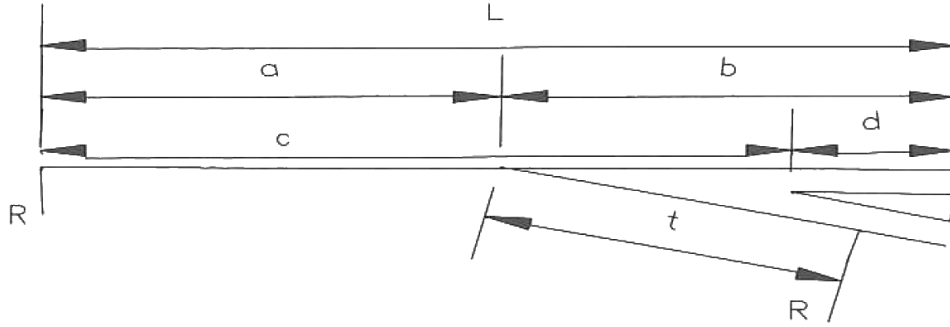
##### 4.1. Yüksek Hızlı Demiryolu Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar



Şekil 8. Yüksek Hızlı Demiryolu Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar

Yüksek Hızlı Demiryolu Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar									
Makas Eğimi	Yarıçap m	L mm	a mm	b mm	c mm	d mm	Ray Tipi	Göbek Tipi	Makas açısı
1/12	500	41594	20797	20797	37881	3713	UIC.60	Mono Blok Veya Oynar	4,763641
1/14	500	42371	17834	17834	37950	4421	UIC.60	Mono Blok Veya Oynar	4,085616
1/14	760	54216	27108	27108	46704	7512	U1C. 60	Mono Blok Veya Oynar	4,085616
1/18,5	1200	64818	32409	32409	58686	6132	UIC.60	Mono Blok Veya Oynar	3,094058
1/24	R1= 2600 R2= 1600 R3= 2600	82500	41250	41250	75467	7033	UIC.60	Oynar Göbek	2,385944
1/45	R1=6000 R2= 3700 R3=12080	147300	53334,6	93965,4	117.225,9	30074,1	U1C. 60	Oynar Göbek	1,273030
1/66	R1=2080 R2= 6580 R3=12080	197114,6	63766,3	133348	159430,3	37684,3	UIC. 60	Oynar Göbek	0,868051

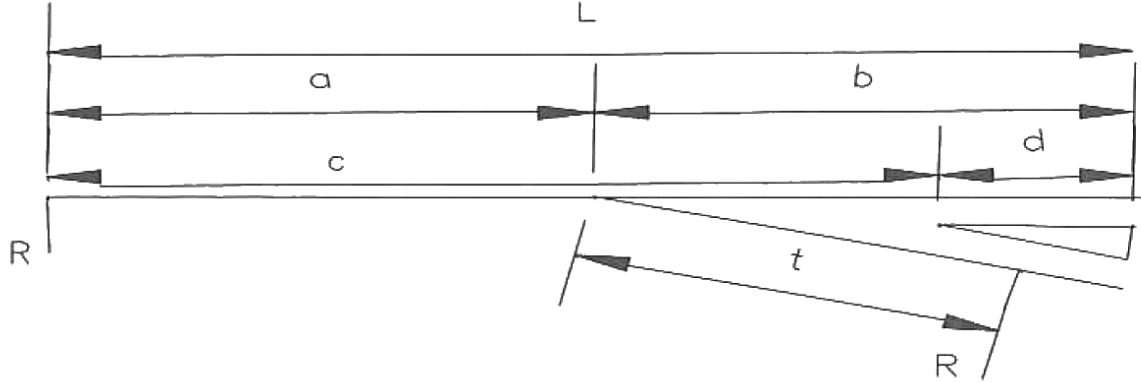
## 4.2. Konvansiyonel Hatlarda Kullanılan Basit Makaslar



Sekil 9. Konvansiyonel Hatlarda Kullanılan Basit Makaslar

Konvansiyonel Hatlarda Kullanılan Basit Makaslar									
Makas Egimi	L (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	Ray Tipi	Göbek Tipi	Makas Açısı
1/6 R= 100	19804	8276	11528			3352	S.49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	9,46232
1/6 R= 150	24829	12414	12414	4080	20748		S49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	9,46232
1/6.6 R= 190	30039	14312	15727	6687	23352	1415	S. 49 - UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	8,61565
1/7 R= 140	23174	9950	13224	3831	19343	3274	S.49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	8,13010
1/7 R=150	23690	9065	14027	3980	19710	4%2	S.49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	8,13010
1/7 R=190	25730	12369	13361	3491	21201	992	S49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	8,13010
1/7.5 R=190	30039	12611	17428	4817	25222	4817	S.49 - UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	7,59464
1/9 R= 190	27017	9426	17591	4636	22381	6914	5.49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	6,34019
1/9 R=190	27138	10523	16615	3660	23478	6092	8.49- UIC.54	Parçalı Veya Yan Mono Blok	6,340 1 o
1/9 R= 300	33230	16615	16615	3888	29342		S.49- UIC.54	Yarı Mono Blok Veya Mono Blok	6,34019
1/9 R=300	34200	16615	17585	3888	30312	970	S.49- UIC.54	Yarı Mono Blok Veya Mono Blok	6,34019
1/10 R=245	30120	10928	19192	4806	25414	8264	S.49- UIC.54	Yarı Mono Blok Veya Mono Blok	5,71059
1/12 R=500	41594	20797	20797	3713	37881		. 54 UIC.60	Mono Blok Veya Oynar	4,76364
1/14 R=500	42371	17834	17834	4421	37950		UIC.54 UIC.60	Mono Blok Veya Oynar	4,08562
1/14 R=760	54216	27108	27108	7512	46704		UIC.54 UIC.60	Mono Blok Veya Oynar	4,08562

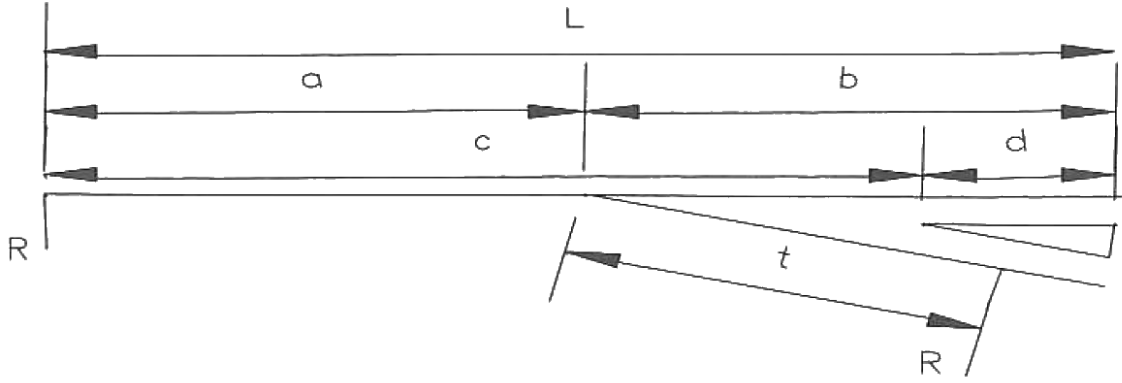
### 4.3. Metro Ve Hafif Metro Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar



Sekil 10. Metro Ve Hafif Metro Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar

Metro Ve Hafif Metro Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar									
Makas Eğimi	L (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	Ray Tipi	Göbek Tipi	Makas Açısı
1/6 R=100	19804	8276	11528			3352	S.49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	9,46232
1/6 R=150	24829	12414	12414	4080	20748		S49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	9,46232
1/6.6 R=190	30039	14312	15727	6687	23352	1415	S.49 UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	861565
1/7 R=140	23174	9950	13224	3831	19343	3274	S.49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	8,13010
1/7 R=150	23690	9065	14027	3980	19710	4962	S.49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	8,13016
1/7 R=190	25730	12369	13361	3491	21201	992	S49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	8,13010
1/7 R=1.905	30039	12611	17428	4817	25222	4817	S.49 UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	7,59464
1/9 R=190	27017	9426	17591	4636	22381	6914	5.49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	6,34019
1/9 R=190	27138	10523	16615	3660	23478	6092	S49- UIC.54	Parçalı Veya Yarı Mono Blok	6,34019
1/9 R=300	33230	16615	16615	3888	29342		S.49- UIC.54	Yarı Mono Blok Veya Mono Blok	6,34019
1/9 R=300	34200	16615	17585	3888	30312	970	S49- UIC.54	Yarı Mono Blok Veya Mono Blok	6,34019
1/10 R=245	30120	10928	19192	4806	25414	8264	S49- UIC.54	Yarı Mono Blok Veya Mono Blok	5,71059

#### 4.4. Tramvay Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar



Sekil 11. Tramvay Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar

Tramvay Hatlarında Kullanılan Basit Makaslar									
Makas Eğimi	L (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	Ray Tipi	Göbek Tipi	Makas Açısı
1/2.280 R= 25	10971	5742	5229	8971	2000	5242	Oluklu	Mono Blok	23.682
1/2.280 R= 25	11406	3578	7828	9406	2000	3078	Oluklu	Mono Blok	14,0362
1/4 R= 30	11522	3693	7829	9522	2000	3693	Oluklu	Mono Blok	14,0362
1/3.506 R= 50	13979	5096	8883	11979	2000	6992	Oluklu S.49	Mono Blok	15,9195
1/6 R=50	15000	4138	10962	12808	2192	4138	Oluklu S.49	Mono Blok	9,4623
1/5.232 R=100	18942	9471	9471	16942	2000	9471	Oluklu S.49	Mono Blok Veya Parçalı	10,02335
1/7 R=100	10500	7107	12393	17203	2297	7107	Oluklu S.49	Mono Blok Veya Parçalı	8,1301
1/6.556 R=150	22728	11375	11373	20748	2000	11375	S.49	Mono Blok Veya Parçalı	8,6726
1/9 R=150	23650	8308	15342	1/9 50 21262	2388	8308	S.49	Mono Blok Veya Parçalı	6,34019

#### 5. Sonuç

Demiryolu projelerinde hattın geçtiği bölge ve kullanılan raylı sistem aracının özelliklerine göre değişen makasların projelerde yerleştirilme hesapları verilmiştir. Bu hesaplamalar ile ilgili tanımlamalar yapılmış, bilinmesi gereken değerlerin formülleri verilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise değişen raylı sistem türlerinde en çok kullanılan basit makaslar tablo ile verilmiştir.

#### 6. Kaynakça

- [1] Günoral Şehzad, "Demiryolu Makasları" Ulaşım A.Ş. Yayınları 2013
- [2] Arlı Veysel, "Demiryolu Mühendisliği" Birsen Yayınları 2015
- [3] Koçtürk Bekir, Üstyapı Bilgisi ve Üstyapı Tekniği Ders Notları TCDD Yayınları 2010

# Türkiye Araç Sektöründe Yeni Stratejik Yatırım Hedeflerine Dair Gelişmeler

Fatih HAYAT

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, KARABÜK  
E posta: fhayat@karabuk.edu.tr

## Özet

Ülkemiz Dünyada kendine yer bulan bir otomotiv üretim ülkesidir. Ülkemizde birçok tesiste milyonlarca araç üretilmekte ve birçok ülkeye ihracat yapılmaktadır. Bu literatür çalışmasında ülkemizde üretilen araçlar, yıllara göre üretim miktarları ele alınmıştır. Ayrıca ülkemiz olan katkıları ve eksik yönler analiz edilmiştir. En önemli eksiklik araç üretimi aşamasında iç piyasadan sunulan ürün miktarının, türünün ve kalitesinin yetersizliğidir. Eğer ülkemizin bu tesislerdeki üretimlerden daha fazla katkı / katma değer alabilmesi ve cari açığın kapanmasına daha fazla etki yapması bir stratejik planlama ile açıklanabilir. Bu çalışmada bu bağlamda görüşler ifade edilmiştir. Ayrıca Dünya motorlu taşıtlar için çevresel etkilerin sonucu yapılan çalışmalara ayak uydurulması ve iç piyasada üretilen ürün kalitesinin artırılması çalışmalarının izlenmesi ve ülkemiz adına takip edilmesi gerekliliği açık bir konudur. Bu çalışmada bu konular ele alınmaya çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Stratejik ürünler, Yeni nesil çelikler, Otomotiv ihracatı, Çevre duyarlılığı

## Abstract

Our country is an automotive manufacturing country that finds its place in the world. In many facilities in our country, millions of vehicles are produced and exported to many countries. In this literature study, the vehicles produced in our country, production amounts according to years are discussed. In addition, the contributions and deficiencies of our country have been analyzed. The most important deficiency is the inadequacy of the quantity, type and quality of the product offered from the domestic market during the production stage. In this study, opinions are expressed in this context. In addition, the environmental impact of world motor vehicles has been interpreted. These issues are discussed in this study.

**Key words:** Strategic products, New generation steels, Automotive exports, Environmental sensitivity

## Türkiye’de Üretim

Otomotiv ana ve yan sanayi, günümüzde Türkiye imalat sanayinin lokomotif sektörlerinden biridir. Bu sektör aynı zamanda savunma sanayi ve gemi inşa sanayinin de altyapısını oluşturmaktadır. Günümüzde Türkiye, Avrupa’daki en büyük hafif ticari araç üreticisi ve ikinci en büyük otobüs üreticisidir. Ülkemizde üretim yapan 13 firma Türkiye’nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu-2017” sıralamasında ilk 170 şirket içerisinde yer aldığı bildirilmiştir. Bu sıralama firma isimlerine göre 2 ile 170 arasında değişmiştir. Bu sıralama otomotiv üreticilerinin ülkemizdeki yerini ve önemini göstermektedir. Ayrıca toplamda 2016 senesinde 53.377 çalışana direkt istihdam sağlamıştır [1].

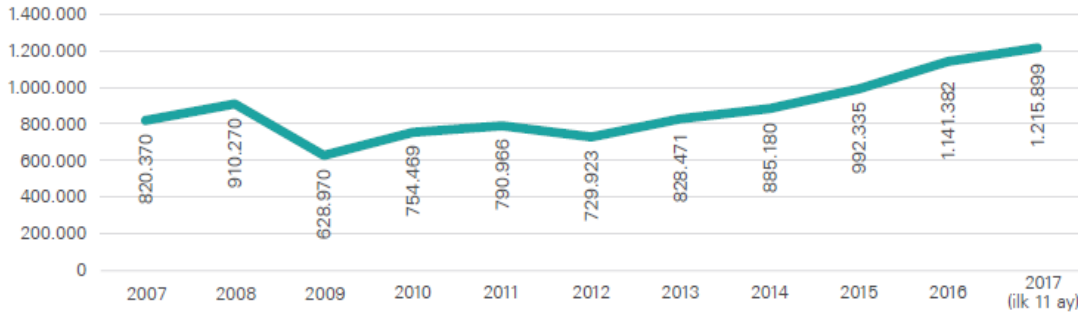
T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu ve Otomotiv Sanayicileri Derneğinin verilerine ve yayınladığı çeşitli raporlarına göre; Türkiye’nin toplam taşıt araçları üretimi (traktör hariç) 2000 yılındaki 431 bin adet seviyesinden 2015 yılında 1 milyon 359 bin adet (2014’te 89 milyon 776 bin 465) seviyesine yükseldiği rapor edilmiştir. 16 yıllık dönemdeki ortalama üretimdeki büyüme oranı %12,7 olarak bildirilmiştir. Otomotiv Sanayicileri Derneği OSD’nin raporlarında bu dönem “Türk otomotiv ana sanayii için daha yüksek katma değer yaratarak dünya pazarına yönelik tasarım ve üretim için sürdürülebilir küresel rekabet sürecine giriş dönemi” olarak nitelendirilmiştir. Bu şekilde otomotiv sektörü ülkemizde AR-GE yoğun bir endüstri olarak son 10 yılda en fazla ihracat yapan sektör konumuna ulaşmıştır. Yine raporlarda 2015 yılında erişilen üretim miktarıyla Türkiye taşıt araçları üretimi sıralamasında Avrupa’da 5. sırada yer bulduğu açıklanmıştır. Ayrıca Türkiye Avrupa’nın en büyük ticari araç üreticisi konumunda yer bulduğu bildirilmiştir. Uluslararası

Motorlu Taşıt Üreticileri Derneği (OICA) verilerine göre 2015'te, Dünya küresel otomotiv üretimi yani motorlu kara taşıtları üretimi ile Türkiye 15'inci sırada olduğu rapor edilmiştir.

Türkiye 2016'ya göre 2017'de toplam otomotiv üretimi yüzde 13 artışla 1 milyon 674 bine, otomobil üretimi ise yüzde 18 yükselişle 1 milyon 121 bine çıkmıştır. Otomotiv Sanayii Derneği (OSD) Ocak-Aralık 2017 dönemini kapsayan yıllık üretim sonuçlarına göre, 2017'de bir önceki yıla nazaran, toplam otomotiv üretimi yüzde 13, otomobil üretimi ise yüzde 18 arttığı bildirilmiştir. Bu dönemde, toplam üretim 1 milyon 674 bin, otomobil üretimi ise 1 milyon 121 bin adet olmuştur. Bu rakamlarla Türkiye'de hem toplam otomotiv hem de otomobil üretimi en yüksek seviyeye ulaştığını göstermiştir. Traktör üretimi ile birlikte değerlendirildiğinde ise toplam üretim geçen yıl 1 milyon 727 bin 505 adettir. Son sıradaki otobüs grubunun üretim miktarı ise yüzde 2,2 artış gösterdi. Bu dönemde üretilen otobüs ve minibüs sayısı 322 bin 985 adet olmuştur.

Ülkemiz için en önemli konu ise "Otomotiv sektöründeki 1 dolarlık katma değer artışının, toplam ekonomide 3 dolarlık katma değer artışı" sağladığıdır. Bu veri bir çok raporda önemle vurgulanmıştır. OSD'nin raporuna göre 10 yıllık otomotiv ihracat sayıları Şekil 1'de verilmiştir.

#### 10 yıllık toplam otomotiv ihracatı adet)



Kaynak: OSD

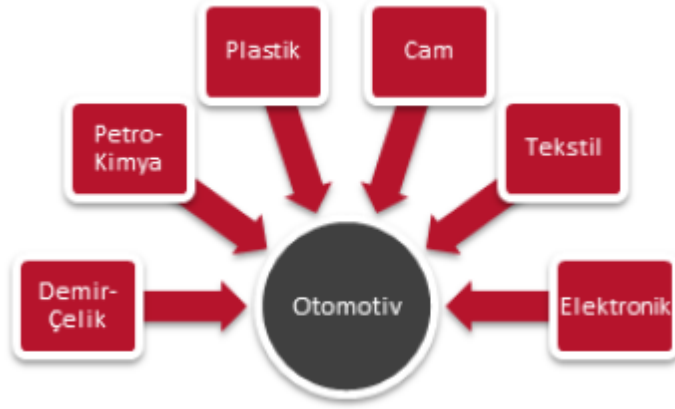
Şekil 1. Ülkemizin otomotiv ihracat miktarları [1].

Türkiye, AB'ye yapılan motorlu taşıt ihracatında ise Japonya, Güney Kore ve ABD gibi güçlü oyuncular geride bırakarak ilk sırada yer aldığı bildirilmektedir.

Değerler, sayısız olumsuz durum ve Dünyadaki istikrarsızlığa rağmen 2017'de büyümenin devam ettiğini göstermiştir. Otomotiv sektörü üretim ve ihracatı son 10 yılda en yüksek düzeye 2016 senesinde eriştiği bildirilmiştir. Kasım 2017 sonuna kadar gerçekleşen rakamlar, geçen seneki başarının 2017'de devam ettiğini ve rakamların yükseldiğini belirtmiştir.

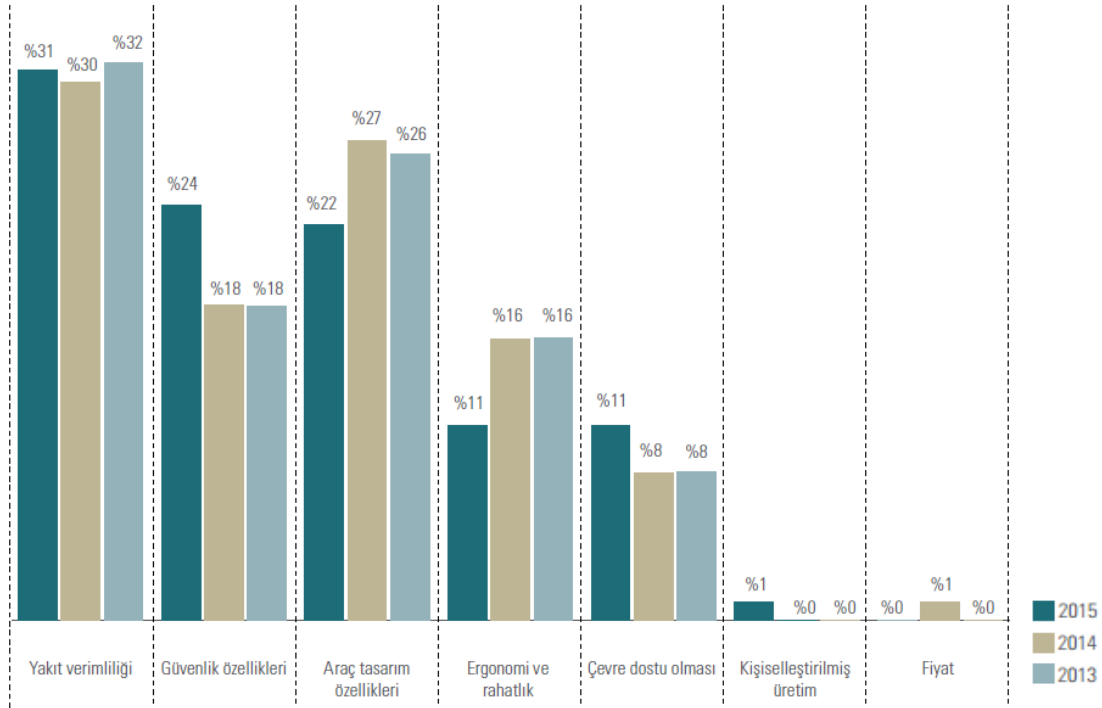
### Yeni Stratejik Yatırım Hedefleri

Ülkemiz motorlu araç üretiminde dünyada kendine yer bulmuş bir ülkedir. Bu durum ülkemize daha önemli atılımlar yapma olanağı sunmaktadır. Dünyada genel ürün kalitesinin artırılması trendine ülkemiz üreticileri de uyum sağlamak durumundadır. Fakat ülkemizde üretilen araçların üretiminde kullanılan on binlerce parçanın yerlilik oranı düşük seviyededir. Üretici firmalar iç piyasadan malzeme tedarik edememektedir. Mesela bir otomobilin neredeyse yarı ağırlığını çelik oluşturmaktadır. Bir otomobilde kullanılan çeliğin sadece %25 ila 30'u ülkemizde yerli üretim ile üretilmekte ve otomotiv üreticilerine sunulmaktadır. %75 ila 80 oranında yurtdışından alınmaktadır. Otomotiv sektörünün ürün aldığı sektörler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Otomotiv sektörünün ürün bazlı alıcısı olduğu sektörler [2].

Otomotiv sektörü araçlardan salınan zararlı gazların değerlerinin azaltılması için büyük baskı altında kalmıştır. Çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden birisi motorlu araçların emisyonları gösterilmektedir. Bunun çözümü ise daha az yakıt tüketen, daha hafif ve daha yüksek teknolojiye sahip araçlardır. Bu şekilde emisyon değerleri düşürülmüş olacaktır. Ayrıca satış sürecinde de araç alan insanların bu durumu gözettiği görülmüştür. Şekil 3'de KPMG Türkiye çeşitli anket ve verileri sunduğu raporunda Otomotiv Distribütörleri Derneği kaynaklı araç alımında dikkat edilen hususlar istatistik olarak verilmiştir.

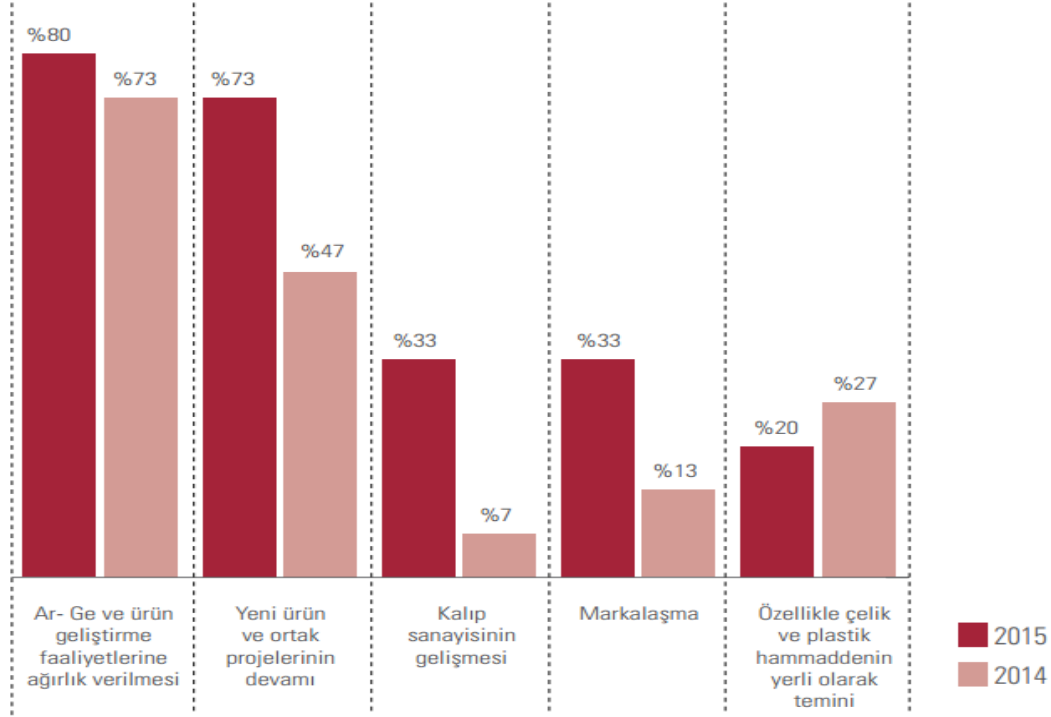


Şekil 3. Otomotiv alım kararlarında önemli ürün özellikleri [3].

Dünyada ve özellikle ülkemizde yakıtın pahalı olması ya da istikrarsız fiyatlandırmalar nedeniyle tüketiciler az yakıt yakan araçlar almakta ve kullanmaktadır. Yakıt verimliliği bu açıdan tüketicilerin alım kararlarındaki en önemli başlık özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır. İkinci sırada güvenlik, üçüncü sırada ise araç tasarım özellikleri az bir farkla yer bulmuştur. Raporda ayrıca çevre dostu araçların alım kararlarındaki önemindeki olumlu değişime vurgu yapılmış ve geçen yıla göre üç puan artmış olduğu bildirilmiştir.

### Otomotiv sanayinde ARGE'nin önemi

Türkiye’de otomotiv sanayisinde katma değerin artması için ana sanayi ve tedarik sanayisinin birlikte alması gereken önlemlerin başında “Ar-Ge ve ürün geliştirme faaliyetleri” geldiği yadsınamaz bir gerçektir. Bu durum kuşkusuz katma değeri yüksek ürün üretimini tetikleyecek bir unsurdur. Bu konuyu “yeni ürün ve ortak projelerin devamı” takip etmektedir. Diğer dikkat çeken noktalar ise, “Kalıp sanayisinin” ve “Markalaşma” olduğu bildirilmiştir. 2015 yılında Türkiye otomotiv sektöründe yeni stratejik yatırım hedefleri adı altında veriler açıklanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Türkiye otomotiv sektöründe yeni stratejik yatırım hedefleri: ana sanayi ve tedarik sanayinin alması gereken önlemler [3].

Bu grafikte ARGE’ye ve ürün geliştirmeye atıf yapılarak önemine vurgu yapılmıştır. Raporlarda spesifik olarak verilen önemli bir unsur ise çelik, plastik yerli üretimi ve kullanımınıdır. Çelik kullanımı otomotiv için temel taşı olarak yerini almıştır. Bunun sebebi daha ince ama daha mukavim çelik kullanarak araçlarını hafifletme hedefidir. Emisyon azaltma çalışmaları nitelikli ve daha hafif çeliklerin kullanımını elzem hale getirmektedir. Bu sebeple otomotiv sektörü nitelikli ve yüksek mukavemetli çelik kullanımını artırmaktadır. Otomotiv sektörü için nitelikli ve yüksek kaliteli çelik ülkemizde üretilmemektedir. Ülkemiz bu çalışmaların dışında kalmış ve bu yönelimi/trendi dışardan izlemektedir.

ARGE ürünlerine örnek olarak çelik malzemesini verecek olursak ülkemiz adına bazı olumsuzluklar hemen göze çarpmaktadır. Bu verileri desteklemek için bir örnek vermek gerekirse; Ülkemizde üretilen en kaliteli sac formunda olan çelik “DP600 kodlu” 600MPa çekme mukavemetine sahip çift fazlı çeliğidir. Biliyoruz ki otomotiv sanayi artık 1000MPa ve üzeri çelikleri otomobillerde kullanmaya başlamıştır. Bu durumun düzeltilmesi ülkemiz adına elzem ve ivedidir.

Dünyada çelik kullanım trendini gösteren aşağıdaki tabloda otomobillerde kullanılan metal malzemeler ve yıllara göre kullanım artış tahminleri verilmiştir [4].

Tablo 1. Büyük sedan otomobillerde beyaz gövde ve karoserde öneme sahip malzemeler (%).



Large Sedan	Body-in-White			Closures		
	2014	2018	2025	2014	2018	2025
<b>Steel sheet share</b>	96.6	95.0	95.0	77.0	55.0	55.0
Mild steel	45.1	31.9	23.8	50.8	27.0	11.0
Mid-strength HSLA	33.8	32.3	32.3	9.2	7.7	11.0
Adv. high strength	17.7	30.8	39.0	16.9	20.4	33.0
<b>Aluminum sheet share</b>	0.4	2.00	2.00	3.00	25.0	25.0
6xxx alloy	0.1	0.5	0.5	2.3	18.8	18.8
5xxx alloy	0.3	1.4	1.4	0.6	5.0	5.0

Not: Diğer bileşenler arasında çelik bar, alüminyum sac dışı, magnezyum ve diğer ürünler bulunur.

Yukardaki tabloya bakıldığında 2014, 2018 ve 2025 için tahminler verilmiştir. Ülkemizde HSLA çeliğinin bir kısmı ve ileri yüksek mukavemetli çelik (advanced high strength) üretilmemektedir. Ülkemizde üretim yapan firmaların ilerleyen yıllarla birlikte başta nitelikli çelik olmak üzere iç üreticilerden alabileceği malzeme oranının azalacağı aşikardır. Alüminyum önemli malzemelerdir [5]. Otomotivde kullanımı artmaktadır. Bu tablo sadece metalik malzemelerin kullanımı ile ilgilidir. Diğer bölümler, kalıp ürünleri, elektrik, elektronik, yakıt sistemleri, polimer, kompozit vb, farklı malzemeler ve sistemler içinde yeni ürünlere geçiş ülkemiz için riskleri artırmaktadır.

2017 yılında OECD verilerinden alınarak yayınlanmış Otomotiv sektörü raporunda [3] Dünyada farklı ülkelerin toplam AR-GE harcamaları içinde otomotiv sektörünün payı verilmiştir.



Şekil 5. Seçilmiş ülkelere göre toplam ARGE harcamaları içinde otomotiv sektörünün payı [kaynak: OECD]

Grafiğe bakıldığında ülkemiz toplam ARGE harcamalarında otomotiv sektörüne %14'lük pay ayırmıştır. Bu oran Almanya'da %32 ve Japonya'da %24 olmuştur.

Sektörel Bakış, Otomotiv 2018 raporuna göre [6]; Türkiye ihracatının öncüsü olan otomotiv sektörünün zirvedeki yerini koruyabilmesi için tüm firmaların Almanya başta olmak üzere dünya genelinde başlayan "dönüşüm planı"nın içinde yer alması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Bu manada Ar-Ge yatırımlarına öncelik vermek ve inovasyonu hazmederek kültür haline dönüştürmek gerektiğine atıf yapılmıştır. Küresel rekabette önemli oyuncularından olan Türkiye otomotiv sektörü için teknolojinin desteğiyle hayata geçirilen yenilikçi ve katma değeri yüksek çözümlerin hayati ve çok önemli olduğu hatırlatılmıştır. Ülkemiz temsilcilerinin dönüşümün içinde vakit kaybetmeden yer alması gerektiğine vurgu yapılmıştır. Eğer harekete geçilmezse Türkiye ekonomisi için olağanüstü önem taşıyan sektörün geleceği riske atılmış olacağı düşüncesi ifade edilmiştir.

Geliştirmemiz gereken yönlerimiz mevcuttur. Bu yönler ise şu şekilde ele alınabilir; endüstriyel tasarım, patent ve uluslararası standartlar konusunda daha çok yol alınması gerekliliği

gösterilmiştir. Ayrıca Sektörün Endüstri 4.0 yapılarına geçmesinde eğitimli iş gücü eksikliği önemli bir engel olarak ortaya çıktığı ve Üniversitelerde lisans ve yüksek lisans düzeyinde otomotiv ile ilgili bölümler yeterli talebi görmemesi sektörün uzun dönem verimliliğini de etkilediği vurgulanmıştır.

Lojistik sektörü geliştiği ama altyapıda önemli eksikliklerin olduğu vurgulanmıştır. Dış politika kaynaklı bölgesel sorunlar sektörü doğrudan etkilediği bildirilmiştir. Ham maddede dışa bağımlılığa vurgu yapılmıştır.

## Sonuçlar

- Otomotiv alım kararlarında en önemli unsurun yakıt tüketimi olduğu düşünülmektedir. Emisyon değerlerinin düşürülmesi için yakıt tüketiminin düşürülmesi ayrıca önem arz etmektedir.
- Ülkemiz toplam ARGE bütçesinden otomotiv sanayine en fazla aktarım yapan ülkeler arasında yer bulmuştur.
- Ülkemiz yerli otomotiv sanayine kaliteli ve nitelikli ürün sağlamakta yetersiz kalmaktadır.
- Otomotive ürün tedarik eden üreticilerin, ürün kalitelerini yükseltmeleri ve daha nitelikli ürün üretmek zorunluluğu vardır.
- ARGE ve ürün geliştirme faaliyetlerinin artırılması talebi mevcutken üreticileri bu taleplere ayak uydurmalıdır. Bu netice cari açığın azaltılmasına hizmet edecektir.

## Kaynaklar

1. Otomotiv Sanayicileri Derneği 2015-2016-2017 raporları.
2. Sercan Pişkin, Türkiye Otomotiv Sanayii Rekabet Gücü ve Talep Dinamikleri Perspektifinde 2020 İç Pazar Beklentileri | Ocak 2017.
3. KPMG-Türkiye 2015 Otomotiv Yöneticileri Araştırması "Türkiye Otomotiv Sektöründe Yeni Stratejik Yatırım Hedefleri" 07-05-2015.
4. <https://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Research/10-04-2014%20-%20AutoWarfare%20Executive%20Summary.pdf>
5. Fatih HAYAT, Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6 / 7075-T651 RSW joints, Materials Science & Engineering A 2012, vol. 556, pp. 834-843.
6. Sektörel Bakış, Otomotiv 2018, kpmg.com.tr

# CBTC SİSTEMİ VE EMNİYET SÜREÇLERİ

Kemal Faruk Doğan<sup>1\*</sup> and Yalçın Kahraman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ERC Ltd. Şti. ve Raylı Sistemler Derneği, , İstanbul, Türkiye, kemalfarukdogan@gmail.com

<sup>2</sup> Raylı Sistemler Derneği, Ankara, Türkiye, yalginkahraman@rsd.org.tr

## Özet

İletişim Tabanlı Tren Kontrolü (CBTC), trafik yönetimi ve altyapı kontrolü için tren ve hat ekipmanı arasındaki iletişimi kullanan bir demiryolu sinyalizasyon sistemidir. CBTC sistemleri vasıtasıyla, bir trenin kesin konumu, geleneksel sinyal sistemlerinden daha doğru olarak bilinir. Bu çözüm, demiryolu trafiğini yönetmek için daha verimli ve emniyetli bir sistemdir. Demiryolu sistemleri işletme esnasında sefer sıklığını emniyetli bir şekilde artırabilir.

Bir CBTC sistemi, IEEE 1474 standardında tanımlandığı gibi, Otomatik Tren Koruma (ATP) fonksiyonlarını ve isteğe bağlı Otomatik Tren Operasyonu (ATO) ve Otomatik Tren Denetimi (ATS) fonksiyonlarını uygulayabilen tren ve yol kenarındaki işlemciler ile sürekli, yüksek kapasiteli, çift yönlü tren ve hat arası veri iletişimini sağlayan, hat devrelerinden bağımsız olarak, yüksek doğrulukta tren yer tespitini yapan otomatik bir tren kontrol sistemidir.

CBTC Sisteminin en büyük emniyet sorunu, sistem emniyetinin sadece gerçekleştiren testler ile sağlanamamasıdır. Bu nedenle, insan hataları ve yazılım arızaları ile başa çıkmak için emniyet yönetimi önlemleri alınması gerekmektedir. CBTC sisteminin sistematik özellikleri, ürün yaşam döngüsü boyunca uygun bir entegrasyon yöntemine ihtiyaç duyar. Demiryolu sistemlerinin, geliştirme, inşaat, işletme, bakım aşamalarında uygulanan emniyet yönetim sistemi; risk kontrolünü yürütmek ve demiryolu emniyet yönetiminin uygulama çerçevesini oluşturmak için etkili bir yoldur.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, Sinyalizasyon, CBTC, Tren, Kontrol

## Abstract

Communication Based Train Control (CBTC) is a railway signaling system that uses communication between train and line equipment for traffic management and infrastructure control. The precise position of a train through CBTC systems is more accurate than conventional signal systems. This solution is a more efficient and safe system for managing railway traffic. Railway systems can safely increase the frequency during operation.

A CBTC system, as defined in the IEEE 1474 standard, is able to provide continuous, high-capacity, two-way trains with trains and trackside equipment that can implement Automatic Train Protection (ATP) functions and optional Auto Train Operation (ATO) and Automatic Train Control (ATS) functions. It is an automatic train control system that provides high accuracy train location, independent of line circuits, providing data communication between lines.

The biggest safety problem of the CBTC System is that the system safety cannot be achieved only by performing tests. For this reason, it is necessary to take safety management measures to deal with human errors and software failures. The systematic features of the CBTC system require a proper integration method throughout the product life cycle. Safety management system applied in the development, construction, operation and maintenance phases of railway systems; It is an effective way to carry out risk control and create the framework of implementation of railway safety management.

**Keywords:** Railway, Signalization, CBTC, Train, Control

## 1. Giriş

## 2. İletişim Tabanlı Tren Kontrolü (CBTC)

İletişim Tabanlı Tren Kontrolü (CBTC), trafik yönetimi ve altyapı kontrolü için tren ve hat ekipmanı arasındaki iletişimi kullanan bir demiryolu sinyalizasyon sistemidir. CBTC sistemleri vasıtasıyla, bir trenin kesin konumu, geleneksel sinyal sistemlerinden daha doğru olarak bilinir. Bu çözüm, demiryolu trafiğini yönetmek için daha verimli ve emniyetli bir sistemdir. Demiryolu sistemleri işletme esnasında sefer sıklığını emniyetli bir şekilde artırabilir.

Bir CBTC sistemi, IEEE 1474 standardında tanımlandığı gibi, Otomatik Tren Koruma (ATP) fonksiyonlarını ve isteğe bağlı Otomatik Tren Operasyonu (ATO) ve Otomatik Tren Denetimi (ATS) fonksiyonlarını uygulayabilen tren ve yol kenarındaki işlemciler ile sürekli, yüksek kapasiteli, çift yönlü tren ve hat arası veri iletişimini sağlayan, hat devrelerinden bağımsız olarak, yüksek doğrulukta tren yer tespitini yapan otomatik bir tren kontrol sistemidir.

Şehir ve nüfus artışı, toplu taşıma taşımacılığına olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu yüzden sinyalizasyon sistemlerinin, talep ve trafik kapasitesindeki bu artışı emniyetli bir şekilde karşılaması için gelişmesi ve modernize edilmesi gerekmektedir. İşletmeler, tren hatlarının kapasitesini maksimize etmeye odaklanmıştır. CBTC'nin ana hedefi hat boyunca seyahat eden trenler arasında ki zaman aralığını emniyet bir şekilde azaltarak kapasiteyi artırmaktır.

Geleneksel eski sinyal sistemleri tarihsel olarak, "bloklar" adı verilen hattın ayrı bölümlerindeki trenlerin tespit edilmesine dayanmaktadır. Her blok, bir trenin işgal edilen bir bloğa girmesini engelleyen sinyallerle korunur. Her blok altyapı tarafından sabitlendiğinden, bu sistemlere sabit blok sistemleri denir. Geleneksel sabit blok sistemlerinden farklı olarak, modern hareketli blok CBTC sistemlerinde, her tren için korunan bölüm, altyapı tarafından statik olarak (sanal blok teknolojisi hariç, hareket eden bir bloğun işlenmesini sağlayan, ancak yine de fiziksel bloklarla kısıtlanmış şekilde) tanımlanmamıştır. Bunun yanı sıra, trenler tam konumunu, endüktif döngü veya radyo iletişimi gibi iki yönlü bir bağlantı vasıtasıyla hatta ki ekipmana sürekli olarak iletmektedir.

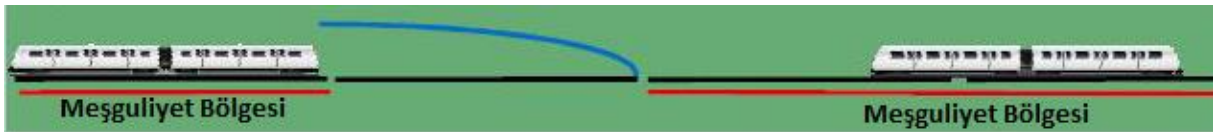
Hareketli blok sinyali, gerçek zamanlı olarak trenin etrafında bir emniyet mesafesi hesaplanmasına izin verir. Sabit blok uzunluğunun hesaplanmasına benzer şekilde, bir trenin emniyet mesafesi, trenin hızları, kademeleri ve çalışma özellikleri kullanılarak hesaplanır. Bu değer, aracın ve çevredeki elemanların konumuna bağlı olarak değişebilen bir tamponun tren çevresinde uygulanmasına izin verir

30–60 kHz frekans aralığındaki tren ve yol kenarındaki ekipmanlar arası için kullanılan bu teknoloji, bazı elektromanyetik uyumluluk (EMC) konularına ve diğer kurulum ve bakım sorunlarına rağmen, işletmeciler tarafından yaygın bir şekilde benimsenmiştir.

## 2.1. Ana Özellikler

### 2.1.1. CBTC ve Hareketli Blok

CBTC sistemleri, şehirlerarası hatlarda da kullanılabilmesine rağmen, çoğunlukla şehir içi demiryolu hatlarında (hafif veya ağır) ve sürücüsüz insan taşıma sistemlerinde kullanılabilen modern demiryolu sinyalizasyon sistemleridir. Ana hatlar için benzer bir sistem, Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi ERTMS Seviye 3 (henüz tam olarak tanımlanmamıştır) olabilir. Modern CBTC sistemlerinde trenler, telsiz aracılığıyla durumlarını sürekli olarak hesaplar ve iletir. Bu durum, diğer parametreler arasında, tam konum, hız, hareket yönü ve fren mesafesini içerir. Bu bilgi, yoldaki trenin potansiyel olarak işgal ettiği alanın hesaplanmasını sağlar. Aynı zamanda, yol kenarındaki ekipmanın, aynı trendeki diğer trenlerin asla geçmemesi gereken hat üzerindeki noktaları tanımlamasına olanak tanır. Bu noktalar, emniyet ve konfor gereksinimlerini korurken, trenleri otomatik olarak hızlarını sürekli ayarlamak için iletir. Böylece, trenler sürekli olarak önde ki trene olan mesafeyle ilgili bilgi alırlar ve daha sonra emniyet mesafelerini buna göre ayarlayabilirler.



Şekil 1 Sabit Blok



Şekil 2. Hareketli Blok

Sinyal sistemi perspektifinden, ilk şekil, trenin üzerinde bulunduğu tüm blokları dahil ederek, önde giden trenin toplamda hat meşguliyetini gösterir. Bunun nedeni, sistemin trenin aslında bu blokların içinde nerede olduğunu tam olarak bilmesinin imkânsız olmasıdır. Bu nedenle, sabit blok sistemi sadece aşağıdaki trenin son boş blok bloğuna kadar hareket etmesine izin verir.

İkinci şekilde gösterildiği gibi hareketli bir blok sisteminde, tren konumu ve frenleme eğrisi, trenler tarafından sürekli olarak hesaplanır ve daha sonra telsiz vasıtasıyla yol kenarındaki ekipmana iletilir. Böylece, yol kenarı ekipmanı, her biri en yakın engele kadar (herşeyden önce trenin önünde alan oluşturur.), her biri Hareket İzni Limiti (LMA) olarak adlandırılan korunan alanlar oluşturabilir.

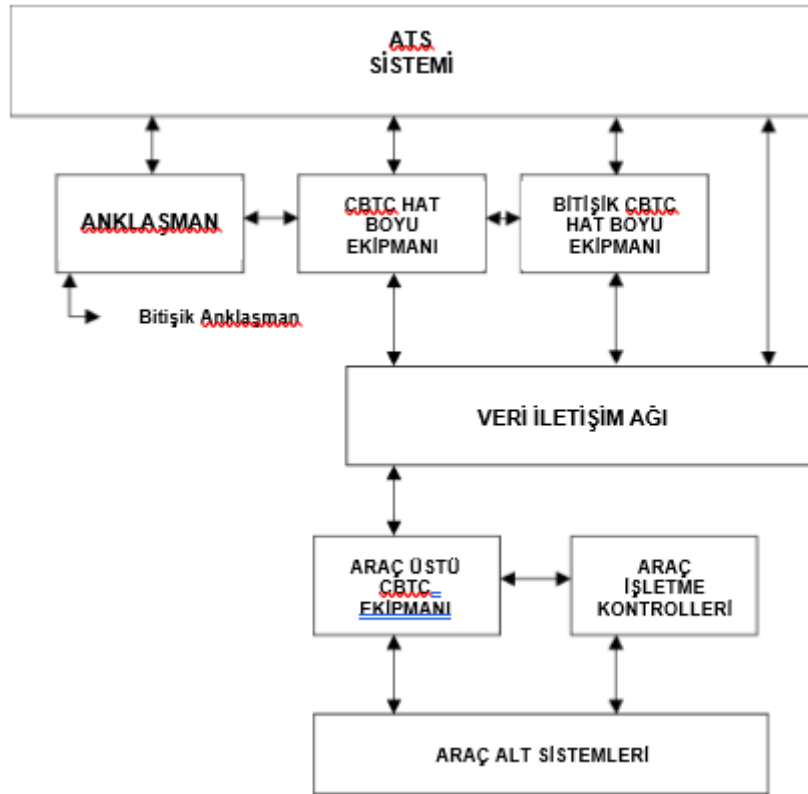
Bu sistemlerde hesaplanan hat meşguliyetinin, trenin uzunluğuna eklenen konum belirsizliği (şekilde sarı alan) için bir emniyet payı içermesi gerektiğini belirtmek önemlidir. Her ikisi de genellikle 'Footprint' olarak adlandırılan şeyi oluşturur. Bu emniyet sınırı, trendeki odometri sisteminin doğruluğuna bağlıdır. Hareketli bloğa dayanan CBTC sistemleri, birbirini izleyen iki tren arasındaki emniyet mesafesinin azaltılmasına olanak tanır. Bu mesafe, tren konumunun ve hızının sürekli güncellemelerine göre değişir ve emniyet gereksinimlerini korur. Bu azaltılmış mesafe, art arda trenler ile taşıma kapasitesinin artırılmasını sağlar.

### 2.1.2. Otomasyon Seviyeleri

Modern CBTC sistemleri, farklı otomasyon seviyelerine veya otomasyon derecelerine (GoA, IEC 62290-1'de tanımlandığı ve sınıflandırıldığı şekliyle) izin verir. Aslında, bu amaç için temel bir teknoloji olarak kabul edilmesine rağmen, CBTC sistemi, "sürücüsüz" veya "otomatik trenler" ile eşanlamlı değildir.

Mevcut otomasyon dereceleri, manuel korumalı bir işlem olan GoA 1'den (genellikle ikincil yedek işletme moduyla birlikte) tam otomatikleştirilmiş işletme olan GoA 4'e (Gözetimsiz Tren Operasyonu, UTO) kadar uzanmaktadır. Ara operasyon modları yarı otomatik GoA 2 (Yarı Otomatik Operasyon Modu, STO) veya sürücüsüz GoA 3'ü (Sürücüsüz Tren Operasyonu, DTO) dur. İkinci kabin içinde bir sürücü olmadan çalışır, ancak bir acil durum durumunda yolcuları yönlendirmek ve bunun yanı sıra bozulmuş operasyon modları için gerektiğinde sürücü refakati vardır. GoA ne kadar yüksekse, emniyet, işlevsellik ve performans seviyeleri de o kadar yüksek olmalıdır.

### 2.1.3. CBTC Sistem Mimarisi



Şekil 3. Örnek CBTC Sistem Mimarisi

Modern bir CBTC sisteminin tipik mimarisi aşağıdaki ana alt sistemleri içerir:

Anlaşman sistemini ve ve hat veya ağdaki her bölgeyi kontrol eden alt sistemler (tipik olarak yol kenarı ATP ve ATO işlevlerini) içeren hat kenarı ekipmanları;

Hat veya şebekedeki her bölgeyi kontrol eden alt sistemleri ve (genellikle yol kenarı ATP ve ATO fonksiyonelliklerini içeren) alt sistemleri içeren yol kenarı ekipmanlarıdır. Tedarikçilere bağlı olarak, sistem mimarisi merkezileştirilebilir veya dağıtılabılır. Sistemin kontrolü, merkezi kontrol ATS'den gerçekleştirilir, ancak yerel kontrol alt sistemleri de bir ikincil yedek sistem olarak dahil edilebilir. Araçlardaki ATP ve ATO alt sistemleri dahil CBTC yerleşik ekipmanlar;

Tren'den hatta olan iletişim radyo sinyalleri tabanlıdır. Dolayısıyla, bir CBTC mimarisi her zaman tedarikçiye ve teknik yaklaşımına bağlı olmasına rağmen, aşağıdaki mantıksal bileşenler genellikle tipik bir CBTC mimarisinde bulunması gerekir:

Araç üstü ATP sistemi; Bu alt sistem, emniyet profiline göre tren hızının sürekli kontrolünden ve gerekirse fren uygulanmasından sorumludur. Aynı zamanda, emniyetli bir operasyon için gerekli bilgileri (hız ve fren mesafesi göndermek ve emniyetli bir operasyon için hareket yetkisinin sınırını almak) değiştirmek amacıyla, ATP alt sistemi ile iletişimden sorumludur.

Araç üstü ATO sistemi; Treni, ATP alt sistemi tarafından belirlenen eşik altında tutmak için çekiş ve frenleme fonksiyonunun otomatik kontrolünden sorumludur. Ana görevi ya sürücüyü ya da görevlendirme işlevlerini kolaylaştırmak ya da trafik düzenleme hedeflerini ve yolcu konforunu korurken treni tam otomatik modda çalıştırmaktır. Aynı zamanda çalışma süresini adapte etmek veya hatta güç tüketimini azaltmak için farklı otomatik sürüş stratejilerinin seçilmesine izin verir.

Yol kenarı ATP sistemi; Bu alt sistem, işletme alanındaki trenlerle tüm iletişimlerin yönetimini üstlenir. Ayrıca, söz konusu alanda çalışırken her trenin uyması gereken hareket yetkisinin sınırlarını hesaplar. Bu görev, bu nedenle operasyon emniyeti için kritiktir.

Yol kenarı ATO sistemi; Her trenin hedef yönü ve regülasyon hedeflerini kontrol etmekten sorumludur. Yol kenarı ATO, fonksiyonelliği, sistemdeki tüm trenleri hedefleriyle ve istasyonlardaki bekleme süresi gibi diğer verilerle birlikte sağlar. Ayrıca, örneğin alarm / olay iletişimi ve yönetimi veya istasyonda tutma/istasyon atlama komutlarını işleme dahil olmak üzere yardımcı görevleri ve emniyetle ilgili olmayan görevleri de gerçekleştirebilir.

İletişim sistemi; CBTC sistemleri, raylı sistem ile trenler arasındaki çift yönlü iletişim için anten veya sızdıran besleme kablosu vasıtasıyla dijital ağ bağlantılı bir radyo sistemini entegre eder. 2,4 GHz bant, bu sistemlerde (WiFi ile aynı şekilde) yaygın olarak kullanılır, ancak 900 MHz (ABD), 5.8 GHz veya diğer lisanslı bantlar gibi başka alternatif frekanslar da kullanılabilir.

ATS sistemi; ATS sistemi genellikle CBTC çözümlerinin çoğunda entegre edilmiştir. Temel görevi, operatör ve sistem arasında bir arayüz olarak hareket etmek ve trafiği belirli düzenleme kriterlerine göre yönetmektir. Diğer görevleri; olaya ve alarm yönetimine ek olarak harici sistemlerle arayüz görevi de yapabilir.

Anlaşman sistemi. Bağımsız bir alt sistem olarak gerektiğinde (örneğin ikincil yedek sistem olarak), makaslar ya da sinyaller gibi izlenen nesnelere ve diğer ilgili fonksiyonelliklerin hayati kontrolünden sorumludur. Daha basit ağlarda veya hatlarda, Anlaşman fonksiyonu, yol kenarındaki ATP sistemine entegre edilebilir.

#### 2.1.4. İletişim Tabanlı Tren Kontrol Sisteminin Temel Avantajları

CBTC Sisteminin temel avantajları aşağıda ki şekildedir;

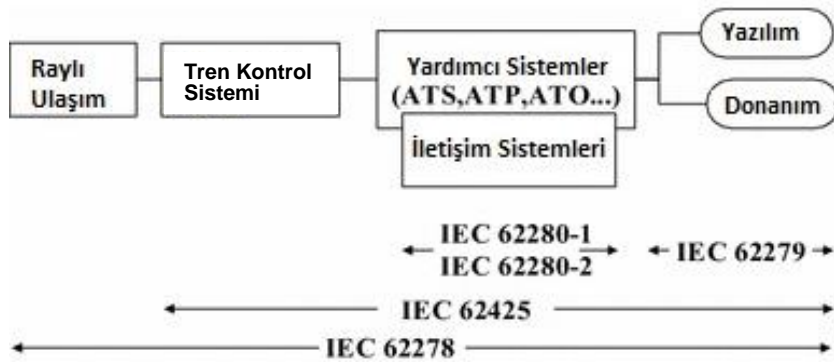
- En iyi hat kapasitesini elde etmek, maliyetleri azaltmak ve en iyi yolcu konforunu sağlamak için optimize edilmiş tren hızları;
- Kısa sürede sistem teslimatı ve lansman garantisi;
- İlk günden operasyona başlamak,
- Otomatik operasyonlar ve kolay bakım;
- İşletim maliyetlerini düşürmek için sürücüsüz sistem (veya sürücüsüz sisteme yükseltme imkanı);
- Güç tasarrufu;
- Kolay bakım;
- Kolay genişleme;
- Kolay entegrasyon;
- Parazite/engele karşı en iyi bağımsızlık;
- Eskime geçirmez;
- % 99,99 emniyet;
- Minimum parça ekipmanı.

### 3. CBTC Sistemi İçin Emniyet Süreçleri

CBTC Sisteminin en büyük emniyet sorunu, sistem emniyetinin sadece gerçekleştiren testler ile sağlanamamasıdır. Bu nedenle, insan hataları ve yazılım arızaları ile başa çıkmak için emniyet yönetimi önlemleri alınması gerekmektedir. CBTC sisteminin sistematik özellikleri, ürün yaşam döngüsü boyunca uygun bir entegrasyon yöntemine ihtiyaç duyar. Demiryolu sistemlerinin, geliştirme, inşaat, işletme, bakım aşamalarında uygulanan emniyet yönetim sistemi; risk kontrolünü yürütmek ve demiryolu emniyet yönetiminin uygulama çerçevesini oluşturmak için etkili bir yoldur.

#### 3.1. Avrupa Emniyet Standartları

Avrupa Elektrifikasyon Standartları Komitesi (CENELEC), bilgisayar kontrolüne dayanan demiryolu tren kontrol sistemi için IEC62278 (EN 50126), IEC 62279 (EN 50128), IEC 62280 (EN 50159) ve IEC 62425 (EN 50129) gibi bir dizi standart oluşturmuştur. Bu standartlar güçlü bir güvenilirliğe ve daha iyi bir pratikliğe sahip olduklarından, birçok ülkede uygulamaya alınmış ve IEC Komitesi tarafından uluslararası bir standart olarak kabul edilmiştir.



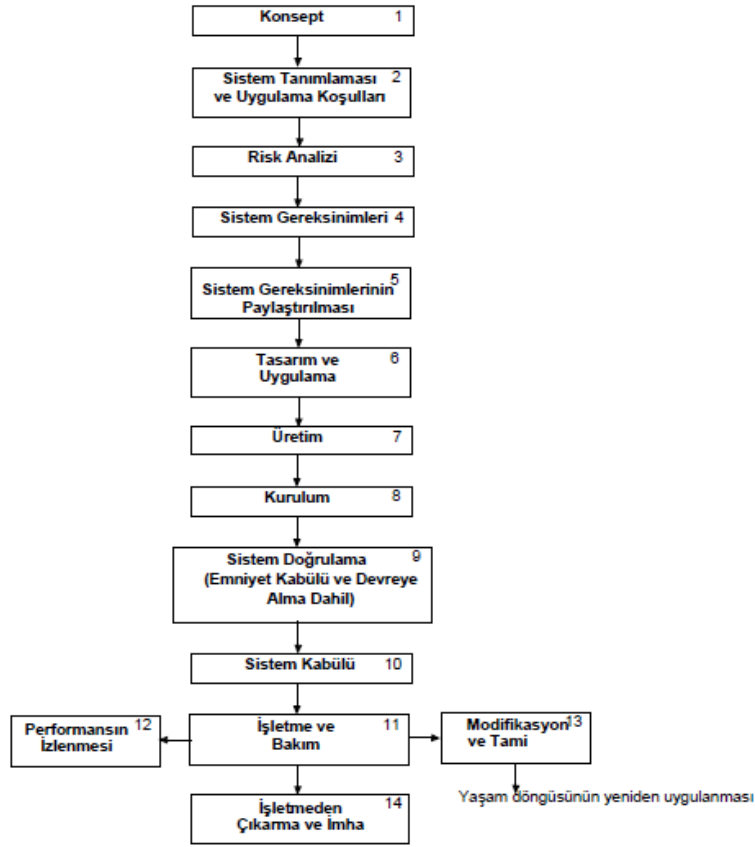
Şekil 4. Demiryolu için uluslar arası emniyet standartları

#### 3.2. CBTC Sistemleri İçin Emniyet Yaşam Döngüsü

Bir sistemin yaşam döngüsü, başlangıç sürecinden işletmeden çıkarılmasına ve her aşamadaki görevlere kadar tüm sürecin çeşitli aşamalarına atıfta bulunur. Tüm döngü, emniyetle ilgili bir sistemin planını, yönetimini, kontrolünü ve denetimini içerir. Sistem yaşam döngüsü (Yaşam Döngüsü Sistemi), sistem geliştirme ve kullanım sürecinin bir açıklamasıdır. Sistem yaşam döngüsü, kalitenin planlanması, yönetimi, kontrolü ve denetimi için birleşik bir çerçeve ve sistemin performansı, yapım süresi, maliyeti ve diğer yönlerinin kontrolünü sağlar. Sistem emniyeti, birçok faktörün birlikte çalışmasının bir sonucudur ve bu faktörler tüm sistem yaşam döngüsü aşamalarına dağıtılır. Özellikle, farklı aşamalarda yer alan faktörler birbirinden farklıdır. Bu nedenle, farklı aşamalarda farklı faktörleri kontrol etmek ve izlemek için sistem emniyeti çalışmaları, sistem yaşam döngüsü kapsamında gerçekleştirilmelidir. Sistem emniyeti çalışmalarını içeren sistem yaşam döngüsüne, emniyet ömrü ve emniyet yaşam döngüsü denir.

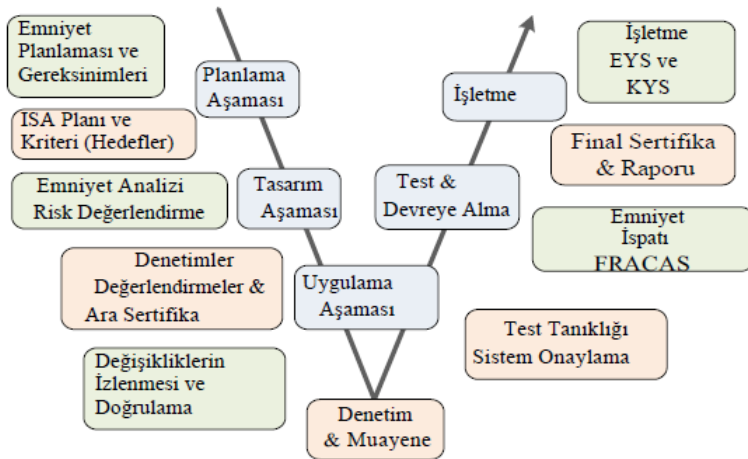
Tüm yaşam döngüsünün faaliyetlerinde, sisteme veya proje yaşam döngüsündeki sistem risklerini kontrol etmek için konsept tabanlı risk yönetimi benimsenmiştir

Gerçek bir demiryolu projesinin uygulanması sürecinde, tüm yaşam döngüsü, genellikle 5 kilometre taşına bölünmüştür. İlk kilometre taşının amacı (1,2,3,4), sistem gereksinimlerini oluşturmaktır ve bu, ilk 4 fazı içerir. İkinci kilometre taşının (4) emniyet gereksinimlerini alt sistemlere dağıtması ve detay tasarım taslağını içermektedir. Üçüncü kilometre taşından (6,7,8) önce, sistemin uygulanması ve kurulumu bitmiş olmalıdır. 4. kilometre taşının (10,22,12,13) ana faaliyeti; sistem sertifikası ve emniyet kontrolüdür. Son dönüm noktası ticari operasyonu ifade etmektedir.



**Şekil 5. Sistem Yaşam Döngüsü (EN 50126)**

CBTC sisteminin karmaşıklığı göz önüne alındığında, EN50129'a göre, CBTC ürünleri için örnek bir emniyet yaşam döngüsü modeli ve detayları Şekil 7'de gösterilmiştir.



**Şekil 6. CBTC Yaşam Döngüsü**

Sistem emniyet çalışmalarını içeren sistem yaşam döngüsü yani diğer adıyla emniyet yaşam döngüsü kapsamında uygulanması gereken temel emniyete özgü görevler aşağıda ki tabloda belirtilmiştir.



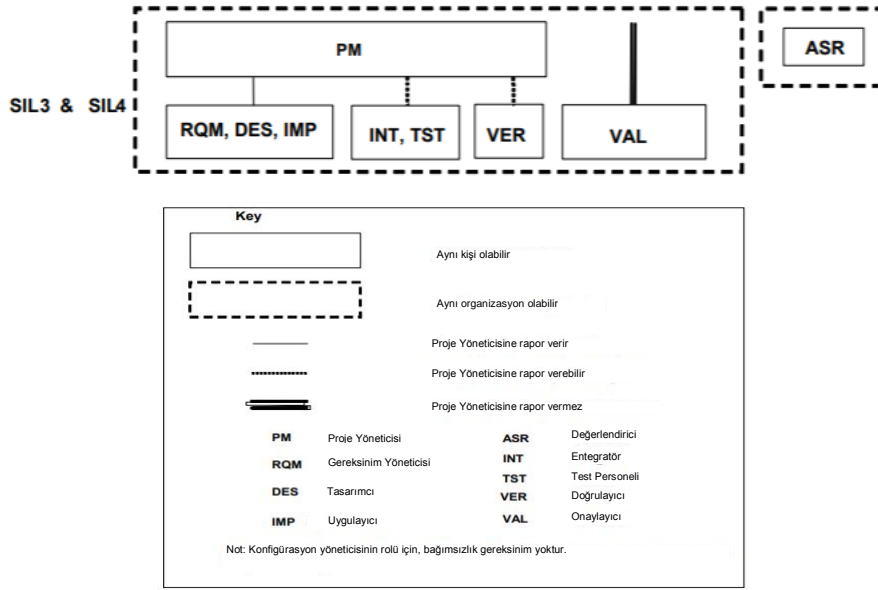
<b>1- Konsept:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daha önce elde edilen emniyet performansının gözden geçirilmesi,</li> <li>• Projenin emniyet etkilerinin değerlendirilmesi,</li> <li>• Emniyet politikası ve emniyet hedeflerinin gözden geçirilmesi</li> </ul>
<b>2- Sistem tanımlaması ve uygulama koşulları:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emniyet için geçmiş deneyim verilerinin değerlendirilmesi,</li> <li>• Ön tehlike analizinin başarısı,</li> <li>• Emniyet planının oluşturulması,</li> <li>• Risk kriterlerinin tolere edilebilirliğinin tanımı,</li> <li>• Mevcut altyapı kısıtlamalarının emniyetin üzerindeki etkisinin tanımlanması,</li> </ul>
<b>3- Risk analizi:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem tehlike ve emniyet risk analizinin yapılması,</li> <li>• Tehlike kaydının oluşturulması,</li> <li>• Risk değerlendirmesinin yapılması,</li> </ul>
<b>4- Sistem gereksinimleri:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem emniyeti gereksinimlerinin belirtilmesi,</li> <li>• Emniyet kabul kriterlerinin tanımı,</li> <li>• Emniyetle ilgili fonksiyonel gereksinimlerin tanımı,</li> <li>• Emniyet yönetiminin kurulması,</li> </ul>
<b>5- Sistem gereksinimlerinin dağıtılması</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistem emniyeti hedefleri ve gereksinimleri: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alt sistem ve bileşen emniyeti gereksinimlerinin belirlenmesi,</li> <li>▪ Alt sistemin tanımı ve bileşen emniyeti kabulü</li> </ul> </li> <li>• Emniyet planının güncellenmesi,</li> </ul>
<b>6- Tasarım ve Uygulama:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emniyet planının gözden geçirme, analiz, test ve veri değerlendirmesi ile ele alınması,</li> <li>▪ Tehlike günlüğü,</li> <li>▪ Tehlike analizi ve risk değerlendirmesi,</li> <li>▪ Tasarım kararlarıyla ilgili güvencenin gerekçesi,</li> <li>▪ Program kontrolünün üstlenilmesi:</li> <li>▪ Emniyet Yönetimi, <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alt yüklenicileri ve tedarikçileri kontrol etmek,</li> <li>▪ Genel emniyet ispatı dokümanının hazırlanması,</li> </ul> </li> <li>▪ Genel uygulama emniyet ispat dokümanının hazırlanması,</li> </ul>
<b>7- Üretim:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uygulanan emniyet planının incelenmesi, analiz, test ve veri değerlendirmesi,</li> <li>• Tehlike günlüğünün kullanılması,</li> </ul>
<b>8- Kurulum:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurulum programının oluşturulması,</li> <li>• Kurulum programının uygulanması,</li> </ul>
<b>9- Sistem Onaylama (Emniyet kabulü ve devreye alma dahil):</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Devreye alma programının oluşturulması,</li> <li>• Devreye alma programının uygulanması,</li> <li>• Uygulamaya özel emniyeti ispat dokümanlarının hazırlanması,</li> </ul>
<b>10- Sistem kabulü:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uygulamaya özel emniyeti ispat dokümanlarının değerlendirilmesi,</li> </ul>
<b>11- İşletme ve Bakım:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emniyet merkezli bakımın üstlenilmesi,</li> <li>• Emniyet performansının izlenmesi ve tehlike kaydı bakımının sağlanması,</li> </ul>
<b>12- Performansın izlenmesi:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Performans ve emniyet istatistiklerinin toplanması, analizi, değerlendirilmesi ve kullanılması,</li> </ul>
<b>13- Modifikasyon ve Tamir:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Değişiklik ve iyileştirme için emniyet uygulamalarının göz önünde bulundurulması,</li> </ul>
<b>14- İşletmeden Çıkarma ve İmha:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emniyet planının oluşturulması (hizmetten çıkarma ve imha için),</li> <li>• Tehlike analizi ve risk değerlendirmesinin yapılması,</li> <li>• Emniyet planının uygulanması.</li> </ul>

### 3.2.1. Emniyet Yönetim Süreci Tasarımı

Sistem / alt sistem / cihaz tasarımına genel bir bakış, sistemin ana işlevlerinin yanı sıra harici ve dahili ara yüzleri de açıklar, böylece ilgili personel sistemde kullanılan ilke ve teknikleri açıkça anlayabilir. Emniyet yönetimi süreci, emniyet yaşam döngüsüne bağlı bir dizi aşamadan ve aktivitelerden oluşur. Sistem yaşam döngüsünün tasarımı ve doğrulanması Şekil 7'de gösterildiği gibi tanımlanabilir.

### 3.2.2. Emniyet Organizasyonunun ve Emniyet Planının Oluşturulması

Emniyet yönetimi süreci, ilgili iş için yetkili bir şahıs üzerinden uygun bir bağımsız emniyet organizasyonunun kontrolü altında gerçekleştirilmelidir; Şekil 8, CBTC projesinin temel organizasyon yapısını göstermektedir. İlgili sistemin emniyet bütünlüğü seviyesine göre, farklı kişiler arasında uygun bir bağımsızlık olmalıdır.



Şekil 7. CBTC Projesi İçin Organizasyon Yapısı

Sistem yaşam döngüsünün ilk aşamasında bir emniyet planı oluşturulmalıdır. Bu plan, tüm yaşam döngüsünü kapsayan emniyet yönetiminin organizasyonel yapısını, uygun aralıklarla emniyet planlarının gözden geçirilmesi ihtiyacını ve sistem/alt sistem/ekipmanın (donanım ve yazılım dahil) tüm yönlerini belirlemeli ve içermelidir.

Sistem tasarımının ilk aşamasında, tehlike analizi sonuçlarına dayanarak (PHA, SHA, SSHA, IHA ve OSHA dahil) bir tehlike kaydı oluşturmalı ve tüm emniyet yaşam döngüsü boyunca tehlike kaydı güncellenmelidir. Emniyet gereksinimleri iki açıdan, yani fonksiyonel emniyet gereksinimleri ve emniyet bütünlüğü gereksinimleri olarak düşünülebilir. Fonksiyonel emniyet gereksinimleri, sistem, alt sistem veya ekipmanın yürütmesi gereken emniyetle ilgili gerçek fonksiyonlardır. Emniyet bütünlüğü gereksinimleri, emniyetle ilgili her fonksiyon için gereken emniyet bütünlüğü düzeyini tanımlar.

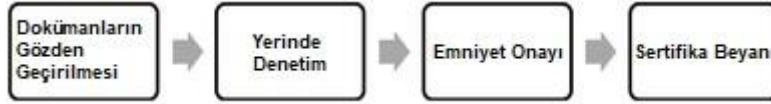
### 3.2.3. Emniyet Kontrolü, Doğrulaması ve Onaylanması

Sistem yaşam döngüsünün uygun bir aşamasında, emniyet yönetimini ve ilgili standartların gereksinimlerine uygun olarak emniyet yönetim sürecini izlemek için emniyet denetimi yapılmalıdır.

Yaşam döngüsü için her fazın içeriğinin doğrulanmasında, önceki aşamada belirlenen emniyet gereksinimlerini karşılamalı ve sonunda sistem/alt sistem/ekipmanın başlangıçta ki emniyet gereksinimlerini karşıladığını teyit edilmelidir. Emniyet yetkililerinin görüşlerine göre, değerlendirme personeli emniyet yetkilileri tarafından yetkilendirilmeli, proje ekibinden tamamen bağımsız olmalı ve doğrudan emniyet yetkililerine rapor vermelidir. Ayrıca, emniyet kabul kriterlerini karşılayan bir sistem/alt sistem/ekipman için kanıtlar "Emniyet İspatı" olarak adlandırılan yapılandırılmış bir belgede listelenmelidir. Emniyet İspatının bağımsız emniyet değerlendirme kuruluşuna gönderilmesinden önce iç doğrulama ve onaylama faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir.

### 3.2.4. Emniyet Sertifikasyonu Süreci

Şekil 9'da açıklandığı gibi, emniyet sertifikasyonu süreçleri tam anlamıyla doğru ve hatasız bir şekilde yürütülmelidir. Bağımsız bir değerlendirme yapmadan önce, kullanıcı gereksinimleri ve ilgili standartlar hakkında bir kontrol listesi gereklidir. Bu kontrol listesi, bağımsız değerlendirme ve kanıtların sonuçlarını kaydetmek ve izlenebilirlik için değerlendirme dokümanlarını arşivlemek için sistematik bir yöntem sağlamaktadır.



Şekil 8. Bağımsız Sertifikasyon Süreci

#### (1) Dokümanların Gözden Geçirilmesi

Projenin başlangıcında, bağımsız emniyet değerlendirmesi (ISA) personeli proje planını, emniyet planını, kalite planını, konfigürasyon yönetim planını, test planını ve sistem gereksinimleri şartnamesini vb. gözden geçirmelidir. Daha sonra personel yazılı iyileştirme görüşlerini yayımlamalıdır.

Entegratörler ve alt yükleniciler, ilgili alt sistemlerin geliştirilmesini tamamladıktan sonra, ISA personeli her alt sistem için test planları ve test raporlarını, entegrasyon testleri ve sistem testlerinin test özelliklerini gözden geçirmeli ve daha sonra yazılı iyileştirme görüşlerini yayımlamalıdır.

Dokümanların gözden geçirilmesinden ve ISA incelemesinin geçmesinden sonra iyileştirme görüşleri yapılması mümkün değildir.

#### (2) Yerinde Denetim

EN50128, EN50129 ve diğer standartlara göre ISA personeli, sistem gereksinimleri ve sistem tasarımı aşamasında sistem entegratörleri ve çekirdek tedarikçilerin sistem güvencesinin, yazılım kalite güvencesinin ve yönetiminin vb. yönlerinin yerinde denetimi yaparak uygulama aşamasını ve sistem test aşamasını denetlemelidir. Personel daha sonra yazılı bir denetim raporu hazırlamalıdır. Sistem entegratörleri ve tedarikçiler, ISA personeli tarafından sunulan denetim görüşlerine cevap vermeli ve ilgili kanıtları sağlamalıdır. Bundan sonra, ISA personeli görüşlerini kapatabilir.

Denetim sürecinde mevcut olan sorunlar için, paydaşlar (ISA personeli, sistem entegratörleri ve tedarikçiler) sorunları çözmek ve güncel iletişimi sağlamak için haftalık emniyet toplantısı düzenlemelidir.

#### (3) Emniyet Onayı

Test, hata ayıklama ve operasyondan sonra sinyalizasyon sisteminin emniyetini sağlamak için özel bir izleme mekanizması altında, tek tren devreye alma, çoklu tren devreye alma, deneme operasyonu, operasyonlar gerçekleştirilmelidir. Sistem entegratörleri ve tedarikçileri ilgili tasarım dokümanlarını, test raporunu ve emniyet belgelerini sağlamalıdır. ISA, daha sonra emniyet değerlendirmesini, doküman incelemesi, yerinde denetim ve EN50128 ve EN50129'un gerekliliklerine göre test etme yoluyla gerçekleştirmelidir. Bundan sonra, ISA emniyet değerlendirme raporunu sunmalı ve emniyet sertifikasını yayımlamalıdır. Sertifika elde edildiğinde de, test, hata ayıklama, sistem çalışması vb. gerçekleştirilebilir. Metro projelerinin emniyet değerlendirmesinde ISA, ürün emniyeti sertifikasyonundan emin olmak için tedarikçiler tarafından sağlanan emniyet açısından kritik sistem ürünlerinin her birini kontrol etmelidir. CBTC sistemi için emniyet sertifikası süreci aşağıdaki gibidir:

##### (a) Ürün Tasarımı

Tasarım ekibinin tasarım ve geliştirme bölümüdür ve sistem tasarım süreci ve geliştirme sürecinin her aşamasında tamamlanan işler için ayrıntılı bir kayıt oluşturmalıdır. Kayıt, sistem ve alt sistem gereksinimleri belirtimi, sistem mimarisi belirtimi vb. içermelidir.

##### (b) Sistem Testi

Sistem, alt sistemler, bileşenler ve modüllerin uygulanması, CBTC sistem geliştirmesinin her aşamasında ilgili test spesifikasyonlarına göre test edilerek doğrulanmalıdır. Test sürecinde, mühendisler spesifikasyonlarda açıklanan test açıklamalarından faydalanarak, her bir fonksiyonu ve performansı tek tek test etmelidirler.

##### (c) Doğrulama ve Onaylama (V&V)

Bu faaliyet, proje ekibinden bağımsız olarak yapılmalı ve V&V personeli tarafından gerçekleştirilmelidir. Proje yaşam döngüsünün her aşamasında, V&V personeli her aşamada yapılan işin doğru olmasını sağlamalıdır ve her bir faz için bir doğrulama raporu oluşturmalıdır.

CBTC için emniyet sertifikası, test hattındaki sertifikaları, tek tren devreye alma, çoklu tren devreye alma, deneme operasyonu ve yolculu deneme operasyonu vb. tüm konularını kapsamaktadır. Sistemin tüm yaşam döngüsünün her aşamasında, emniyet ölçülmelidir. Kentsel demiryolu taşımacılığının uygulamasında emniyetli ve güvenilir bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak için her bir süreçte emniyet

denetimleri ve değerlendirmeleri gerçekleştirmek üzere bağımsız bir üçüncü taraf değerlendirme ekibi görevlendirilmelidir.

### 3.2.4.1. CBTC Sistemleri İçin Bağımsız Emniyet Değerlendiricisinin (ISA) Faaliyetleri

Bağımsız Emniyet Değerlendiricisi aşağıda ki temel faaliyetleri ve prensipleri, gerekli teknik kurallara uygun şekilde proje içerisinde uygulamalıdır:

- İlgili yaşam döngüsü aşamalarında Emniyet Otoritesi, Operatör ve Tedarikçi ile irtibat
- Bir değerlendirme planının hazırlanması
- Tedarikçilerin kalite ve emniyet yönetimi organizasyonu/süreçlerinin denetimleri/görüşmeleri
- Emniyet planları, emniyet konsepti, tehlike ve risk dokümantasyonu, tasarım ve test spesifikasyonları ile gereksinimler, test raporları gibi dokümanların, emniyet ispatının bütünlüğü, gerçekliliği, belirsiz olmaması, anlaşılabilirliği ve tutarlılığı için gözden geçirilmesi
- Farklı aşamalarda, fabrika ve saha muayenelerinde, işletmeye alma testlerinde, deneme sürüş testlerinde şahitlik / saha denetimi
- Emniyet ispatı dokümantasyonunun değerlendirilmesi
- Çapraz kabulün mümkün olduğu ölçüde kullanılması
- Değerlendirme raporlarının ve sertifikasının hazırlanması
- Etkileşimli, çözüm odaklı iletişim
- Projenin yararına alınan öneriler

ISA'nın değerlendirme faaliyetleri aşağıda detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır;

#### (a) “Operatörün Sistem Kriterlerinin Değerlendirilmesi” kapsamında listelenen faaliyetler değerlendirilir;

- Genel emniyet hedefi ve kabul kriterleri
- Ön tehlike ve risk analizi
- Genel sistem emniyet gereksinimleri

#### (b) “Tedarikçi Kalite Yönetim Sisteminin Değerlendirilmesi” kapsamında listelenen faaliyetler değerlendirilir;

- Kalite planı, kalite politikası, kalite prosedürleri
- Kalite yönetim organizasyonu, sorumluluk, yetki ve iletişim
- Uygulanan kurallar ve standartlar
- Tasarım ve geliştirme, konfigürasyon yönetimi,
- Gereksinim uygulaması ve izlenebilirlik, ara yüz yönetimi kontrolü
- Üretim, tanımlama ve izlenebilirliğin kontrolü
- İzleme ve ölçüm cihazları
- Uygun olmayan ürünün kontrolü
- Yetkinlik ve eğitim
- Servis ve bakım gereksinimleri
- Düzeltici ve önleyici eylemler
- İç ve dış denetimler

#### (c) “Tedarikçi Emniyet Yönetim Sisteminin Değerlendirilmesi” kapsamında listelenen faaliyetler değerlendirilir;

- Emniyet yönetimi organizasyonu
- Doğrulama ve onaylama faaliyetleri organizasyonu
- Emniyet bütünlüğü seviyesi için bağımsızlık

#### (d) “Tedarikçi Emniyet Süreci Uygulamasının Değerlendirilmesi” kapsamında listelenen faaliyetler değerlendirilir;

- Emniyet planı
- Emniyet prosedürleri
- Emniyet analiz araçları
- Emniyet gereksinimleri spesifikasyon süreci
- Emniyet gereksinimleri izlenebilirlik süreci

- Test planları ve spesifikasyonları
- Test ekipmanı ve araçları
- Test spesifikasyonları ve raporları
- Doğrulama ve onaylama planı
- Doğrulama ve onaylama süreci
- Doğrulama ve onaylama raporları
- Emniyet ispatı planı, emniyet ispatı
- Tedarikçinin tehlike ve risk analizlerinde ki organizasyon kapasitesi
- Tehlikelerin ve ilgili risk analizlerinin belirlenmesi, tehlike kaydı
- Emniyet gereksinimlerinin ve emniyet bütünlüğü seviyelerinin belirlenmesi
- Tasarım aşamasında tehlikelerin azaltılması önlemlerinin belirlenmesi ve doğru uygulanması
- Sistem doğrulama / sistem testleri ve tehlike kapatma

#### (e) Fonksiyonel ve Teknik Emniyetin Değerlendirilmesi

- Ön tehlike analizi, risk analizi, tehlike günlüğü
- Emniyet mimarisi, emniyet bütünlük seviyelerinin ataması
- Teknik dokümantasyon, analizler
- Emniyetle ilgili ve emniyetle ilgili olmayan fonksiyonların ayrılması
- Sistem ve alt sistem analizi ve düzeltme
- Gereksinim özellikleri ve izlenebilirlik
- Test spesifikasyonları, test planları ve test raporları, kabul kriterleri
- Emniyet ispatı

## 4. Sonuç

CBTC Sistemi, CENELEC EN 50128 standardına göre, emniyet bütünlüğü seviyesi 4'e (SIL4) sahip olmalıdır. Bu yüzden, uluslararası emniyet standartlarına göre CBTC sistemi için emniyet yönetimi ve sistem entegrasyon yönteminin uygulanması gerekmektedir. Bu makale, ülkemizde geliştirilmesi muhtemel CBTC sistemleri ve ülkemizde yeni yaygınlaşan emniyet kavramına ışık tutmak amacıyla CBTC Sistemini, emniyet yönetimi, süreçleri ve değerlendirmesi hakkında bilgi vermektedir.

## 5. Kaynakça

- [1] <http://www.railsystem.net/communications-based-train-control-cbtc/>
- [2] T. J. Ludikar, "Urban Rail Signalling For The Future, Now"
- [3] João Batista Camargo, Jr. Jorge Rady de Almeida, Jr. Paulo Sérgio Cugnasca, "Risk Analysis of a CBTC Signaling System"
- [4] Fei Yan, Chunhai Gao ,Tao Tang, Yao Zhou, "A Safety Management and Signaling System Integration Method for Communication-Based Train Control System"
- [5] [http://www.modsafe.eu/fileadmin/documents/deliverables/DEL\\_7.4\\_BME\\_WP7\\_120827\\_V1.0.pdf](http://www.modsafe.eu/fileadmin/documents/deliverables/DEL_7.4_BME_WP7_120827_V1.0.pdf)
- [6] IEEE 1474.1-2004 - IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements
- [7] MODSafe WP1 – D1.2 Final Report - State of the art on Safety Responsibilities and Certification

# PRODUCTION OF MO-NI STEEL BY POWDER METALLURGY WHICH IS USED AS COUPLING MATERIAL

Mehmet Akif ERDEN

Karabük University, Technical Science Vocational School of The Union of Chambers and Commodity Exchanges of Turkey, Karabuk, Turkey, makiferden@karabuk.edu.tr

## Abstract

In this work, the effect of Mo and Ni (3 wt.) on the microstructures and tensile behaviors of powder metallurgy (PM) steels were investigated. Comparing in terms of mechanical properties, C ratios in Mo-Ni PM steels are kept constant and the effects of Mo and Ni are examined. Before the mixing process, the powders were prepared by weighing on a digital precision scale of 0.0001 g precision. The mixing process was conducted without ball using a Turbula T2F mixer for 1 hour. Having mixed homogeneously, the powders were pressed with cold under 700 MPa unidirectionally with a Hidroliksan press of 96 ton pressure capacity according to ASTM (E8M) standards of powder metal material tension test sample. The pressed samples were sintered at 1400 °C for 1 hour in argon atmosphere. Tensile test was made at 0.5 mm/min crosshead speed with Shimadzu tensile device that has 50 KN capacity. The tensile strength and elongation % of the tensile test samples were determined. After sintering, density (%) were measured. Microstructure examinations were carried out with Nikon Epiphot 200 brand optical microscope. Density of the samples was measured with the density measurement tool according to Archimedes principle. It is clear that the mechanical properties of 3 wt. % Mo and Ni added PM steel is better than that of 0 and 3 wt. % Mo added PM steels.

**Keywords:** Powder metallurgy; Mo-Ni Steels; Microstructure; Mechanical properties

## 1. Introduction

Couplings are the intermediate connection elements of shafts rotating on the same axis which are used to transfer the rotary motion of the driver shaft to the driven one. They are important elements of transferring the movement among the machines. Couplings protect the mechanism by reducing the vibrations. In case of overload conditions, they are the first to break down protecting the other important and expensive components from the possible damage. Coupling materials are also important engineering materials. After the world war two, steel is increasingly used and needed in many sectors like railway systems, automotive and marine industry. Unit cost of production and operation has been reduced by developing thinner and lighter steels, improving the strength/weight ratio [1-2].

The mechanical properties of the steels vary considerably depending on the alloying elements in the chemical composition, their construction, the grain sizes and the heat treatments applied [3-4]. Alloying elements in products affect mechanical properties. [2]. The main alloying elements of steels are carbon and carbide forming elements like Cr, Mo and Al [5-6]. Molybdenum prevents the grain growth and increases the strength of steels when it presents in solid solution or as precipitate particles. Junhua et al. [7] investigated the effect the Mo content on the microstructure and mechanical properties of pipeline steel. It was concluded that, the amount of Mo content increased, which resulted in an increment in yield and tensile strength. While chromium is a strong carbide former element, it is cheap, common and, it increases corrosion resistance, especially to intercrystalline corrosion. It increases hardenability and improves high temperature strength [8].

Nickel austenite is a stabilizer and widens the austenite region and contracts the ferrite region in iron steel carbon alloys. Nickel improves the resistance against the corrosion and oxidation at elevated temperatures. Nickel improves the toughness and strength by refining the grain size. It also prevents scale forming on the material surface. When used with chromium, it improves the hardness, ductility, fatigue resistance and critical cooling rate. Some studies suggest that Ni addition increases the amount of perlite. For example, Kalathur and Frederick reports that when Ni amount in Fe-C-Ni alloys increases, the carbon amount in the perlite decreases and perlite amount increases and ferrite amount

decreases in the microstructure. Therefore, they observed that the strength of the material increases as the ductility decreases [9-10]. Nickel element has a less diffusion coefficient compared to many elements and diffuses into iron more slowly [11].

Powder metallurgy (PM) is defined in various sources as an economic and advantageous production method for hard-to-produce components (small, functional, incompatible, composite structures etc.) with high strength, minimum tolerance, low wastage. Shortly, powder metallurgy technology converts powders into usable engineering materials through some processes. Recently, some sort of automotive components are completely produced by powder metallurgy. [12]. Powder metallurgy has become a unique production method recently for its homogenous distribution, controllable content, high quality results and low cost. Besides, it is possible to control the size and forms of the produced steels and to determine the exact dissolution and formation temperatures with powder metallurgy method. Determining the best sintering environment provides the formation of required ferrite and perlite in the steel easily.

Nuclear power plants, aircraft parts, automotive components, armor-piercing materials, electrical connection components, orthopedic materials, high temperature filters, jet engines, clock parts, high power lightening are some of the areas that parts produced by powder metallurgy are used. PM method is preferred for its economy, manufacturability, homogeneity and quality as well as high performance and low cost of the produced parts [13].

A great proportion of the alloyed steels are produced as flat and tube products and in the recent years, the production of alloyed steels for forge purposes has gained speed. Moreover, the production of alloyed steel is carried out with the powder metallurgy method although it is not in the desired level in our day [14-16]. Certain studies are available in the literature about the relationship between the production of PM steel and microstructure mechanical properties. For instance, Gündüz at al. Produced Nb-Al microalloyed steel with PM method. They carried out the sintering process at 1350 °C for 60 minutes and confirmed that yield strength and tensile strength increased as the amount of microalloying elements increased from 0.1 % to 0.2 %. They concluded that this is due to the formation of precipitates like NbC(N) and AlN during the sintering or cooling after sintering [17].

In the present study, PM steel has been produced in the targeted compound by adding different proportions of Mo and Ni into the Fe matrix with the powder metallurgy method and the output microstructural and mechanical features have been compared.

## 2. Experimental method

This study involves the production of steel samples by powder metallurgy at the desired compositions. In the study, we examined the effect of the different amounts of Mo and Ni on the microstructural and mechanical properties. Unalloyed, Mo added and Mo-Ni added steels were produced by mixing the powders at the chemical compositions shown in Table 1. The samples were subject to tensile test. Before the comparison, the powders were prepared at the compositions given in Table 1 using a digital precision scale with 0.0001 precision. Following the weighing, the powders were mixed for an hour without a ball mill by using a Turbula mixer that works on three-dimensional motion principle.

Table 1. Chemical compositions of powder metal steels.

Alloy	Graphite (wt. %)	Mo (wt. %)	Ni (wt. %)	Fe (wt. %)
Alloy 1	0,55	-	-	Rest
Alloy 2	0,55	3	-	Rest
Alloy 3	0,55	3	3	Rest

To form the tensile specimens, the powder mixes were pressed using a unidirectional 100-ton hydraulic press by applying 700 MPa pressing pressure. Standard cross section of tensile test specimens were carried out according to the ASTM E8/E8M as shown in Figure 1.

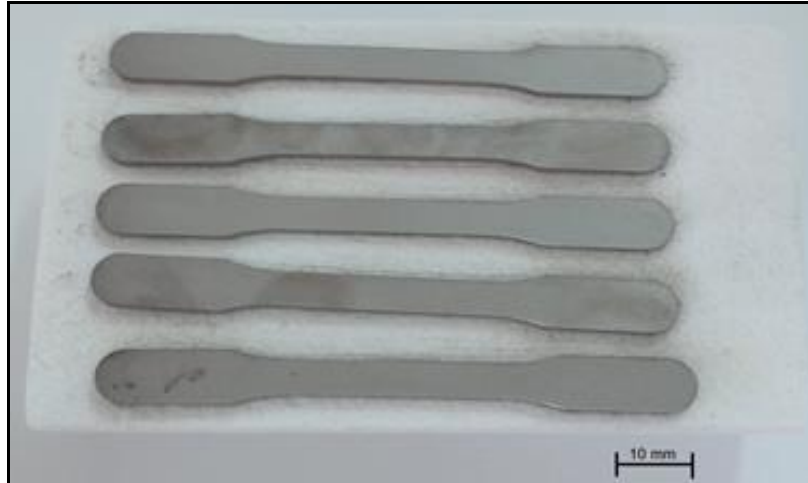


Figure 1. General view of tensile specimens before sintering.

In this study, PM steels were produced at three different compositions at a sintering temperature of 1400°C in Argon atmosphere. The sintered tensile specimens were pulled off at a tensile rate of 0,5 mm/min and stress/strain diagrams were prepared at the end of each test. By using these diagrams, tensile strength and percent elongation of the samples were calculated to determine the differences arising between the mechanical properties due to the changes in the alloy concentrations. The density of the samples was measured by Archimedes principle using distilled water [ASTM B328-96, 2004]. The examination of microstructure was carried out using optic microscope. The microstructures were examined in a Nikon ECLIPSE L150 type microscope with magnification of 50 x to 1000 x.

### 3. Results And Discussions

Figure 2 shows the stress-strain diagrams of the sintered samples while Table 2 gives the tensile stress and % elongation values. Comparing the Figure 3 and Table 2 in terms of mechanical properties, C ratios in Alloy 2 and 3 are kept constant and the effects of Mo and Ni are examined. It is clear that the mechanical properties of Alloy 3 is better than that of Alloy 1. For example, max. tensile stress and elongation % of Alloy 1 is 313 MPa and 12 %, max. tensile stress and elongation % of Alloy 2 is 512 MPa and 8 % and max. tensile stress and elongation % of Alloy 3 is 704 MPa and %9. It is clear that the mechanical properties of Alloy 3 samples is better than that of Alloy 1 and Alloy 2 samples (figure 1).



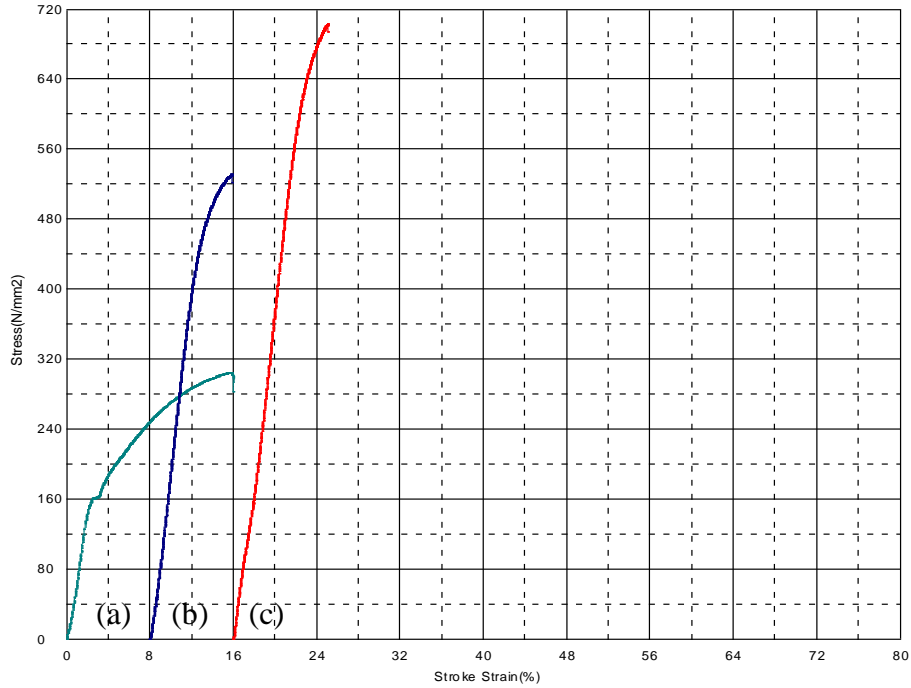


Figure 2. Variation of stress strain curves of the PM steels (a) Alloy 1, (b) Alloy 2 and (c) Alloy 3.

Table 2. Mechanical properties of sintered PM steels.

Alloy	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Alloy 2	313	12
Alloy 3	532	8
Alloy 1	704	9

Mo and Ni elements form precipitates during the sintering process and later which improves the tensile strength through strength improving mechanisms like precipitation hardening and grain size refinement. Similar studies also support these results. [7-11]. Ultrahigh strength with sufficient ductility and low yield ratio are obtained in Alloy 3 steels. The values of UTS increase remarkably after adding Mo and Ni due to grain refinement and predominantly attributed to the grain boundary strengthening and formation of microstructure. The microstructural images of the samples are demonstrated in the Figure 3. Mo and Ni elements promote the formation of hard phases such as pearlite, bainite and martensite. As can be seen from the figure, the microstructure of Alloy 1 is mainly ferritic-pearlitic, Alloy 2 samples are mainly ferritic-pearlitic and grain size refinement in structure. whereas Alloy 3 samples are mainly bainitic- pearlitic in structure.

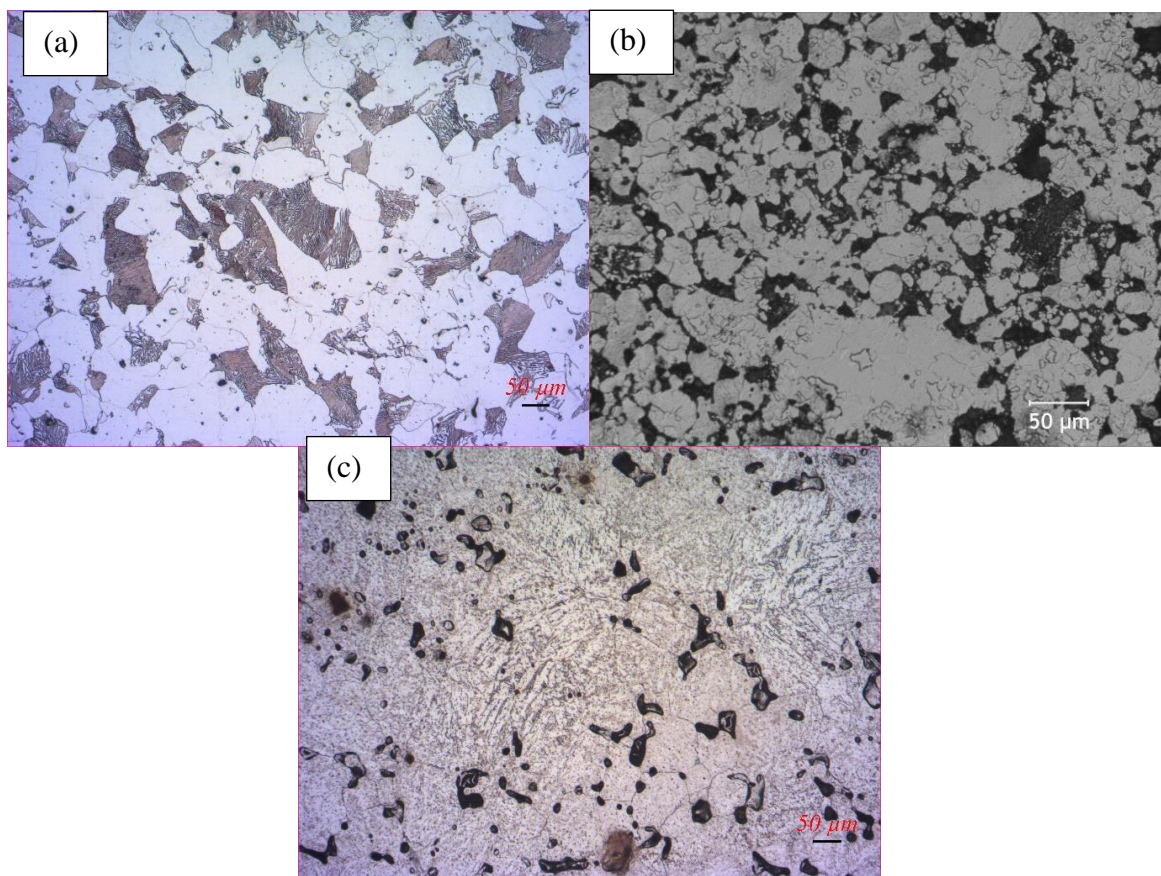


Figure 3. Micrographs of the PM steels (500x): (a) Alloy 1, (b) Alloy 2 and (c) Alloy 3.

It is thought that this precipitate was formed as MoC(N). Comparing the EDS point analysis results in that of previous literature, it is evident that precipitates like CrC(N), AlN, VC(N), MoC(N) and NbC exist in alloyed PM steels. Erden et al., produced Ti microalloyed steel with PM method. They sintered the steel at 1150 °C for 60 minutes and observed that yield and tensile strength show an increase when the amount of Ti (0.1-0.2%) rises. They concluded that this is due to the precipitation of TiC(N) which prevented grain growth during sintering. As a result of this, the strength of the steels improves. The other work that was carried out by different authors indicated that the carbides and nitrides which occur in the alloy steels lead to an increase in the strength [16]. In these works, it was pointed out that strength increments due to solid solution hardening is less compared to the precipitation hardening [15-17].

#### 4. Conclusion

Different Mo and Ni added PM steels were produced by cold pressing and sintering at 1400 °C in argon atmosphere. Below are some conclusions from this study. Results indicated that PM steels with 3 % wt. Ni-3 % wt. Mo showed the highest values in ultimate tensile strength (UTS). Ni and Mo elements promote the formation of hard phases such as pearlite, and bainite and so solid solution hardening and precipitation hardening which arise during the sintering process or cooling after sintering increase the strength of the steels. PM steels have an overall density of 93% after sintering.

#### 5. Acknowledgment

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Karabük University (Karabük, Turkey). Project Number: KBÜ -BAP-18YL-017.

## 6. References

- [1] Erden M.A., The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels, *Metals*, 7, 329-345, 2017.
- [2] Ahlatcı H., Görkem Y., Harun Ç., Engin Ç., Süleyman Y., Yavuz S., Corrosion and Wear Behaviour of Boronized highCarbon and Chromium Cast Steel, *ISIJ International*, 53(5), 887–893, 2013.
- [3] Çuğ H. and Ahlatcı H., Effect of Zn and Mn Additions on the Wear Resistance of Cast Alloy Mg 5 Al 1 Si, *Metal Science and Heat Treatment*, 59(3-4), 161–167, 2017.
- [4] Erer A. M., Effect of Melting Temperature on Wettability of Sn Ag Cu Alloys on Cu Substrate, *Journal of Polytechnic*, 21, 587–589, 2018.
- [5] Demirtas H. and Gungor A., Improvement of mechanical properties of NiAl-Cr(Mo) alloy by Ti addition, *OAM-RC*, 9(7-8), 981-985, 2015.
- [6] Li W., Xu L., Qiao L., Li J., Effect of free Cr content on corrosion behavior of 3Cr steels in a CO<sub>2</sub> environment, *Applied Surface Science*, 42, 32-45, 2017.
- [7] Junhua K., Lin Z., Bin G., Pinghe L., Aihua W., Changsheng X., Influence of Mo content on microstructure and mechanical properties of high strength pipeline steel, *Materials and Design*, 25, 723–728, 2004.
- [8] Fadel A., Glisic D., Radovicy N., Drobnjak D., Influence of Cr, Mn and Mo Addition on Structure and Properties of V Microalloyed Medium Carbon Steels, *J. Mater. Sci. Technol.*, 28(11), 1053-1058, 2012.
- [9] Kalathur S. N. and Frederick J. S., Sintering of powder premixes – a brief verview, Hoeganaes Corporation, 1001 Taylors lane, Cinnaminson, NJ 08077, Paper No. 2007-01-0145.
- [10] Aşkun Y., Hasırcı H., Şeker U., Evaluation of machinability of ductile irons alloyed with Ni and Cu in terms of cutting forces and surface quality, Pamukkale University Engineering College Journal of Engineering Sciences, 9(1), 191-199, 2003.
- [11] Tracey, V. A., Nickel Sintered Steels: Development, Status and Prospects”, *Advances in Powder Metallurgy&Particulate Materials*, 5, 303-314, San Francisco, California, USA, 1992.
- [12] Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H. Türkmen M. Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method, *Mechanics*, 23(4), 574-580, 2017.
- [13] Rahimian M., Parvin N., Ehsani N., The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites, *Materials and Design*, 32, 1031-1038, 2011.
- [14] Okumuş, S. and Karabulut H. Effect of quench and strain aging on the mechanical properties of low carbon microalloyed steels” *Materials Testing*, 57, 289-295, 2015.
- [15] Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M. and Karabulut H., Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels, *Materials Science and Engineering A*, 616, 201-206, 2014.
- [16] Erden M. A., Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method. *European Journal of Science and Technology*, 5(9), 44-47, 2016.
- [17] Gündüz S., Erden M. A., Karabulut H., Türkmen M., Effect Of The Addition Of Niobium And Aluminium Onthe Microstructures And Mechanical Properties Of microalloyed PM Steels. *Materiali in Tehnologije*, 50(5), 641-648, 2016.

# VAGONLARDA KULLANILAN SADE KARBONLU ÇELİĞE SİNERLEME SICAKLIĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Akif Erden  
Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, makiferden@karabuk.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe matris içerisine % ağırlık olarak 0,4 grafit elementinin katılmasıyla istenilen bileşimde alaşımsız çelik malzeme toz karışım olarak elde edilmiştir. Elde edilen tozlar çekme numunesi şeklinde tasarlanan kalıplarda 700 MPa presleme basıncında sıkıştırılarak 1200°C, 1300°C ve 1400°C'de argon atmosferinde 1saat sinterlenerek çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen çeliklerinin tane boyutu ve fazların dağılımı optik mikroskop ile belirlenmiştir. Mikroyapı analizinden sonra çekme numunesi boyutlarında hazırlanan çelik numunelere çekme testi uygulanmıştır. Numunelerin % uzama, akma-çekme dayanımları sinterleme süresine bağlı olarak açıklanmıştır. Sonuç olarak, 1300°C'de argon atmosferinde sinterlenen çelik numuneler en yüksek akma ve çekme dayanımı sergilemiştir.

**Anahtar kelimeler:** Toz metalürjisi, Alaşımsız çelikler, Sinterleme sıcaklığı, Mekanik özellikler.

## Abstract

In this study, a mixture of unalloyed steel material in the desired composition via powder metallurgy method is obtained by adding 0.4% by weight of graphite element in Fe matrix. The obtained powders were squeezed at pressures of 700 MPa at 1200°C, 1300°C and 1400°C sintering temperature in 1 hour in the molds designed as tensile specimens. The particle size of the produced steels and the distribution of the phases were determined by optical microscope. After microstructure analysis, tensile test was applied to steel samples prepared in tensile specimen dimensions. The elongation, yield-tensile strength of the samples are explained depending on the sintering temperature. As a result, steel samples sintered at 1300 °C in an argon atmosphere exhibited the highest yield and tensile strength.

**Keywords:** Powder metallurgy; Nonalloyed Steels; sintering temperature; Mechanical properties.

## 1. Giriş

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğine sahip yöntemdir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisi ile üretimi daha yaygın hale getirmektedir. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının önce preslenmesi ve daha sonra taneciklerin sinterleme yoluyla birleştirilerek sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülmesidir [1-2].

Çelikler ise mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde büyük bir öneme sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra her geçen gün raylı sistemler, otomotiv ve denizcilik sektörü gibi birçok sektörde çelik gereksinimi artış göstermektedir. Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif çeliklerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır [2-3].

Literatürde TM çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur [3-7]. Örneğin Erden vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Ti mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1150°C'de 60 dakika argon ve argon ortamında bekleterek gerçekleştirmiş olup Ti oranı (% 0,1-0,2) yükseldikçe akma ve çekme dayanımında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumu sinterleme sırasında ve sinterleme sonrası soğuma sırasında TiC(N) gibi çöktellerin oluşmasına bağlamışlardır [5].

Bu çalışmada vagonlarda kullanılan alaşımsız çeliğe sinterleme sıcaklığının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Metot

Bu çalışmada, çelik numune TM yöntemiyle Çizelge 1'de verilen bileşimde üretilmiştir. Farklı sinterleme süresinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Tozlar çizelge 1'de verilen oranlarda 0,0001 g. hassasiyetle çalışan Radwag marka hassas terazide tartılmıştır. Tozların karıştırma işlemi 3 eksenli hareket eden Turbula marka karıştırma cihazıyla bilyesiz olarak 1 saat süreyle yapılmıştır. Homojen olarak karıştırılan tozların soğuk preslenmesi işlemi ise 96 ton kapasiteli Hidroliksan marka hidrolik presle 700 Mpa presleme basıncında tek yönlü olarak yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri ASTM 8M Toz Metal çekme numunesi standartlarına uygun kalıpta sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir.

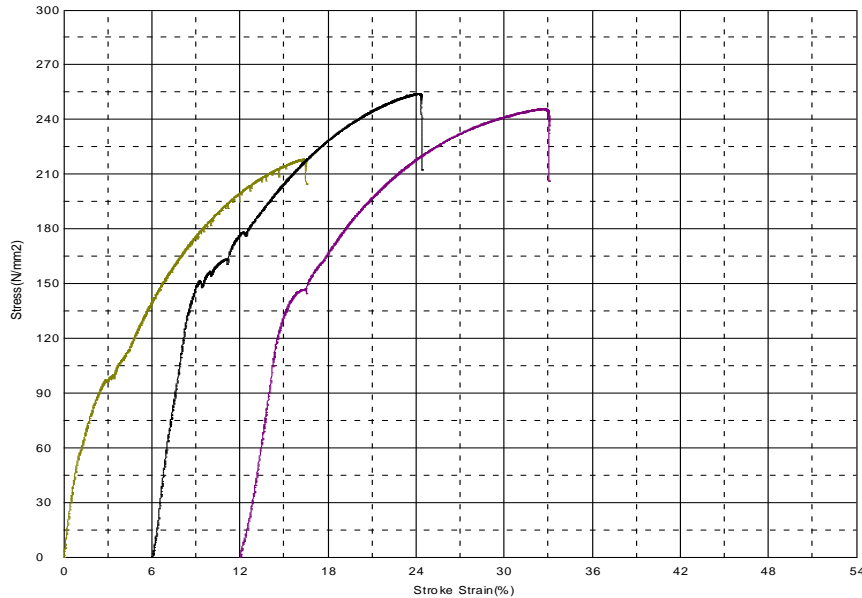
Çizelge 1. TM yöntemiyle üretilen çeliklerin kimyasal kompozisyonları.

Bileşen	Grafit (%ağ.)	Bakır (%ağ.)	Demir (%ağ.)
Alaşım	0,45	-	Geri Kalanı

Preslenen numuneler atmosfer kontrollü sinter fırınında argon ortamında 1200°C, 1300°C ve 1400°C'de sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Çekme testi 50 KN kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazında 1 mm/dk. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme sonucu kopan numunelerin akma dayanımı (% 0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri Radwag marka hassas terazinin yoğunluk kitinde yapılmıştır. Sinterlenen numunelere geleneksel yöntemler uygulanarak (zımparalama, parlatma ve dağlama) metalografik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot marka optik mikroskop altında incelenmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 2, TM yöntemiyle üretilen alaşımsız çelik numunelerin gerilme-% uzama diyagramlarını gösterirken, Çizelge 2 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir.



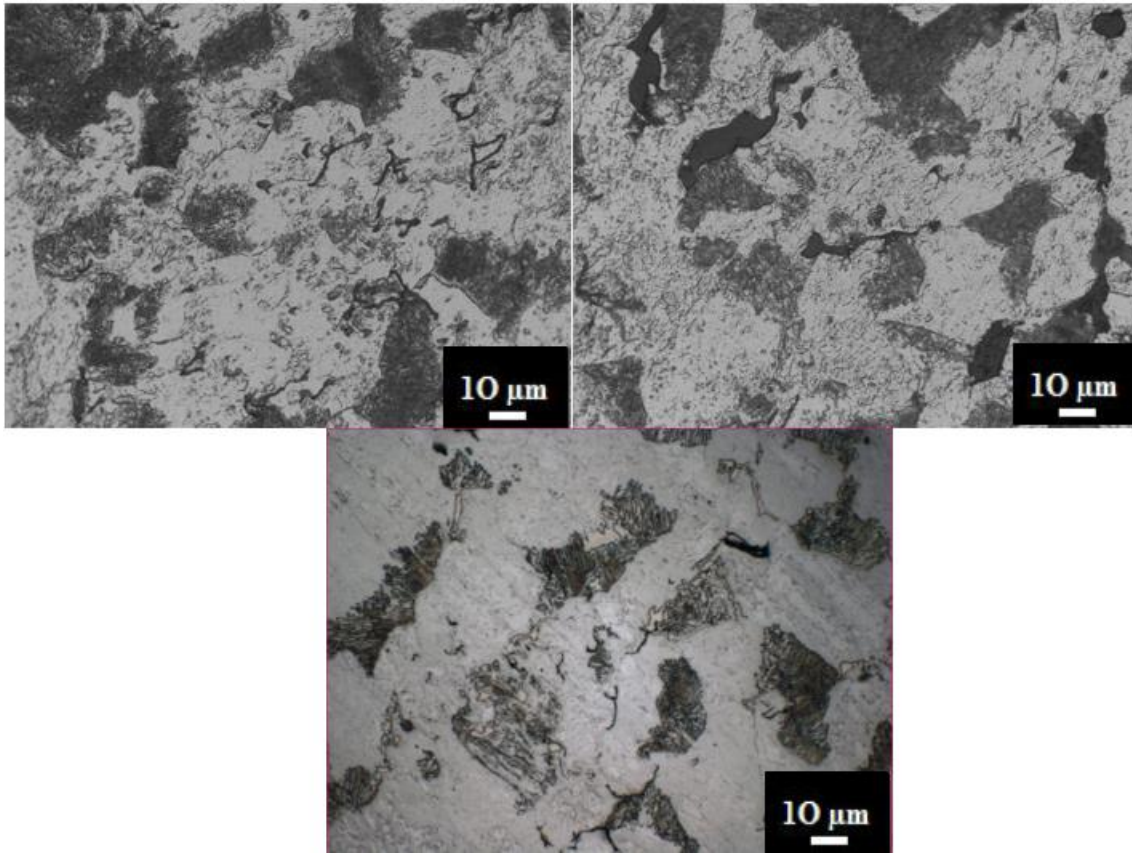
Şekil 2. TM çelik numunelerin çekme % uzama grafiği.

Çizelge 2. TM çelik numunelerin mekanik özellikleri

Sinter Süresi	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
1200 °C	99	219	16
1300 °C	151	255	19
1400 °C	145	247	21

Çizelge 3. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin yoğunluk, gözeneklilik, perlit miktarı ve tane boyutu miktarları.

Sinter Sıcaklığı	S. sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Miktarı (%)	Perlit miktarı (%)	Ortalama Tane Boyutu (µm)
1200 °C	92.4	7,6	21.3	29,6
1300 °C	92.9	7,4	22	33,1
1400 °C	94.2	5,8	22.5	36,9



Şekil 3. TM çelik numunelerin mikroyapı görüntüsü(1000X) a)1300 °C, b) 1300 °C, c) 1400 °C

Alaşımız çelik sinterleme sıcaklığı açısından karşılaştırıldığında; sinterleme sıcaklığı arttıkça malzemelerin % uzama değerlerinde artış gözlenmiştir. Bunun sebebi sinterleme sıcaklığı artışının çeliğin sinter sonrası yoğunluğunu artırması ve ortalama tane boyutunda artış olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim 1200 °C'de sinterleme sonrası alaşımız çeliğin yoğunluğu % yoğunluğu % 92,4 iken 1300 °C'de ve 1400 °C'de sinterlemesiyle sırasıyla yaklaşık % 92,9 ve % 94,2 olmuştur. Yoğunluğun artması ve gözenek miktarındaki azalma şekillenebilirliği olumlu yönde etkilemiştir. Dayanım yönünden kıyaslandığında 1300 °C'de sinterlenen numunelerin dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak yoğunluğun artışının yanısıra oluşan perlit ve ferrit fazlarının daha kararlı oluşmasını sağlaması olarak düşünülmektedir. Ayrıca 1400 °C'de sinterlenen numunenin akma ve çekme dayanımının düşük çıkmasının nedeni olarak aşırı sinterleme sonucunda tane büyümesi meydana gelmesi olarak düşünülebilir. Nitekim 1200 °C'de sinterlenen numunenin ortalama tane boyutu 26,9 µm iken 1400 °C'de numunenin ortalama tane boyutu 36,9 µm olarak çıkmıştır. Tane boyutunun artması akma ve çekme dayanımını düşürmüştür. Literatürde benzer çalışmalar

mevcuttur. Nitekim Erden yaptığı çalışmada Nb-V mikroalaşım çeliğine sinterleme sıcaklığının etkisini araştırmış ve sinterleme sıcaklığının artması üretilen aynı kompozisyondaki numunelerin tane boyutunu artırdığını tespit etmiştir [1].

#### 4. Genel Sonuçlar

Alaşım çelik numuneler toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Sinterleme sıcaklığı 1300°C'de 1 saat olan numunelerin mekanik özellikleri daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜ -BAP-18YL-017.

#### Kaynaklar

- [1] Erden M.A., The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels, *Metals*, 7, 329-345, 2017.
- [2] Ahlatcı H., Görkem Y., Harun Ç., Engin Ç., Süleyman Y., Yavuz S., Corrosion and Wear Behaviour of Boronized highCarbon and Chromium Cast Steel, *ISIJ International*, 53(5), 887–893, 2013.
- [3] Aşkun Y., Hasırcı H., Şeker U., Evaluation of machinability of ductile irons alloyed with Ni and Cu in terms of cutting forces and surface quality, *Pamukkale University Engineering College Journal of Engineering Sciences*, 9(1), 191-199, 2003.
- [4] Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H. Türkmen M. Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method, *Mechanics*, 23(4), 574-580, 2017.
- [5] Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M. and Karabulut H., Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels, *Materials Science and Engineering A*, 616, 201-206, 2014.
- [6] Erden M. A., Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method. *European Journal of Science and Technology*, 5(9), 44-47, 2016.
- [7] Gündüz S., Erden M. A., Karabulut H., Türkmen M., Effect Of The Addition Of Niobium And Aluminium Onthe Microstructures And Mechanical Properties Of microalloyed PM Steels. *Materiali in Tehnologije*, 50(5), 641-648, 2016.

# Libyan Railway: A Gateway to Europe

Eng. Mohamed Ahmed Ahssi,

Faculty of Engineering, Karabuk university, Turkey, e-mail: ahssimohamed@yahoo.com

## Abstract

The paper is designed to present that how a new era in Libyan Rail- a gateway to Europe has begun by the decision to implement the first two sections of a planned 3170 km railway to achieve the targeted goals of carrying out the railway project in Libya.

The objective is to demonstrate that how Libyan dreams to revitalize African economy is being realized by this ambitious project that will plug the missing link in North Africa's rail network and could one day provide rail connections to African landlocked countries to the south of Libya. It shows that how an integrated rail transport for sustainable livelihood of Libyan with social economic and environmental benefits is able to provide a win-win situation both for Libya and its neighboring regions.

**Keywords:** Libyan Rail, Gateway, Europe, African Economy, Integrated Rail Transport

## 1. Introduction

Rail Transport is key to sustained success and economic development in an efficient, reliable and effective system. Rail travel is a crucial part of the Libyan transport system and with the increased demand for passenger travel and movement of freight to revitalize the African economy a cherished dream of Libya. It is potentially the most environmentally sustainable transport mode. Libya is determined to link Africa and Europe and has begun the first phase by bridging the North African gap: Libya is forging ahead with plans to build a line that will connect its eastern and western borders, filling an important gap in the North African rail network. This is in line with the policy initiated way back in April 2006 to alleviate the challenges; the African Transport Ministers responsible for railways came up with the Brazzaville Declaration. The Brazzaville Declaration is a clear demonstration of African Governments' commitment to support investment in railway infrastructure development, equipment and improvement in operations by providing a sustainable framework to address current challenges that are militating against railway performance. Libya considers this as continental consensus and ready to help provide solutions to current transport problems and challenges facing countries of the region and the railway industry at large so as to achieve sustainable solutions [1],[2].

As part of the global village, Libya's contribution will impact positively on Trans Sahara Rail (TSR) as an integral part of Single African rail system and the whole continent of Africa more so given that the challenges facing African Scientific Railway Association (ASRA) are similar to those identified under the Brazzaville Declaration. The Algiers Declaration which was as a result of the first Session of the African Union Conference of Ministers Responsible for Transport that



took place in Algiers in April 2008 reinforces the important role that railways play in economic development and the need to revive the sector.

The formation and functioning ASRA is part of the implementation of the Protocol on Transport, Communications and Meteorology and this being the case challenges facing ASRA organization are of concern to all. There are high expectations from the Integrated Committee of Ministers (ICM) on the need for ASRA to benchmark and enforce operational and technical rail service standards; coordinate, evaluate and strategize for regional railway operations; to promote a cost effective, regionally integrated and efficient seamless rail service in order to stimulate trade among TSR members and enhance competitiveness in international markets [3],[2].

The design and management of a fully integrated railway network requires the involvement and coordination of a wide variety of multi-disciplinary professional competence and skills. Libyan Railway Board is developing the knowledge, skill and ability to mobilize world class project teams capable of taking peoples' aspirations and delivering a quality product no matter how large or small the challenge might be.

Libyan Rail Authority is working on a number of rail station developments all over Libya and our building design business has acquired and developed an unrivalled expertise in property development adjacent railway infrastructure and Bridge Stations. We are working closely "Access for All" programs and with Trains increasing car parking at key station locations. Networking is being provided to a number of developer and industrial clients in investigating the feasibility and in progressing schemes for rail freight terminals.

Libyan Railway Board broad multidisciplinary skills would help enable profession to provide a wide range of specialist engineering skills to this sector. We are learning from best practices from major projects in the UK, Europe and in Asia to ensure and offer a diverse set of services from power supply engineering, bridge and structural engineering, tunneling, ground investigation and environmental management services. We are also conscious of need to offer asset inspection and management, infrastructure drainage and flood control, level crossings management and advisory services, passenger information systems, security and CCTV and remediation services. [1],[4].

Libyan railway authority is determined to add value to rail property assets through development planning and engineering for railway land and facilities. It is active in all aspects of the rail sector including multi-modal interchanges, freight transport planning and light rail.

Those impacted by human trafficking may call it as A Gateway to Hell, We in Libya dedicated to realize the Libyan dream to revitalize the economy of Africa consider it as a Gateway to Paradise. Libya based on the UNIDO and NEPAD experiences from APCI considers the PPP mode and recognizes it as one of the most promising and efficient models for rail infrastructure development. But how many organizations in North Africa know how effectively to plan a PPP project let alone one specifically for rail to maximize the benefits available and implement them? What are the issues unique to rail? What implementation issues are unique to North Africa? These issues are dealt in the main body of this paper.

## 2. An Appraisal of Railway in Libya

The overview of state of art shows that there have been no operational railways in Libya since 1965, but various lines existed in the past. From historical record let's present a photograph of Fiat Railmotor "Littorina" at Tripoli Railway Station.



History shows that nearly 400 km of railways was built in Libya with different rail gauge during the very early of the last century. The last line was the Tripoli-Benghazi in summer 1941, but in WWII the project stopped at the beginning. A 950 mm (3 ft 1+38 in) gauge network centered on Tripoli was opened from 17 March 1912 as part of the Italian occupation campaign. This extended from Tripoli 120 km west to Zuara, 100 km south to Garian and 10 km east to Tajura.

A 750 mm (2 ft 5+12 in) (later 950 mm) gauge railway was built east from Benghazi; the main route was 110 km long to Barce (now Al Mari) and was opened in stages between 1911 and 1927. Benghazi also had a 56 km branch to Soluch opened in 1926.

Military extensions of some 40 km were made from Barce towards Derna in World War II. This was the final line to close, at the end of 1965.

The standard gauge Western Desert Extension was built from a junction 10 km east of Matruh Egypt to Tobruk during WWII to assist in the Allied defense of the area. In 1942 this 350 km route was completed as part of Allied advance across North Africa. The 125 km Libyan section west of Sollum was removed after closure from 20 December 1946, though the Egyptian Railways Sollum branch still sees occasional freight.

documents and specifications of contracting. It also prepared a 10 billion dollars five years plan

major landmark project is considered as one of 1st of September achievements in Transportation. The Board has a crucial role in internal and external investment for the native and foreign companies that would create about (1000000) job opportunities for carrying out Emsaid -Ras Ejdeer line and (25000) job opportunities for operating [5],[6].

Railway Executive Board has helped in establishing African Scientific Railway Association (ASRA) to link Libya as a gateway between African continent and Europe. It is being achieved by building two tracks, running east to west and north to south. The first line will run along the Mediterranean coast, linking Libya's western border with Tunisia with its eastern border with Egypt. The second will run southwards through the Sahara desert, linking Libya with Chad and Niger. Railway Executive Board (REB) is committed to use Built Operation and Transfer (B.O.T) system to construct the African Railway line which will connect Libyan ports with the continent.

### **3. Current Railway Development Plans**

Libyan Railway Executive Board has an approved plan to build and operate an extensive system that is now being developed and under construction. There is a plan for an 3170 km 1,435 mm (4 ft 8+1/2 in) (standard gauge) network. A line parallel to the coast will eventually form part of a North African link between Tunisia and Egypt. The section from the border with Tunisia at Ras Ejder, then via Tripoli to Sirt is currently under construction and is planned to open in 2012. Google Earth reveals (2007-9) progress with the track bed. China Railway Construction Corporation has contracts to start work in June 2008 on a 352 km route between Sirt and Elkoms, to be finished by 2013. The east-west line will be double track. Google Earth 2009 images show renewed progress with the earthworks, including concrete bridges that have seen no attention since 2004

A second line will run 800 km from iron ore deposits at Wadi Shati near Sebha to the steel works and port at Misurata from 2012. A third line will run 554 km from Sirt to Benghazi in the East. In October 2007, Russian Railways submitted a feasibility study for the project, and in 2008 signed a contract to begin construction which will take 4 years to complete [7],[8].

A Trans-Saharan Rail (TSR) line of around 2050 km is also planned, running south to Niger. It has 550 km for Libya, 450 km for Chad and 1050 km for Niger. Libya rightly considers establishing viable rail links amongst the nations as a prerequisite for enhancing their bilateral trade. Indeed it is also part of a vaster "Grand Design" for African-wide transportation networks, which can contribute to the economic integration, and development of this great continent wherein Libya shall be a gateway for Africa to Europe.

#### **3.1 Rolling Stock**

Libyan Railway Executive Board on 10 June 2007 signed with American General Electric Co. a contract for supply of locomotives and training of Libyan nationals in operational and maintenance work. The contract includes the import of spare parts and technical assistance.

#### **3.2 Railway Development Timeline**

The progress being made is evident from the fact that during January 2009, China Railway Construction signed a contract to build 172 km from Tripoli to Ras Ejder. During 2008, in the month of November - GE signed an agreement to supply 15 diesel locomotives. On 30 August

2008, Russian Railways begins work on 554 km Sirt to Benghazi railway. This extends another project to build a 352 km line running from Sirt westwards via Misratah to Elkhoms.

During the same year (2008), China Railway Construction wins \$2.6b bids in Libya. A west-to- east coastal railway 352 km from Elkhoms to Sirt and a south-to-west railway 800 km long for iron ore transport from the southern city Sebha to Misurata.

During 2007, Google Earth (2007) progress with the trackbed along the coast between the Tunisian border at Ras Ejder and Sirt via Tripoli.

During 22 July 2009 Italian Finmeccanica signed a contract worth 541 million euro in Libya through its subsidiary Ansaldo STS for rail signaling, telecommunications and power supply systems for the coastal line from Ras Ajdir to Sirt and the inland line from Al-Hisha to Sabha. It will cover around 1,450 km of line in total.

### **3.3 Railway Links With Adjacent Countries**

1. Algeria - no - same 1,435 mm (4 ft 8+1/2 in) gauge.
2. Chad - no
3. Egypt - no - proposed - same 1,435 mm (4 ft 8+1/2 in) gauge.
4. Niger - no - proposed
5. Sudan - no - break-of-gauge 1,435 mm (4 ft 8+1/2 in)/1,067 mm (3 ft 6 in)
6. Tunisia - no - proposed - mostly same 1,435 mm (4 ft 8+1/2 in) gauge, but some 1,000 mm (3 ft 3+3/8 in) gauge would need to be converted to 1,435 mm (4 ft 8+1/2 in).

The earthworks for the new lines under construction can be seen on the aerial photographs as given below:

1. Castelverde, Libya
2. Fondugh el-Allus
3. Fondugh an-Naqqazah
4. Bani Hasan
5. Al Khums - coast
6. Al Jum'ah
7. Al Ghiran
8. Sirt - coast
9. Sebha - southeast inland
10. Misurata - port

## **4. Lessons Learnt From Other Networks in Africa**

African countries recognize the importance of trade facilitation and the gains that can be made from a more efficient flow of goods and services as well as improved international competitiveness when "transactions costs" fall as result of improved trade facilitation processes.

Indeed, throughout the involvement of African countries in trade negotiations within the WTO, African countries have not questioned the merits of improved mechanisms and processes for facilitating the flow of goods and services, but what they have been concerned with are the likely additional obligations and burdens that could arise from a "multilateral framework on trade facilitation". The importance African countries attach to trade facilitation has been reflected in numerous agreements at bilateral, sub-regional and regional levels as well as efforts made at the country level to facilitate the flow of goods and services. Such initiatives include sub-regional organizations such as the East African Community (EAC), the Common Market for Eastern and Southern Africa (COMESA), the Southern African Development Community (SADC), the Economic Community for Central African States (ECCAS), the Economic Community for Western African States (ECOWAS), and the continental organization, the African Union (AU), among many others.

Despite these notable efforts to integrate Africa's economic space and improve its international competitiveness, most of the trade facilitation initiatives have yielded limited results. Transactions costs in many African countries remain high, as evidenced by high transport and communications costs; high charges and delays at numerous roadblocks; long customs and administrative delays at ports and border posts; and inefficient international payments systems. Furthermore, non-compliance by some countries to agreed agreements on trade facilitation, poor program implementation, lack of coordination among and between countries, lack of coordination among relevant agencies within countries, inadequate skilled manpower and lack of a multi-sectoral approach to trade facilitation, have also contributed to the less than satisfactory outcomes on trade facilitation initiatives in Africa.

The transactions costs in Africa remain extremely high relative to other regions. The fact that three railway gauges predominate in Africa causes severe limitations in physical integration of the railway networks in the various sub-regions. Transport services in many African countries remain inefficient, as manifest by high vehicle prices, poor market information, presence of transport cartels, poor knowledge of operating costs, poor operating practices, poor maintenance and unnecessary fast driving. In many African countries, transport costs are six times higher than in Pakistan, a country that itself is a developing economy. Furthermore, the system of rail roadblocks in many African countries results in excessive delays and a substantial increase in transport costs.

African countries acknowledge that these inefficiencies need to be tackled if they are to integrate their economies and become competitive in international markets. Indeed, African countries can reap enormous benefits from improvements in trade facilitation, as has been shown in some of these countries where concerted efforts have been made in this respect, countries such as Tunisia and Morocco. If a multilateral framework on trade facilitation can contribute to enable African countries to achieve efficiency and reduce transactions costs for trade and thereby "contribute to development" then the letter and spirit of Doha will have been maintained.

Libya is the geographical fulcrum of the process: from Libya rail lines radiate out along the Mediterranean coast and from Libya, the connections originate all the way down to South Africa, through Chad Niger, Sudan, and so on. As per German author Muriel Mirak-Weissbach it will be through Libya and Egypt that this de facto continental structure will be linked up, moving eastwards, with the grand project of the Eurasian land bridge--the project to link China with western Europe, through three main trunk lines (north, central and south). It would finally be

possible to join the major nations of Africa with the Eurasian continent. One day, it would be possible to jump on a train in Cape Town and travel all the way to Beijing. Or, at least from north Africa. Thus this is no more--a fantasy of the future--, but a reality. The FREA is, in fact, planning to organize a 20-day voyage from Alexandria to Beijing. The "Silk Rail" trip slated for 2010 will originate in Corinth, on the Venice Steamship, then travel to Alexandria, Cairo, Sinai and Bir el Abd. From there, passengers will board a bus to Taba, and a boat to Aqaba, then travel on a Jordanian train to Amman, thence to Damascus, Aleppo, Turkey, Erzerum, Kars, Yerevan, Baku, and then, with a ferry boat across the Caspian Sea, to Ashgabad, further overland to Samarkand, Tashkent, Almaty, and on to China. The implicit message of the planned caravan is unambiguous: transportation links joining countries which are in a politically adversary relationship. So, any news about progress on building such transnational rail lines, must be classified in the "good news" rubric and all possible political efforts must be made to ensure their success.

Overview of the current situation shows that based on SADC Railways there is a need for a common gauge (1067 mm). Therefore rolling stock is interchanged easily without the need to transship cargo.

Most Railways have border stations on each side of the border and would place the trains either on their border station or across, it all depends on the arrangement between the neighboring railways.

Each railway would inspect the train they receive (technical inspection and cargo). In some cases this would be joint inspections. The result was accumulation of train loads at the Interchange Points (border stations) and delays to cargo movement. Train loads were broken up to suit the other railways motive power resulting in single consignments i.e. copper trains arriving at different times at destination causing problems for the customers.

New technology is a way forward to resolve the problem of the gauge differences. For example, between Spain and France, by building coaches which can change axes, the 12-centimeter difference has been overcome, and one can ride from the Gare de Lyons to Madrid with no difficulties. The same kind of problem arose between Russia and Poland, and between Ukraine and Poland and Rumania. In the former Yugoslavia, three different gauge railway networks were interconnected by rolling stock. Again, the gauge problem arose in plans to connect Russian rail to China's. In all these cases, new ideas have made it possible to bridge the gap.

In the case of similar African rail networks like Egypt and Sudan, where the gauge difference is quite substantial, i.e. 38 centimeters, requires new technical devices, as well as special coaches (rolling stock) and diesel locomotives. There are two companies in France currently tackling this problem, and it may be that parts of the Sudanese railway line will have to be "corrected," i.e. that some sharp curves will have to be ironed out [9].

#### **4.1 The Corridor Concept**

Based on the good practices the Protocol on Transport and Meteorology which came into effect in August 1996 signed by SADC Heads of States put an obligation on the railways to integrate railway services and establish Corridor Management Groups with the objective to provide seamless, predictable, efficient and cost effective rail transport to support the SADC economy.

The Railways through SARA took up this challenge and established CMGs which focused on the following areas;

- Single Interchange Points (SIPs)
- Single Inspections
- Cross-border working of locomotives
- Cross-border working of crews
- International Trains Timetable
- Train Loads not to be broken up
- Matching of motive power to load offered
- Communication among corridor railways on the movement of the international trains
- Giving priority to international trains in the allocation of resources such as locomotives & wagons
- Through billing –revenue collection at one point
- Providing assistance in the case of emergency-railways to assist each other to clear derailments and reopen line as soon as possible
- Joint Train Planning
- Joint Marketing
- Development and use of same C & W Maintenance Manual

## **5. Promotion And Support Of The Corridor Concept**

In order to get the best value of our investment, the business case for the Corridor concept arises from the following;

- Leads from fragmentation to integration
- Eliminates duplication of resources (stations on both side of the border) to Single Interchange Points
- Promotes the shift from Joint inspections to Single Inspections using the same Inspection Manual-same standard
- Maintaining of unit loads until destination unless a wagon/s develops technical problems and has to be uncoupled
- Reduction in delays at interchange point due to set standard dwell times at each interchange point.
- Adherence to set benchmarks for keeping trains in motion improves transit times and utilization of resources (e.g. trains to cover 500km per day, at least)
- Allows for the formation of multidisciplinary CMGs who will deal with problems on the ground
- Resource sharing i.e. working locomotives across borders

- Coordination of activities along corridors is made easier as well as feedback to the clients on the whereabouts of their cargo.
- It is possible to Market the corridor and increase the market share of rail along the same – bearing in mind that road runs parallel to rail in most routes
- It is possible to carry out surveys to ascertain the market potential along corridors and to identify rail friendly cargo
- Elimination/reduction of bottlenecks can be coordinated along the corridor.
- Reduction transit times by so doing reduce the wagon turnaround time (improve wagon productivity).
- It is possible to produce and work to International Train Schedules agreed to by all key role players along the corridor
- It is possible to record the performance of the trains against the schedule and deal with deviations immediately
- Provides a framework for reporting on the business along corridors and devising retention strategies for existing as well as attracting new business.
- Allows for data collection and submission to Southern African Railways Association (SARA) according to the (SARA) format to facilitate reporting to the SADC Ministers of Transport on the implementation of the Transport Protocol
- Allows for coordinated communication (feedback) to the customers concerning the whereabouts of their cargo.
- Provides a framework for the reduction in operating cost along corridors thereby enabling railways to compete against road price wise and service quality.

### 5.1 Expected Benefits of the Corridor Concept

Following benefits highlight the need to promote and support the corridor concept in a big way. ●

Retention of existing business ●

Attracting new business, hence increasing market share ●

Reduced operating costs hence the making of profit ●

Increased wagon utilization/productivity arising from reduced turnaround time ●

Increased locomotive utilization through the sharing of motive power ( cross border working)

● Satisfied customers who are kept informed about the status of their cargo, thus willing to give more business to the railways ●

Proving to Governments and Private Investors that supporting the railways through infrastructure and equipment investment is worthwhile because of the economic return to Governments and return on investment to private investors

● Contributing towards making exporters and importers in the region competitive in the global market by lowering the cost of logistics and transport



- To be recognized as the transport mode of choice in the region than being marginalized as a last resort mode of transport.

## 6. Concluding Remarks

The paper has demonstrated that how the Libya led initiative for Trans Sahara Railway as a part of Single African Rail network to serve as a gateway to Europe can help herald Africa as a Continent of Economic Opportunities. It will open up doors for numerous successful entrepreneurs and enterprises creating jobs in all 53 African countries and improving the quality of life in their local African communities. It will also help promote and support Economic and Political Policies to tackle challenges and create new opportunities for job creation to rid the continent from its dark history. The way forward is to take the opportunity to consider and review among others, the performance of regional rail corridors, to align it with the dynamics of the business environment, our regional strategic plan, safety issues, use of Information Communications Technologies (ICTS) and issues relating to integration with the Union of African Railways (UAR) and the international union of railways (UIC). In doing so, what is required is to develop a comprehensive regional framework to ensure the provision of an efficient, integrated and cost effective seamless rail transport service.

Finally, it is hoped that Libya led ASRA will help support the UAR to quicken integration of UAR and UIC. This requires full utilization to access funding from the African Union that will benefit all the members and the region as a whole as contained in Brazzaville Declaration. It would also need the African railways to strengthen cooperation in the sharing of information and resources (rolling stock and other facilities) to alleviate shortfalls in any of the African countries.

## References

- [1] Bindra, S. & Hokoma, R. (2004). "Challenges and opportunities of automobile pollution control in developing countries", Proceedings of the International Conference on World Renewable Energy Congress VIII (WREC VIII), Denver, Colorado, USA.
- [2] Bindra S.P., "Role, Trends, Opportunities and Challenges of Trans Sahara Rail", First Railway Conference to establish ASRA, Elkhoms Jan 2005.
- [3] Bindra S.P. & K Bindra, "Principles and Practice of Railway Engineering", Dhanpat Rai Publisher, 2008 Ed, India.
- [4] Bindra S.P., "Earthworks 60% complete on first section of Libyan network". Railway Gazette International. 2001-01-01.
- [5] [http://www.railwaygazette.com/news\\_view/article/2001/01/131/earthworks\\_60\\_complete\\_on\\_first\\_section\\_of\\_libyan\\_network.html](http://www.railwaygazette.com/news_view/article/2001/01/131/earthworks_60_complete_on_first_section_of_libyan_network.html).
- [6] "Work starts on Libyan railway". Railway Gazette International. [http://www.railwaygazette.com/news\\_view/article/2008/09/8792/work\\_begins\\_on\\_libyan\\_railway.html](http://www.railwaygazette.com/news_view/article/2008/09/8792/work_begins_on_libyan_railway.html). Retrieved 2009-01-24.
- [7] David Briginshaw (2001). "Libya's First Two Railway Lines Start To Take Shape". International Railway Journal. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G1-69709357.html>. Retrieved 2007-12-30. 6. Muriel Mirak-Weissbach & Mthaba - *News that Matters* "Build Railways for Peace in Africa" Global Research, May 29, 2008

- [8] Bindra, S. & Hokoma R., Challenges & Opportunities of Automobile Pollution Control in Developing Countries, Proceedings of the International Conference on Industrial and Commercial Use of Energy Conference 2004, Western Cape, South Africa, pp-197-202, 2004.
- [9] Hokoma R. & Bindra S., (2009). Meeting the energy challenge for sustainable development of developing countries. Proceedings of the International Conference on Energy and Environment, 19-21 March.

# VAGONLARDA KULLANILAN SADE KARBONLU ÇELİĞE SİNERLEME SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Akif Erden  
Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, makiferden@karabuk.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe matris içerisine % ağırlık olarak 0,4 grafit elementinin katılmasıyla istenilen bileşimde alaşımsız çelik malzeme toz karışım olarak elde edilmiştir. Elde edilen tozlar çekme numunesi şeklinde tasarlanan kalıplarda 700 MPa presleme basıncında sıkıştırılarak 1300°C'de argon atmosferinde 1 saat ve 2 saat sinterlenerek çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit çeliklerinin tane boyutu ve fazların dağılımı optik mikroskop ile belirlenmiştir. Mikroyapı analizinden sonra çekme numunesi boyutlarında hazırlanan çelik numunelere çekme testi uygulanmıştır. Numunelerin % uzama, akma-çekme dayanımları sinterleme süresine bağlı olarak açıklanmıştır. Sonuç olarak, 1300°C'de argon atmosferinde 2 saat sinterlenen çelik numuneler en yüksek akma ve çekme dayanımı sergilemiştir.

**Anahtar kelimeler:** Toz metalurjisi, Alaşımsız çelikler, Sinterleme süresi, Mechanical properties.

## Abstract

In this study, a mixture of unalloyed steel material in the desired composition via powder metallurgy method is obtained by adding 0.4% by weight of graphite element in Fe matrix. The obtained powders were squeezed at pressures of 700 MPa at 1300°C sintering temperature in 1 hour and 2 hour in the molds designed as tensile specimens. The particle size of the produced steels and the distribution of the phases were determined by optical microscope. After microstructure analysis, tensile test was applied to steel samples prepared in tensile specimen dimensions. The elongation, yield-tensile strength of the samples are explained depending on the sintering temperature. As a result, steel samples sintered at 1300 °C in 2 hour in an argon atmosphere exhibited the highest yield and tensile strength.

**Keywords:** Powder metallurgy; Nonalloyed Steels; Sintering time; Mechanical properties.

## 1. Giriş

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğine sahip yöntemdir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisi ile üretimi daha yaygın hale getirmektedir. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının önce preslenmesi ve daha sonra taneciklerin sinterleme yoluyla birleştirilerek sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülmesidir [1].

Çelikler ise mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde büyük bir öneme sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra her geçen gün raylı sistemler, otomotiv ve denizcilik sektörü gibi birçok sektörde çelik gereksinimi artış göstermektedir. Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif çeliklerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır [1-2].

Literatürde T/M çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur [3-6]. Örneğin Gündüz vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Nb-Al mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1350°C'de 60 dakika argon ortamında bekleterek gerçekleştirmiş olup Nb-Al oranı (% 0,1-% 0,2) yükseldikçe akma ve çekme dayanımında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumu sinterleme sırasında ve sinterleme sonrası soğuma sırasında NbC(N) ve AlN gibi çökeltilerin oluşmasına bağlamışlardır [5].

Bu çalışmada vagonlarda kullanılan alaşımsız çeliğe sinterleme süresinin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Metot

Bu çalışmada, çelik numune TM yöntemiyle Çizelge 1'de verilen bileşimde üretilmiştir. Farklı sinterleme süresinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Tozlar çizelge 1'de verilen oranlarda 0,0001 g. hassasiyetle çalışan Radwag marka hassas terazide tartılmıştır. Tozların karıştırma işlemi 3 eksenli hareket eden Turbula marka karıştırma cihazıyla bilyesiz olarak 1 saat süreyle yapılmıştır. Homojen olarak karıştırılan tozların soğuk preslenmesi işlemi ise 96 ton kapasiteli Hidroliksan marka hidrolik presle 700 Mpa presleme basıncında tek yönlü olarak yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri ASTM 8M Toz Metal çekme numunesi standartlarına uygun kalıpta sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir.

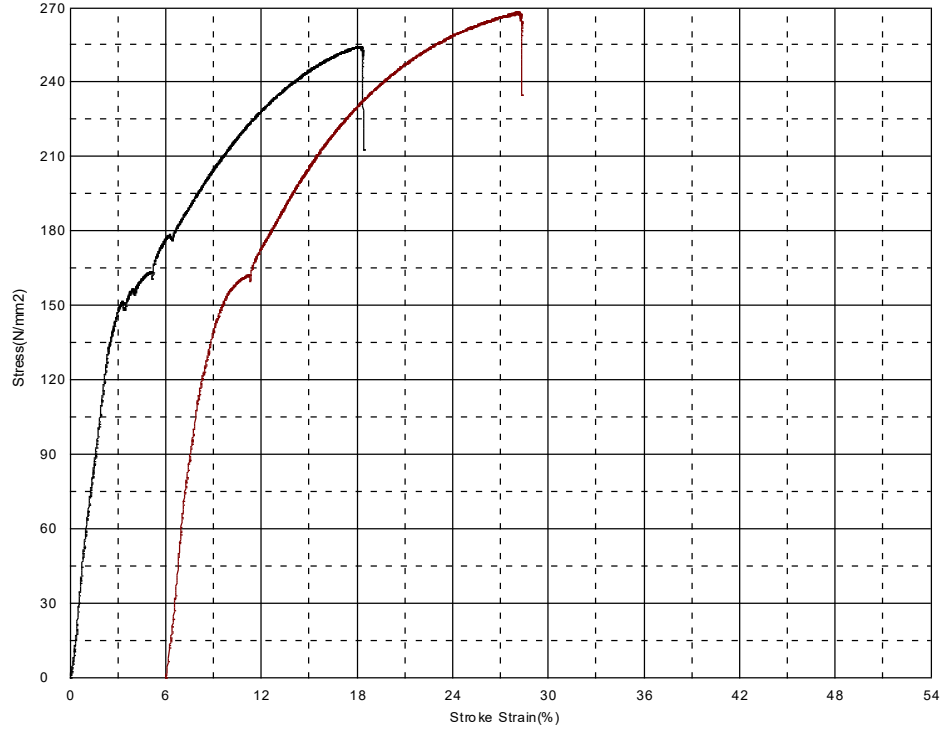
Çizelge 1. TM yöntemiyle üretilen çeliklerin kimyasal kompozisyonları.

Bileşen	Grafit (%ağ.)	Bakır (%ağ.)	Demir (%ağ.)
Alaşım	0,45	-	Geri Kalanı

Preslenen numuneler atmosfer kontrollü sinter fırınında argon ortamında 1300 °C sıcaklıkta 1 saat, 2 saat ve 3 saat süreyle sinterlenmiştir. Çekme testi 50 KN kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazında 1 mm/dk. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme sonucu kopan numunelerin akma dayanımı (% 0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri Radwag marka hassas terazinin yoğunluk kitinde yapılmıştır. Sinterlenen numunelere geleneksel yöntemler uygulanarak (zımparalama, parlatma ve dağlama) metalografik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot marka optik mikroskop altında incelenmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

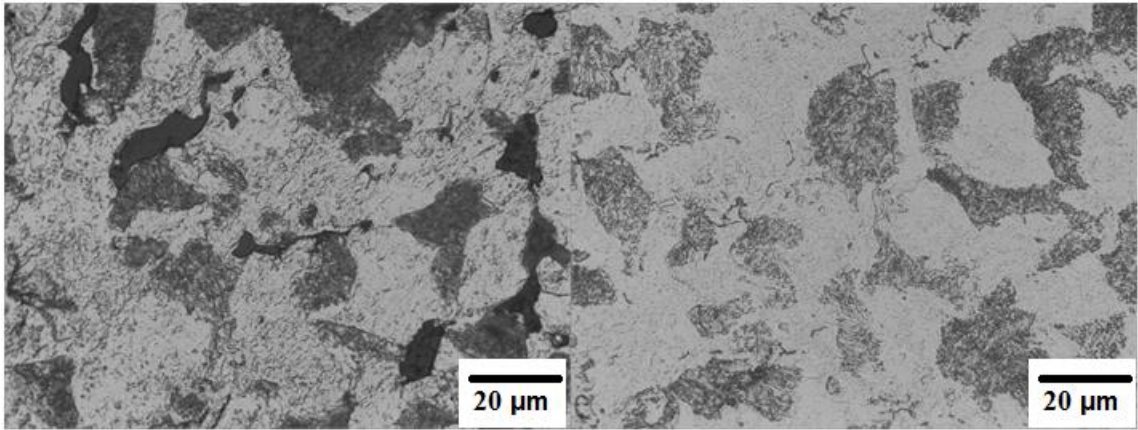
Şekil 2, TM yöntemiyle üretilen alaşımsız çelik numunelerin gerilme-% uzama diyagramlarını gösterirken, Çizelge 2 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. TM çelik numunelerin çekme % uzama grafiği.

Çizelge 2. TM çelik numunelerin mekanik özellikleri

Sinter Süresi	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
1300 °C 1saat	151	255	19
1300 °C 2 saat	162	269	22



Şekil 3. TM çelik numunelerin mikroyapı görüntüsü (1000X) a)1300 °C-1 saat; b) 1300 °C-2 saat.

Çizelge 3. TM çelik numunelerin % yoğunluk, gözenek miktarı ve ortama tane boyutu.

Sinter Sıcaklığı	S. sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Miktarı (%)	Perlit miktarı (%)	Ortalama Tane Boyutu (µm)
1300 °C 1saat	92,9	7,1	22	33,1
1300 °C 2 saat	93,2	6,8	22,3	33,3

Şekil 3'de gösterilen mikroyapı resimleri incelendiğinde genel olarak mikroyapı ferrit ve perlit fazlarından oluşmaktadır. Alaşım sinterleme süresi açısından karşılaştırıldığında; sinterleme süresi arttıkça malzemelerin % uzama değerlerinde artış gözlenmiştir. Bunun sebebi sinterleme süresi artışının çeliğin sinter sonrası yoğunluğunu artırmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim 1 saat sinterleme sonrası alaşım sinter sonrası çeliğin yoğunluğu % 92,9 iken, 2 saat sinterleme sonrası % 93,2 olmuştur. Yoğunluğun artması ve gözenek miktarındaki azalma şekillenebilirliği olumlu yönde etkilemiştir. Dayanım yönünden kıyaslandığında 2 saat sinterlenen numunelerin dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak yoğunluğun artışının yanısıra oluşan perlit ve ferrit fazlarının daha kararlı ve perlit miktarında bir miktar artış gözlenmesi sonucu olarak düşünülmektedir. Nitekim benzer çalışmalar bunu sonucu desteklemektedir. Erden yaptığı çalışmada Nb-V mikroalaşım çeliğine farklı miktarlarda grafit ilave etmiş grafit ilavesini artırması sonucunda perlit miktarında artış gözlenerek üretilen çeliklerin dayanımını artırmıştır [6].

#### 4. Genel Sonuçlar

Alaşım çelik numuneler toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Sinterleme süresi 1300°C'de 2 saat olan numunelerin mekanik özellikleri daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜ -BAP-18YL-017.

#### Kaynaklar

- [1] Erden M.A., The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels, *Metals*, 7, 329-345, 2017.
- [2] Ahlatcı H., Görkem Y., Harun Ç., Engin Ç., Süleyman Y., Yavuz S., Corrosion and Wear Behaviour of Boronized highCarbon and Chromium Cast Steel, *ISIJ International*, 53(5), 887–893, 2013.
- [3] Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M. and Karabulut H., Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels, *Materials Science and Engineering A*, 616, 201-206, 2014.
- [4] Gündüz S., Erden M. A., Karabulut H., Türkmen M., Effect Of The Addition Of Niobium And Aluminium Onthe Microstructures And Mechanical Properties Of microalloyed PM Steels. *Materiali in Tehnologije*, 50(5), 641-648, 2016.
- [5] Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H. Türkmen M. Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method, *Mechanics*, 23(4), 574-580, 2017.
- [6] Erden M. A., Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method. *European Journal of Science and Technology*, 5(9), 44-47, 2016.

# S355J2 Çeliğinin Tozaltı Kaynak Kabiliyetine Kaynak Telinin

## Etkisi

<sup>1</sup>Fatih HAYAT ve <sup>2</sup>Engin CELASUN

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
<sup>2</sup>KARDEMİR A.Ş.

### Özet

Bu çalışmada, S355J2+N (DIN10025-2) kalite çeliğin S1 ve S2Mo tellerle tozaltı kaynak kabiliyetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kaynaklı numunelere tahribatsız muayene yöntemlerinden Ultrasonik ve Manyetik Partikül testleri uygulanmıştır. Ayrıca birleştirme işlemi sonucunda malzemelerin çekme ve eğme deneyleri yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yapı çeliği, Tozaltı kaynağı, Çekme deneyi, Eğme deneyi

### Abstract

In this study the effect of different wires of submerged arc welding to the weldability of S355J2 (DIN10025-2) quality steel were examined. S355J2 steels were welded with S1 and S2Mo submerged arc welding wires. After welding, In order to examine the mechanical properties and microstructure of the joints, destructive and non-destructive test were performed. The microstructure of welding zone was observed using tensile and bend tests.

**Key words:** Structural steel, Submerged arc welding, Tensile test, Bend test

### 1. Giriş

S355J2+N (DIN10025-2) kalite çelikler genel konstrüksiyon levhaları, muhtelif makine parçası imalatı, kara ve demiryolu araçları imalatı, mühendislik projeleri için genel yapı çelikleri olarak gruplandırılır. Minimum 355 N/mm<sup>2</sup> akma dayanımı ile yüksek çekme mukavemeti sunar. Endüstriyel uygulamalarda çokça kullanılan bu çelikler kaynaklı bağlantı ile birleştirilir ve monte edilmektedir [1,2].

Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir. Büyük boyutlu ve kesit kalınlığı fazla olan metal malzemelerin kaynağında tozaltı kaynağı kullanılmaktadır. Tozaltı kaynak yöntemi, iş parçası ile metal tel elektrot / elektrotlar arasında, bir ark / arklar oluşturarak bunların ısıtılmasını sağlayan ve bu suretle birleşmelerini temin eden bir ark kaynağı prosesidir. Ark ve erimiş metal tanecikli yapıya sahip bir toz örtüsü ile korunur. Basınç kullanılmaz. Dolgu metali, elektrot / elektrotlar ile toz ve metal taneciklerinden elde edilir" [3,4]. Yüksek erime gücüne ve kaynak hızına sahip olmakla birlikte çeşitli türden çeliklerin kaynağı için de çok uygun olan bu yöntem kazan, profil, gemi ve basınçlı kap üretimi ile dolgu kaynağı işlemlerinde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır [5]. Tozaltı ark kaynağında ark tümüyle kaynak tozunun altında gömülü olduğundan çok yüksek kaynak akımlarına çıkılabilmekte, verim yükselmektedir ve uygulanması esnasında sıçramaya neden olmaz [6].

### 2. Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmada, 14 mm kalınlığında alınan S355J2+N (DIN10025-2) kalite yapı çeliğinden kesilmiş parçalar kullanılmıştır. Tablo 1'de deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Tablo 2'de S355J2+N kalite çeliğine ait mekanik değerler verilmiştir

Tablo 1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi.

KALİTE	C %	Mn %	Si %	P %	S %	N %	Fe %
--------	-----	------	------	-----	-----	-----	------

<b>S355J2+N</b>	0,14	1,54	0,36	0,02	0,022	-	Kalan
-----------------	------	------	------	------	-------	---	-------

Tablo 2. Mekanik özellikler.

Kalite	ReH (N/mm <sup>2</sup> )	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	A % min	Darbe Tokluğu	
				°C	J
<b>S355J2+N</b>	389	597	27	-20	35

### 2.1. Kaynak İşleminde Kullanılan Kaynak Teli ve Tozunun Özellikleri

Deneyel çalışmalarda kullanılan tozaltı kaynak tellerin ve tozunun kimyasal bileşimleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan ilave tellerin ve tozunun kimyasal bileşimleri.

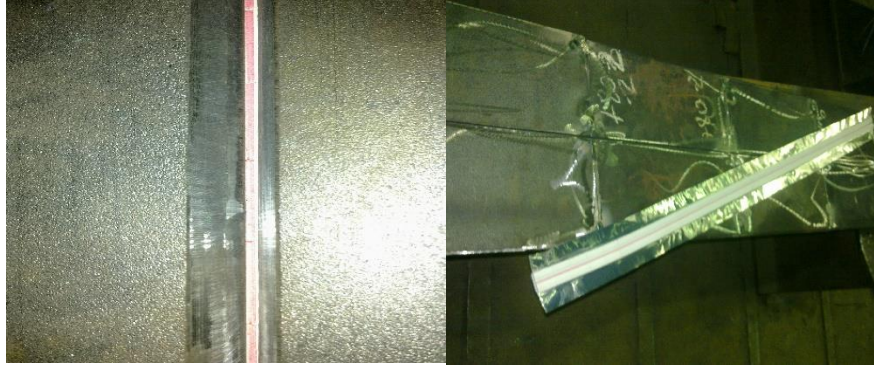
Malzeme	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)							
	C	Mn	Ni	Si	Mo	Cr	Cu	Fe
<b>S1 tel</b>	0.08	0.58	0.07	0.10	-	0.08	0.14	Kalan
<b>S2Mo tel</b>	0.10	1.03	0.05	0.12	0.48	0.07	0.08	Kalan
<b>Kaynak Tozu</b>	0.08	1.36	-	0.38	-	-	0.1	Kalan

Karbon eşdeğeri kaynaklı birleştirmelerin kalitesine etki eden en önemli parametrelerdendir. Aşağıda IIW'a göre karbon eşdeğeri (Formül 1) formülüne göre verilmiştir [7,8].

$$Ceş = C + Mn/6 + Cr/5 + Mo/5 + V/5 + Ni/15 + Cu/15 \quad (1)$$

S355J2+N kalite yapı çeliğinin birleştirme işlemi S1 ve S2Mo kaynak telleri kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi ile yapılmıştır. Karbon eşdeğeri 0.41 bulunmuştur. Elde edilen sonuca göre kaynak öncesi ön tava gerek duyulmamıştır.

Kaynak işlemi için 14x150x400 mm ebatlarında Plazma kesim cihazında kesilmiş levhalar kullanılmıştır. Levhaların uzun kenarları 60° açıyla freze tezgâhında işlenerek kaynak ağzı açılmıştır. İşlenen levhalar, aralarında 2 mm kök aralığı bırakılarak V kaynak ağzı oluşturacak şekilde TS 3473/1980 standardı dikkate alınarak belirli aralıklarda puntalanmıştır. Parçaların kaynağa hazırlığı, puntalanması ve seramik altlık kullanımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney parçalarının puntalanması ve seramik altlığın kullanımı.

S355J2+N malzemeler Karçel A.Ş.Fabrikasının kaynak tesislerinde Lincoln Marka 1000 Amper kapasiteli yarı otomatik Tozaltı Kaynak Makinasında (Şekil 2 ve Tablo 4) WPS'e göre kaynatılmıştır.





Şekil 2. Kaynak işleminin yapıldığı Lincoln marka tozaltı kaynak makinası  
Tablo 4. Tozaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri.

Marka	Model	Besleme Gerilimi	Sigorta Değeri	Kaynak Akımı	Akım Aralığı
Lincoln	SA - 750	400 V - 3 Faz - 50 Hz	80 A.	1500 A - 44 V - % 100	200-1500 A

Kaynatılan parçaların her iki tarafı dikkatlice görsel olarak kontrol edilmiş, herhangi bir kaynak kusuru görülmemiştir. Tozaltı kaynak işleminden sonra kaynaklı parçalar, GE marka USM 35 DAC LEMO model Ultrasonik Test Cihazı ile EN 473'e göre seviye 2 sertifikalı uzman personel tarafından kontrol edilip raporlanmıştır (Şekil 3 ve 4).



Şekil 3. Ultrasonik test kontrol işlemi.

KARÇEL		ULTRASONIC TEST REPORT						Report No	01-12			
A.Ş.		ULTRASONİK TEST RAPORU						Rapor No	1/1			
Project		S355J2 ÇELİĞİNİN İSİL İŞLEM VE TOZALTI TELİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ İLE İLGİLİ TEZ ÇALIŞMASI						-	-			
Customer		-						Drawing No	-			
Müşteri		-						Resim No	-			
Manufacturer		-						Component	-			
Üretici		-						Parça-Kısım	-			
Welding Process		Equipment		Cihaz		NDT Specification		AASHTO / AWSD1.5				
Kaynak Metodu		USM 35 DAC		LEMO (GE)		NDT Standardı		-				
PLAN		Reference Setting		45 dB		Reference Blocks		DAC (a material block; to slotted (Ø 1.5 mm) on the flank for DAC curve)				
		Referans seviyesi		-		Referans Bloğu		-				
		Scanning Extra Tarama		12 dB		Calibration Block		IIW1/V1 - IIW2/V2				
		Ekstrası		Transfer Correction		-		Base Material Ana		S355J2+N & 780S		
		Transfer Düzeltmesi		Total		57 dB		Before / After Heat Treatment İşil İşlem Öncesi/Sonrası		-		
		Probe		MWB 45-4		Surface Condition		To be Cleaned				
		Prob Açısı		45° - 60° - 70°		Yüzey Durumu		Temizlenmiş				
		Frequency		4 MHz		Couplant		Methyl Cellulose				
		Frekans		-		Temas Sıvısı		-				
Weld No	Welding Pr.	Direction	Location and Orientation of Indication / Bulguların Konumları ve Yönü						Result Sonuç		Evaluation Sonuç	
			Thickness	Dist. Fr. Ref.* Point (X) (mm) Ref. N. Uzaklık	Dist. Fr. Ref.* Point (Y) (mm) Ref. N. Uzaklık	Depth (mm) Derinlik	Parallel	Trans-verse	dB above Recording Threshold dB mm	Recording Length or Area mm <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup> Belirtilerin Uzunluğu/Alanı	Acceptable	Not Acceptable
No	Kaynak Yönt.	Kont. Yönü	(mm)	(mm)	(mm)	Paralel	Enine			Uygun	Uygun Değil	
1	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	OK	-	
2	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	OK	-	
3	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	OK	-	
4	SAW	1,2,3,4	14 - 14	-	-	-	-	-	-	OK	-	
Notes / Not												
Signature (H)			Mulu UZUN									
Date			27.09.2012									

Şekil 4. Kaynaklı parçalara ait ultrasonik test raporu.

Kaynaklı parçalar, PARKER Marka CONTOUR PROBE DA-400 S Model 230 V, 50/60 Hz, 3 A, AC/DC özellikte Manyetik Partikül Test cihazı ile kaynak bölgesi ve her iki tarafı muayene edilmiştir. Uygulama EN 473'e göre Seviye 2 Sertifikalı tecrübeli personel tarafından raporlanmıştır (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 5. Manyetik partikül test kontrol işlemi.

KARÇEL		MAGNETIC PARTICLE TEST REPORT				Report No	01.12	
A.Ş.		MANYETİK PARTİKÜL TEST RAPORU				Rapor No		
						Sheet	1/1	
						Sayfa		
Project	S355J2 ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM VE TOZALTI TELİNİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ İLE İLGİLİ TEZ ÇALIŞMASI			Drawing No				
Proje				Resim No				
Customer				Object				
Müşteri				Objekt				
Manufacturer				NDT Specification	EN 1090-2 / EN 17638 / EN 571-1			
Üretici				NDT Standardı				
MAGNETIC PARTICLE TEST				MT				
MANYETİK PARTİKÜL TSTİ								
Equipment	AKDE HANDY MAGNET		Model	A2 - D	Serial No:	0002 MPI		
Cihaz Adı			Model		Seri No:			
Magnetization Type	YOKE TYPE /	Duration of Force		Type of Current		Field		
		Application	7 sec.	/ Voltage	12 V	Intensity	2-6 kA/m	
Manyetize Yöntemi	EL MAGNETİ	Süresi		Akım Tipi		Siddeti		
Test Medium	≥ 500 LUX	Type of Liquid	ASTME D-96		MP Suspension			
Test Ortamı		Sıvı Çeşidi			Test Sıvısının	DIN 45132		
Malzeme Cinsi	S355J2+N & DP910 & DP780	Surface Condition	CLEANING / TEMİZLEME		Preparation of Material Test	Clear / Temiz		
		Yüzey Durumu			Yüzeyi Hazırlığı			
Test Technique / Test Yöntemi			Heat Treatment					
Wet / Islak	X	Visual / Görünür	X	NON				
Dry / Kuru		Flora / Florasan		/ Isıl İşlem				
MP Suspension Mark	BETA Ferromagna Spray			MP Suspension Serial No	Ferromagna: B.036P01			
Test Sıvısının Markası	BETA Black Dye Spray			Test Sıvısının Seri Numarası	Back Dye: B.083 P01			
Weld No	Pos+Pos	Evaluation		Defect Location (mm)		TEST AREA / EXTENT OF TEST		Result
Kaynak	Poz+Poz	/ Değerlendirme		Hata Yeri		TEST BÖLGESİ / TEST İÇERİĞİ		Sonuç
		Accept	Reject	From (mm)	End (mm)			
No		Kabul	Red	Başlangıç	Bitiş			
1	14mm+14mm (S1 - 780 S)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
2	14mm+14mm (S1 - S355J2)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
3	14mm+14mm (S2Mo - 780 S)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
4	14mm+14mm (S2Mo - S355J2)	OK		-	-	WELD SEAMS AND HAZ / %100		OK
Signature (H)	Engin Celal			Signature (B)	Signature (BB)			
	KARABÜK ÇELİK VE ALUMİNYUM MONTAJ İNŞAAT VE TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ							
Date	27/09/2012			Date	Date			

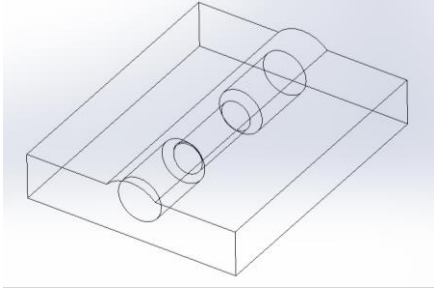
Şekil 6. Kaynaklı parçalara ait manyetik partikül test raporu.

## 2.2. Kaynaklı Çekme Testi Numunesinin Hazırlanması Ve Uygulanması

S355J2 çeliğinin S1 ve S2Mo Tozaltı kaynak teli ile kaynaklanmış parçaların mekanik özelliklerinin incelenmesi adına çekme testleri yapılmıştır. S355J2+N kodlu malzemenin mekanik özelliklerinin incelenmesi için çekme testleri TS EN ISO 6892-1 Mart 2011 Standardına göre Çınar Boru'daki Universal Tezgâhsan markalı frezede hazırlanmış ve MMZ Boru A.Ş.'de 50 Ton kapasiteli Zwick Marka çekme cihazında 2 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

## 2.3. S355J2+N Malzemelerin S1 ve S2Mo Kaynak Teli ile Kaynatılıp Sadece Kaynak Metalinin Çıkarıldığı Çekme Test Uygulanması

Kaynak metalinden çıkarılan çekme test ölçüleri (TS EN ISO 6892-1 Mart 2011) ve görüntüleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Silindirik çekme numunelerinin kaynaklı parçalardan çıkarılması ve çekme test görüntüleri (TS EN ISO 6892-1 Mart 2011).

## 2.4. Çekme Deneyi Sonuçları

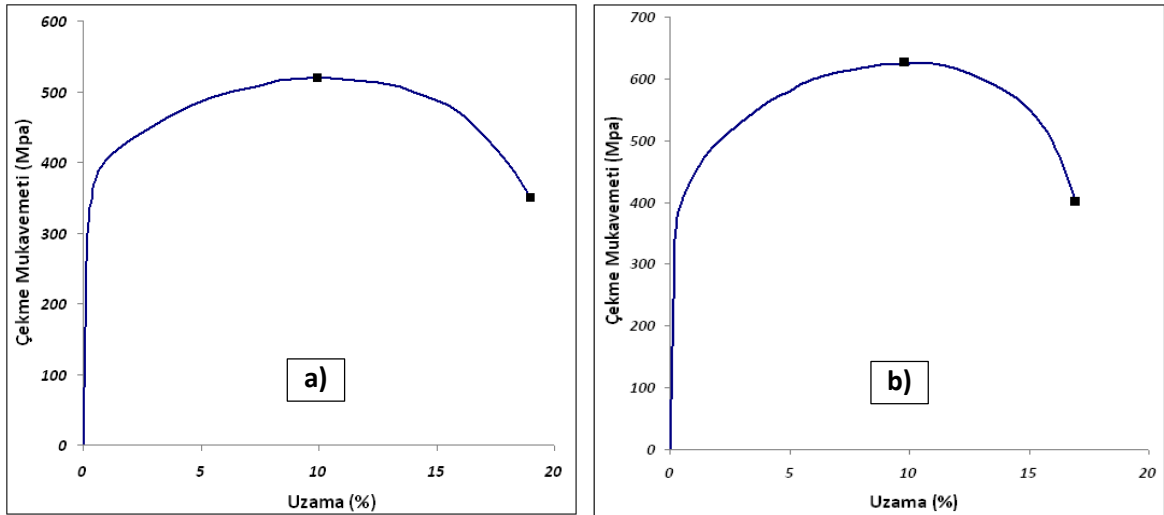
### 2.4.1. Kaynaklı Numunelerin Çekme Deneyi

S1 ve S2Mo tel kullanılarak birleştirilen S355J2-N çeliklerinin ilgili standartlara uygun olarak yapılan çekme deney sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. kaynak merkezinden alınan çekme sonuçları.

No	Tel Malzemesi	Kesit ölçü	Lo	Ls	kN	Çekme Muk MPa	%uzama
1	S1	14 x 20	95	112	151.000	529	18
1	S1	14.1x20.2	95	110	149.000	513	16
1	S1	14.1x20.1	95	111	150.000	519	17
<b>Ortalama</b>						<b>520</b>	<b>17</b>
2	S2Mo	14.1 x19.7	95	112	177.000	625	18
2	S2Mo	14 x 20	95	112	177.000	620	18
2	S2Mo		95	110	179.000	627	16
<b>Ortalama</b>						<b>624</b>	<b>17</b>

Çekme deneyine tabi tutulan numunelerin grafikleri Şekil 9'da verilmiştir.

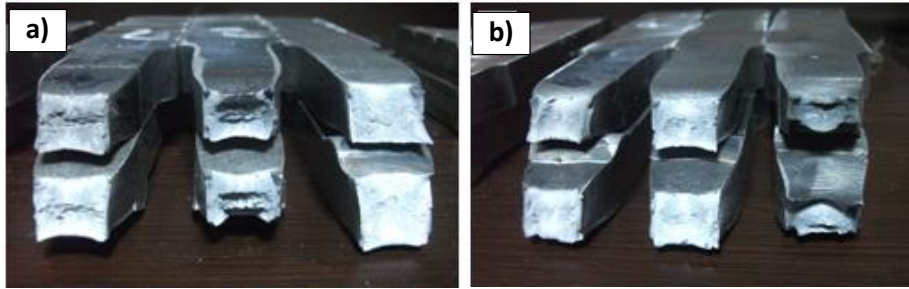


Şekil 9. S355J2 kaynaklı malzemenin çekme test sonucu: a) S1 teli, b) S2Mo teli.

Çekme deneyine tabi tutulan numunelerin kopma fotoğrafları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Çekme testi sonucu koparılan numune fotoğrafları.



Şekil 11. Çekme testi sonrası çekme numunelerinin kopma bölgeleri; a) S1 – S355J2 kaynaklı malzeme, b) S2Mo – S355J2 kaynaklı malzeme.

Kaynaklı bağlantıların kopmalarının ITAB esas metal bölgesinde olduğu görülmüştür. Kaynak metalinde kopma olmaması kaynak parametrelerinin uygun değerlerde ayarlanmış olduğunu göstermiştir. Ayrıca kaynak metalinde hata olmadığını göstermektedir. Bazı bağlantılarda kopmanın esas metalinde olduğu tespit edilmiştir.

#### 2.4.2. Sadece Kaynak Metalinin Çıkarıldığı Çekme deneyi

S1 ve S2Mo tellerinin kaynak yapıldıktan sonra bu bölgeden çıkarılması ile elde edilmiş numuneler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. İki tür kaynak teli ile kaynatılmış ve sadece kaynak edilen kısmı kapsayan silindirik malzeme çekme test sonuçları

Numune No	Malzeme	Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama
1	S1 Tozaltı Kaynak Teli	513	27
2	S1	529	23,5
3	S1	516	25,4
<b>Ortalama</b>		<b>519</b>	<b>25.3</b>
4	S2Mo Tozaltı Kaynak Teli	610	20,5
5	S2Mo	604	21,8
6	S2Mo	603	20,2
<b>Ortalama</b>		<b>605</b>	<b>20.8</b>

Şekil 12'de sadece kaynak bölgesinin çıkarıldığı parçalardan hazırlanmış silindirik çekme test numunelerinin kopma bölgeleri verilmiştir.

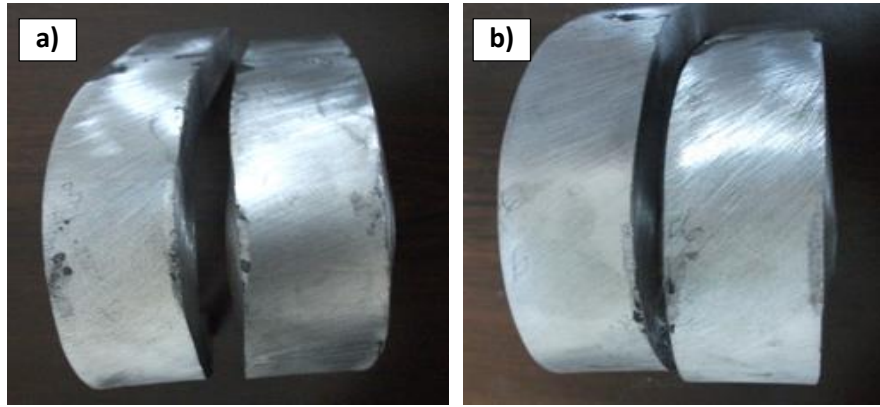


Şekil 12. Kopmanın gerçekleştiği bölgeler.

## 2.5. Eğme Deneyi Numunelerinin Hazırlanması Ve Uygulanması

### 2.5.1. Eğme Deneyi

S1 ve S2Mo tel kullanılarak birleştirilen S355j2-N çeliklerin ilgili standartlara uygun olarak yapılan çekme deney görüntüleri Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Eğme Deneyleri yapılan tüm numuneler: a) S1 teli, b) S2Mo teli.

## SONUÇLAR

355J2+N (DIN10025-2) kalite yapı çeliğinin S1 ve S2Mo tellerle tozaltı kaynak işlemi sonucunda şu sonuçlara varılmıştır:

- S1 ve S2Mo tel kullanılarak elde edilen Kaynaklı bağlantılarda Ultrasonik ve Manyetik Partikül testlerinde hata tespit edilmemiştir.
- Kopma türleri ele alındığında parçaların ITAB'dan koptuğu görülmüştür.
- Kaynak merkezinden alınan çekme numunelerinin mukavemet değerlerinin S2Mo Tozaltı Kaynak Telinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Kaynaklı bağlantıların eğme deneyinde herhangi bir yırtılma veya çatlamaya rastlanmamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Celasun, E., "S355j2 Çeliğinin Isıl İşlem Ve Tozaltı Kaynak Tellerinin Kaynak Kabiliyetine Etkisinin İncelenmesi", YL Tez, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük (2012).
2. <http://www.beverlysteel.com/products/steel-plate/s355j2-s355j2-n-steel-plate.html>
3. The Miller Electric MFG. CO. (1982) The Handbook Of SAW, Rev. 11/85 pp. 1
4. Anık, S., Tülbentçi, K., 2000, "Tozaltı Kaynak Tekniği" Kaynak Teknolojisi 2, Gedik Kaynak San. Tic. A.Ş. (s. 3-4)

5. **Akkaş, N.**, 2006, "Tozaltı Köşe Kaynağında Yapay Zeka Teknolojileri Kullanılarak Dikiş Geometrisinin Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 5, s.7-8, s.10-18, Sakarya.
6. **Cevher, T.**, 2007, "Çelik Tozaltı Kaynağında Toz Tane Boyutunun Kaynak Dikişi Formuna Etkisinin İncelenmesi", Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir , s. 1 – 3.
7. Easterking, K., Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterworth-Heinemann, (1992).
8. Kou, S., Welding Metallurgy, 2nd edition, John Willey and Sons, Inc., USA, ISBN 0-471-43491-4, (2003).

# Hafif Metallerin Kullanımı ve Elektron Işın Kaynağı ile Kaynaklanabilirlikleri

Caner AKTAŞOĞLU<sup>a</sup>, Fatih HAYAT<sup>b</sup>,

<sup>a</sup> ECZACIBAŞI-LINCOLN ELECTIRIC ASKAYNAK

<sup>b</sup>KARABÜK ÜNİVERSİTESİ

E-posta: [caner.aktasoglu@askaynak.com.tr](mailto:caner.aktasoglu@askaynak.com.tr), [fhayat@karabuk.edu.tr](mailto:fhayat@karabuk.edu.tr)

## Özet

Hafif metallerin kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Aynı zamanda en gelişmiş kaynak türlerinden electron ışın kaynağının önemi artmaktadır. Uçak, uzay ve otomotiv sektöründe kullanımı her geçen gün artan alüminyum alaşımlarının kullanımında elektron ışın kaynağı ile birleştirme zaruryeti hız kazanmıştır. Fakat araştırmalarımıza göre alüminyum alaşımlarının elektron ışın kaynak işlemi ile ilgili çalışma çok azdır. Bu literatür çalışmasında alüminyum alaşımlarının elektron ışın kaynağı hakkında bazı konular ele alınacak ve tartışılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum, Elektron Işın Kaynağı, Kaynaklanabilirlik , Hafif Alaşımlar

## Abstract

The use of light metals is gaining importance day by day. At the same time, the importance of the electron beam welding, one of the most advanced types of welding, is increasing. In the use of aluminum alloys, which are increasingly used in aircraft, aerospace and automotive sectors, the necessity of joining with electron beam welding has gained speed. According to our research, however, there is very little study of the electron beam welding process of aluminum alloys. In this literature work, some issues about the electron beam welding of aluminum alloys will be studied and discussed.

**Keywords:** Aluminium, Electron Beam Welding, Weldability, Light Alloys

**Teşekkür:** Bu proje Karabük Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmektedir.  
(Proje No: KBÜBAP-18-YL-015)

## 1. Giriş

Dünya genelinde sınırlı olan enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte hızla artan çevre kirliliğini önlemek amacıyla üretim, işçilik ve ulaşım alanlarında maliyetleri düşürmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Tüm bu çalışmalar içerisinde ise hafif metaller üzerine yapılan araştırmalar önemli bir yer tutmaktadır. Al, Mg, Ti, Cu, Be, Li ve alaşımlarıyla birlikte iki ve üç fazlı çeliklerde; kompozit malzemeler gibi hafif malzemeler olarak değerlendirilmektedir. Çeşitli yapıların hafifliği istendiği gibi mukavemet değerleride yüksek beklenmektedir. İmalatın ve yapı tasarımlarının olmazsa olmazlarından kaynaklı birleştirme ise her metal veya alaşımlarda aynı tepkiyi vermemektedir. Hafif metallerin bazı özellikleri nedeniyle kaynaklanabilirlik değerleri düşüktür. Malzeme teknolojileriyle birlikte "İleri malzemeler" fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri daha üstün, daha hafif, daha az yer kaplayan ve katma değeri yüksek malzemeler giderek önem kazanmaktadır.[1]

Hafif metallerde Mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması gerekmektedir. Hafif metallerin önemi özellikle havacılık, uzay ve otomotiv sektöründe ortaya çıkmaktadır. Yakıt/enerji tasarrufu istenmesi nedeniyle Al ve Mg ön planda tutulmaktadır. Bu sektörlerde parçaların karmaşık şekillerde olması yada boyutları nedeniyle kaynaklı imalata ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak Al gibi metallerin yüzeyinde oksit tabakasının bulunması H afinitesinin fazla olması nedeniyle kaynak proseslerinin zor olmasında etkindir.

## 2. Hafif Metallerin Kaynağı

Koroyon dayanımlarından dolayı kimi uygulamalarda bakır kullanılmaktadır. Genel olarak kaynaklanabilir bir metal olmasına rağmen dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Elektrik iletkenliği gibi bazı özellikleri kaynaklanabilirliğini güçleştirmektedir. Özellikle yüksek ısıl iletkenlik, yüksek ısıl genleşme ve hidrojen hastalığı kaynağa etki eden faktörleri arasındadır.

Bakır ve bakır alaşımları için (prinçler hariç) esas metale uygun bileşimde örtülü elektrotlar günümüzde kullanılabilir. Çelik malzemelerde yapılan kaynaklara kıyasla ergime sıcaklığının daha düşük olması ve kaynak banyosunun akışkanlığı nedeniyle farklı tekniklerin uygulanması gerekmektedir. Bunlara örnek olarak daha geniş bir kök aralığı, daha geniş bir



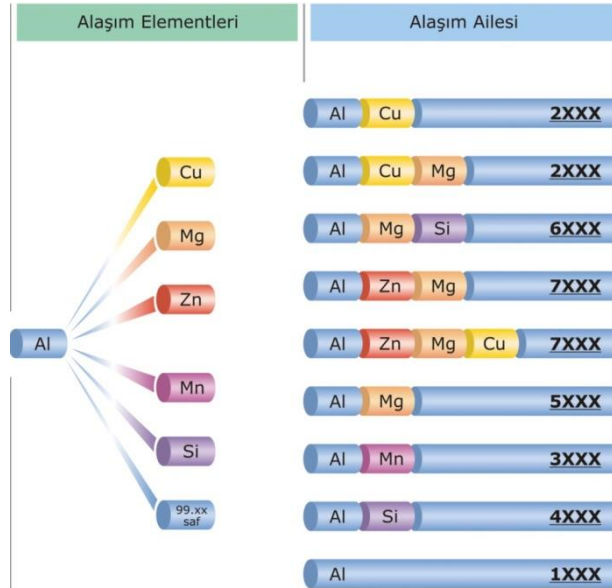
kaynak ağızı, yüksek akım yoğunluğu ile birlikte yüksek derecelerde ön tav ve pasolararası sıcaklık kontrol altında olmalı çok düşürülmemelidir.

Otomotiv sektöründe de kullanılmaya başlayan magnezyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirilmesi için MIG veya TIG yöntemleri kullanılabilir, ancak bu her alaşım yapısı için uygun değildir.

Mg-Al-Zn alaşımlarında (AZ31B, AZ61B, AZ63A, AZ80A, AZ81A, AZ91C ve AZ92A) %10'a kadar alüminyum, tane iç yapısını inceltirerek kaynak kabiliyetlerini desteklerde %1'den fazla çinko içeriği, sıcakta gevrekleşme dolayısıyla kaynakta çatlama eğilimini artırır. Böylece yüksek çinko içerikli ZH62A ve ZK51A alaşımları çatlama çok yatkın olup kaynak kabiliyeti zayıftır.[2]

Bilineceği üzere Mg'da Al gibi, kanağı güçleştiren bir oksit tabakası ile kaplıdır. Kaynak işlemine başlamadan önce birleştirme yapılacak yüzeyin hazırlanması gerekmektedir. Magnezyum ve alaşımlarının kaynaklanmasında 0,8mm den ince ise TIG kaynak yöntemi ile kaynaklamak güç olduğu gibi üst sınır bulunmamaktadır. Fakat 10mm den fazla kalınlıklar için daha ekonomik olması nedeniyle MIG yöntemi tercih edilmektedir. Mg için TIG kaynak yönteminde zirkonyumlu ve toryumlu gibi uzun süreler dayanım sağlayacak elektrotlar tercih edilmelidir.

Alüminyum hem mukavemet değerleri açısından hem de hafifliği nedeniyle özellikle havacılık alanında tercih sebebi olmaktadır. Çeliklere nazaran yaklaşık 1/3'ü kadar ağırlığa sahip olması nedeniyle bir çok sektöre dahil olduğu gibi otomotivde de sıkça kullanılan metaller arasında yer almaktadır. Alüminyum alaşımları aşağıdaki gibi; ana alaşım elementlerine göre farklı serilerde yer almaktadır.



Şekil 1: Al Alaşımları [3]

Bir çok kaynak yöntemi ile alüminyum alaşımlarının kaynağı yapılabilir. Tercih edilen yöntemlerin başında MIG ve TIG yöntemi gelmektedir. Savunma sanayinde ise bu yöntemlere sürtünme, sürtünme karıştırma ve lazer kaynak yöntemleri de eklenmektedir. Çok özel kaynak yöntemlerinden olan elektron ışın kaynağı ise yatırım maliyetleri ve vakum altında olması nedeniyle parça sınırlaması göz önünde bulundurulduğundan pek fazla kullanılmamaktadır.

Alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu kaynak edilebilir, ancak çok az bir bölümü kaynak edilemez olarak kabul edilir. 7075'in örnek olarak seçilmesinin temel nedeni kendisinin en yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarından biri olmasıdır. [3]

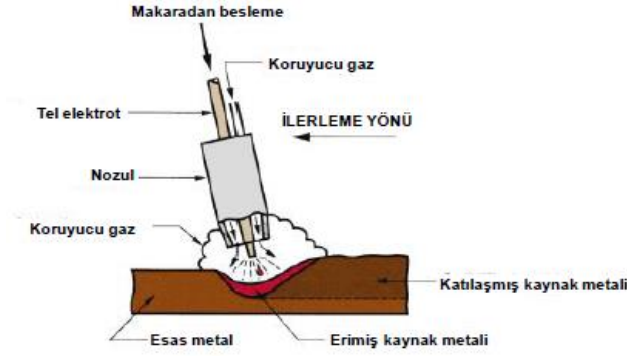
### 3. Hafif Metallerin Kaynağında Kullanılan Yöntemler

#### 3.1 MIG (Metal Inert Gaz) Kaynak Yöntemi

Soy gaz koruması altında sürekli eriyen elektrodla yapılan kaynak yöntemidir. Soy gaz olarak genellikle argon gazı kullanılmaktadır. Hafif metallerin MIG kaynağında elektrot pozitif kutuba bağlanır. Kaynak yapılırken kaynak torcu su veya hava ile soğutulmaktadır.

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte oksit tabakasının kırılması amacıyla darbeli akım sağlayan cihazlarda doğru akım kullanımı söz konusudur.

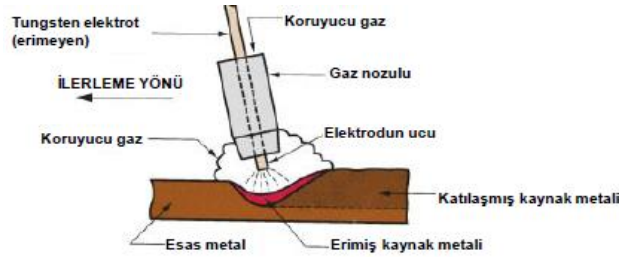
Bu kaynak yönteminde pozisyona göre soy gaz seçimi yapılabilir. Örneğin tavan pozisyonu (PE) için helyum gazı seçilmesi gaz korumasını daha iyi sağlayacaktır. Özellikle Hafif metallerin bu yöntemle kaynaklanması için uygun tel seçimi yapılmalıdır.



Şekil 2: MIG/MAG Kaynağı [4]

### 3.2. TIG Kaynak Yöntemi

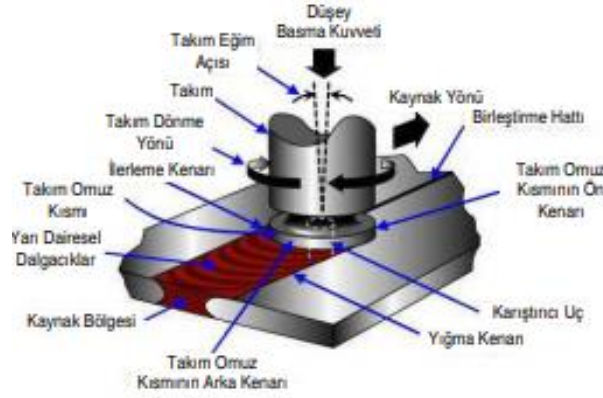
TIG kaynağında tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark teşekkül ettirilir ve bu ark havanın tesirinden argon veya helyum gazı atmosferiyle korunur. Kaynak işlemi için ayrıca genelde ilave metale ihtiyaç duyulur. [5] Kaynak yapılırken kaynak torcu su veya hava ile soğutulmaktadır. Bu yöntemin kullanılmaya başladığı ilk zamanlarda koruma gazı olarak helyum kullanılmıştır ancak helyumun havadan hafif olmasından dolayı koruma tam anlamıyla sağlanamamış argon koruması ile kaynaklı birleştirmeler yapılmaya devam edilmiştir. Helyum aynı akım şiddetinde daha yüksek ark gerilimi verdiği için iletkenliği yüksek malzemelerde (örn: Bakır) kullanılmaktadır. Bu yöntem genelde demir dışı metallerin ve asal çeliklerin kaynaklanmasında kullanılmaktadır. Yöntem genellikle doğru akımda kullanılsa dahi Al ve Mg alaşımlarında alternatif akım kullanılmaktadır. Ark oluşturulmasında sürekli yön değiştirmesi nedeniyle oksit tabakaları hızla bozulmaktadır. Direkt kutuplama bakır gibi hafif metallerin kaynağında uygundur. Ters kutuplamada elektrot fazla ısınır ve bu kutuplama hafif metallerde ince sacların kaynağında kullanılır.



Şekil 3: TIG Kaynak Yöntemi [4]

### 3.3 Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Bir katı faz birleştirme işlemi olan sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak kabiliyeti zor olan malzemelerin birleştirme işlemleri için kısa kaynak süresi, minimum yüzey hazırlama ve otomasyon kolaylığı gibi kendine özgü avantajlarından dolayı uygun bir alternatif kaynak yöntemidir. [6] Hafif metaller bu yöntemle kaynaklanabilirler.



Şekil 5: Sürtünme Karıştırma Kaynağı

Kaynak yapılan metalde üç farklı iç yapı oluşmaktadır. Dinamik Olarak Kristalleşen Bölge (DKB), Termomekanik olarak Etkilenen Bölge (TEB) ve sıvı hal kaynağında olduğu gibi Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) olarak adlandırılmaktadır. [7-8]

### 3.4 Elektron Işın Kaynağı

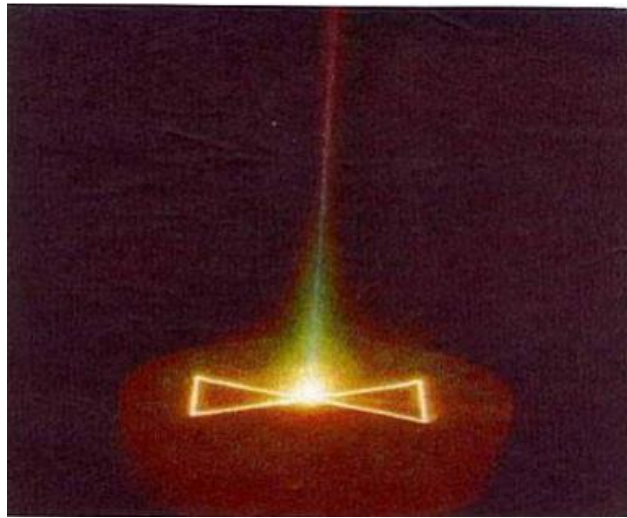
Elektron ışın kaynağı (EİK), ileri teknoloji bir kaynak yöntemi olup, 1950'lerin sonunda bütün dünyada kullanılmaya başlamış ve ilk kullanımları özellikle nükleer endüstrisiyle birlikte havacılık sanayinde olmuştur. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılar yüksek kalite ve güvenilirlik sağlamıştır. Aynı zamanda üretim maliyetlerini de giderek azaltmış olmakla birlikte tüm sanayi parçalarının birleştirilmesinde de yaygın olarak kullanıla gelmektedir. [9]

Elektron ışın kaynağı; yoğunlaştırılmış elektron ışınının oluşturduğu enerjinin, metallerin birleştirilmesinde kullanılan bir prosestir. Elektron açığa çıkması, hızlandırılması ve bir noktada yoğunlaştırılması elektron ışın tabancasıyla yapılır. Bu tabancanın çalışması televizyon ekran düzeneğine benzer şekildedir [10].

#### 3.4.1 Elektron Işın Kaynağının Çalışma Prensibi

Temel olarak elektron ışını; katot (filament) yönlendirme kabı ve anottan oluşur. Sıcak katot veya filament yüksek yayımlı malzemelerden (tungsten veya tantalum) yapılır. Bu yüksek yayımlı malzemeler; tel, şerit veya levha formunda arzu edilen şekilde standart olarak üretilir. Bunların elektron yayması için 2500 °C'in üzerinde direkt veya indirekt olarak ısıtılacak şekilde dizayn edilebilme özelliğine sahip olması gereklidir.

Flamentin yüzeyinden yayılan elektronlar yüksek bir hızla ivmelenir. Katot yönlendirme kabı ve anotun oluşturduğu tabanca sisteminden çıkan elektronlar, elektrostatik alan vasıtasıyla düzenlenmiş ışın haline getirilir. Böylece topraklanmış anot düzlemindeki küçük bir delikten akan elektron kümesi elde edilir. Katot ile yönlendirme kabı arasındaki negatif potansiyel farkın değişimi ile elektron akışı kolaylıkla değiştirilebilir. [10]



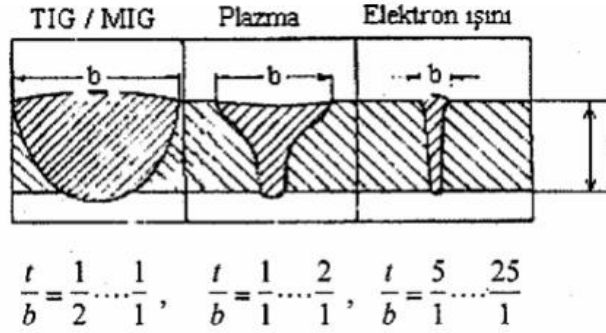
Şekil 6: Elektron Işın Kaynağında Odaklanma Görünüşü[11]

#### 3.4.2 Elektron Işın Kaynağının Avantajları

Elektron ışın kaynağında yüksek kalite, parça yüzeyini bozmayan ve minimum düzeyde ısı bırakan, çok düşük miktarda distorsiyon olabilen, dikış çok derin, çok hızlı bir yöntemdir.

Isı kaynağı olarak elektron ışınının en önemli üstünlüğü, gaz alevi ve elektrik arkına karşılık, kaynak yerlerinde 10.000 kat daha fazla bir ısı konsantrasyonu elde edilir.

Elektrik akımı ve voltaj ile elektron akımını hassas olarak kontrol etmek mümkündür. Kontrol edilen ışına verilen yön ve büyüklükle, kaynaktan sonra oluşması istenen kaynak kabarması ve şekli istenen boyutlarda kesin olarak kontrol edilebilir. Arkın plazma taneciklerinin etkisi, yalnızca iş parçasının yüzeyinde bıraktığı ve bununla birlikte iç bölgelerin ısıtılmasında her yönde gelişen bir 30 ısı dağılımına ayrıldığı için yarım daire şeklinde bir ergime bölgesi oluşur. Elektron bombardımanı altında kaynak yerinin kuvvetli bir şekilde ısınmasıyla hüküm süren yüksek buhar basıncı eriyikte, elektronların enerjisini bırakmadan önce iş parçasının derinliklerine kadar nüfuz edebildikleri kanalın oluşumuna yol açar.



Şekil 7: TIG, Plazma Ve Elektron Işını ile Yapılan Kaynaklarda Ergime Bölgesi Formlarının Karşılaştırılması

Yüksek güç yoğunluğu nedeniyle; bir pasoda, yüksek kaynak hızlarında ve kısa kaynak zamanında kaynak yapılabilir.

Mikron mertebesindeki folyolardan 100 mm'nin üzerine kadar kaynak yapılabilen saç kalınlıklarına diğer kaynak yöntemlerinin hiçbirini erişilemez.

Yüksek vakum altında elektron ışın kaynağı oksitlenmeyi önler.

Büyük ısı girdisi nedeniyle iş parçasındaki distorsiyon, ark kaynağının yaklaşık olarak onda biri kadardır.

Yüksek mukavemetli ve çok sert metallerin kaynak yapılabilmesini kolaylaştırır. Kaynak birleştirmelerinde mekanik özelliklerin bozulması önlenir.

Isıya hassas bölgelere yakın kaynak yapılmayı kolaylaştırır.

Refraktör, reaktif ve farklı metallerin kaynak yapılmasını kolaylaştırır. Yüksek vakum altında 50 cm mesafeden kaynak yapılabilir.

Elektron ışını manyetik olarak saptırılarak değişik biçimlerde kaynak yapılabilir ve kaynağın kalitesinin veya nüfuziyetinin artırılması manyetik ayarlama ile sağlanabilir.

Bir noktaya odaklanmış elektron ışını, kaynak yapılacak parçalar arası mesafenin genişliğine göre ayarlanabilen odak derinliğine sahiptir.

Farklı malzemeler ve bakır gibi yüksek ısı iletkenliğe sahip metallerin kaynak işlemleri yapılabilir. [10]

### 3.4.3 Elektron Işını Kaynağının Dezavantajları

Ekipman maliyeti diğer kaynak sistemlerinden yüksektir. Takım maliyeti yüksektir. Vakum hücresi kapasitesi sınırlı olduğu için iş parçasının boyutları sınırlıdır. Hızlı soğutma oranı yüksek gerilme oluşturarak kırılmaya sebep olabilir. Derinliğin genişliğe oranının yüksek olduğu kısmi nüfuziyetli kaynaklar kök boşluğuna karşı hassastır. Elektron ışın kaynağının bütün modellerinde kaynak sırasında oluşan X ışınlarından çalışanların korunabilmesi için radyasyona karşı koruma yapılmalıdır. Vakumsuz ortamlarda gerçekleştirilen kaynak esnasında oluşan zararlı gazların dağıtılabilmesi için uygun havalandırma gereklidir.

## 4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada hafif metallerin kaynaklanabilirlikleri araştırılmıştır. Alüminyum alaşımlarının bir çok yöntemle kaynak yapılabilceğini ancak yüksek mukavemete sahip 7XXX serisi alaşımların çok özel kaynak yöntemleri olan Elektron Işını Kaynak prosesiyle yapılabilceğinin, bunun yanı sıra soğuk kaynak yöntemleriyle de kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Elektron ışın kaynağında gerçekleştirilen katılaşmanın nano seviyelerde ve mili saniye seviyelerinde olması nedeniyle avantaj sağlamaktadır. 7075 serisi için 2mm levha alüminyum elektron ışın kaynağında birleştirilmiş ve gözle muayene ile birlikte radyografi testlerinden alınan sonuçlar başarılı bulunmuştur. Mukavemet değerlerini ölçmek amacıyla çalışmalarımız devam etmektedir. Hafif alaşımların tamamının bu yöntem ile kaynaklanabileceği ön görülmektedir.

## Referanslar

- [1] İleri Malzemeler, Çağdaş Malzemeler, Durusoy Z., Pamukkale Üniversitesi 2002
- [2] Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Burhan OĞUZ, 1990
- [3] Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı, Can ODABAŞ, ASKAYNAK
- [4] Üretim Yöntemleri, Murat VURAL, İTÜ
- [5] Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, S:85
- [6] Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan takımlardaki geliştirmeler. Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongre ve Sergisi, Ç. ÇAM, S:47-62 Kocaeli 2003
- [7] Avner, S. H. 1974 Introduction to Physical Metallurgy, Ms. Graw Hill, USA
- [8] Pell, M., Steuwer, A., Preuss, M., Withers, P.J. 2003, Microstructure, Mechanical Properties and Residual Stress as a Function of Welding Speed in Aluminium AA5083 Friction Stir Welding, Acta Metallurgica, Vol.51, S: 4791-4801
- [9] Adnan Ç. "Elektron ışın kaynağı ve uygulamaları" Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006, 51-61
- [10] Svl. Müh. Kürşat E. "Elektron ışın kaynağı ve jet revizyon müdürlüğündeki uygulamaları" 1nci HİBM Komutanlığı Jet Revizyon Müdürlüğü, 2004
- [11] AWS Welding Handbook, 1991

# A REVIEW ON BRAKING SYSTEMS USED IN RAILWAY VEHICLES

Erhan Selçuk<sup>1</sup>, Mehmet Erdi KORKMAZ<sup>2</sup>, Mustafa GÜNAY<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Karabük University Natural and Applied Sciences, Karabük, Turkey, e-mail: erhanselcuk10@gmail.com

<sup>2</sup> Karabük University Engineering Faculty, Karabük, Turkey, e-mail: merdikorkmaz@karabuk.edu.tr

<sup>3,\*</sup> Karabük University Engineering Faculty, Karabük, Turkey, e-mail: mgunay@karabuk.edu.tr

## Abstract

The improvements which need in railway vehicles made necessary also brake systems developing. The main factors affecting the performance and functioning of the brake system are brake force, mass and speed of the train, stopping distance and road curvature. With the operating speed exceeding 120 km/h, very different braking systems and equipment have been developed. In this work, the brake systems such as air brakes, dynamic brakes, parking brakes, vacuum brakes, electro-pneumatic brakes have been considered. Especially, evaluations have been made on brake disc-pad systems, which represent the most important components in terms of safe navigation for high-speed trains operating at speeds of 200 km/h and above. For this purpose, experimental and numerical analysis studies on braking system interactions based on brake disk-pad geometry and material properties were investigated. As a result of this study, important information will be gained on the basis of the detailed analysis of the scientific and applied researches which will contribute to the productivity to the institutions and organizations that are in the design and manufacturing activities on the braking systems of our country railway vehicles.

**Keywords:** Railway, Braking system, Brake disc, Brake pad, Disc-Pad Materials

## 1. Introduction

Transport is one of the key sectors that play an important role in achieving the goals of poverty eradication and sustainable development. However, most transportation problems are due to brake system failure. Train braking is a very complex process specific to rail vehicles and is of great importance for the safety of traffic. This complexity results from the occurrence of many events in different types of mechanical, thermal, pneumatic, electrical, etc. during braking. The actions of these processes take place at various points of the vehicle at different densities and occur on different parts of the train. The most important problem is that each interacts positively to ensure efficient, accurate and safe braking actions for the intended scope [1]. The braking process is actually a matter of energy balance. The purpose of the braking system is to convert the mechanical energy of the moving vehicle to another form, resulting in a reduction in the speed of the vehicle. Kinetic energy is transformed into thermal energy using dry friction effects and then spread to the environment [2].

An important element of railway service safety is to provide highly reliable braking systems. Railway vehicles usually use pneumatic shoe type or disc type brake systems. These devices are heavy-duty units subject to high contact pressure and temperature, friction and moisture. Such operating conditions result in serious wear of the braking system components and lead to frequent changes of the brake blocks [3]. Therefore, improving the design of the brake system is an important practical problem. Shoe brakes are simple and cost-effective devices. However, they cannot achieve the desired braking performance due to unacceptably high thermal loads for high thermal heavy loads. This is the main reason why high-speed passenger rail vehicles use disc brakes. A disc brake is a complex mechanical system with relatively low maintenance costs, which ensures smooth operation during braking and low noise levels. The processes occurring in the braking systems during operation are associated with contact interaction and significant heat dissipation. A highly complex mathematical definition of these

processes makes the simulation of brake systems a difficult problem. Thermomechanical, dynamic and tribological phenomena must be considered simultaneously for the correct simulation [4].

Various braking systems have been developed over time for many different factors such as construction, design and operation, speed, axle load, type, construction and technical characteristics of vehicles, traffic conditions, etc. [5]. To develop brake pads with a maximum of performances, full vehicle road and laboratory-scale testing under different loading, sliding speed, temperature, and pressure are requested by manufacturers and researchers. In fact, the innovation in the brake pad design required numerous test methods based on laboratory developments and inservice control, ranging from “small coupon rub tests” to “full-sized vehicle, onroad tests”. Characterization tests are the most used tests to study new formulation of brake pads based on experimental and empirical approach while performance tests concentrate on the pad service efficiency, i.e. fading and recovery behaviors at different braking situations (urgency, accumulative, and deceleration braking) [6]. On the other hand, very strict features are applied for braking system maintenance, which means low cost and long life. Therefore, the development of effective brake pad materials is particularly difficult due to the interaction of the different components and the occurrence of the coupling effects. Brake disc materials used in railway transportation are cast iron, steel and metal matrix composite. Cast iron application of these materials is the most common. The most important parameter that determines the material selection of the disc and pad is temperature. Since the kinetic energy of the vehicle is transformed into heat energy by friction force, the most important deformations are heat source. In a typical rail vehicle, the maximum temperature on the brake disc surface can reach almost 600 °C [7,8]. Several researchers have found that there are thermal fatigue cracks on the friction surface of the brake discs used in railway vehicles after the braking. These brake discs produced using forged steel are subject to severe temperature changes due to repeated braking. For vehicles running at an average speed of 300 km / h, after repeated braking cycles, hot spots and thermal cracks occurred on the friction surface of the brake discs. Overheated hot spots on the friction surface have been investigated by many researchers [9,10].

Brake system parts are manufactured in a variety of materials due to the combination of parameters such as weight, braking time, wear, resistance to high temperatures in the developed brake systems. In the braking system, the material and geometrical properties of the components which interact directly with each other are of great importance. In this sense, the disc braking system applied on very high-speed trains using brake systems in the adhesion effective braking group should be handled differently. In this study, detailed information about the brake systems used in railway vehicles, braking mechanics in brake system design, brake disc-pad materials and studies on the selection of these materials are presented.

## **2. Braking in Railway Vehicles**

The most common duty of braking in railway vehicles is compliance with the principle of reliability. In this sense, the braking systems convert all or part of the kinetic energy of the moving vehicle into other forms of energy to reduce the speed. If necessary, the braking systems put it in posture position. It also helps to prevent the forces due to weight on gradients to maintain the vehicle's constant speed, and to preserve the vehicle's condition on an inclined track with environmental influences such as wind and rainfall [11]. The main purpose in design and operation is to provide the necessary braking capacity according to the type of railway vehicles and the specific operating speed according to the traffic safety. The braking capacity is an important feature of any railway vehicle and train and will stop the entire design and functional capacity from the maximum operating speed relative to the maximum braking forces developed during emergency braking. The braking capacity of a rail vehicle depends on several factors, and the most important are: speed, weight, brake type, constructive and functional characteristics of the brake system, braking characteristics, thermal events, etc. The evaluation of the braking capacity of a train includes additional parameters such as train type, composition and length. Therefore, direct and consistent evaluation of braking capacity becomes difficult [12].

For railway vehicles, the maximum possible braking force is important for braking systems connected to basic wheel / rail adhesion. The main requirement is that the braking force ( $F_{b, \max}$ ) on the wheel rail contact surface does not exceed the wheel-rail adhesion force ( $F_a$ ) for design purposes considered in normal conditions (Eqn. 1).

$$F_{b, \max} \leq F_a \quad (1)$$

Considering a vehicle with a  $Q_v$  weight, Equation 1 receives special expressions if equipped with "n" brake shoes (Figure 1a):

$$F_{b, \max} = \sum_{i=1}^n (\mu_s \cdot P_{s,i}) \mu_a \cdot Q_v \quad (2)$$

n brake disc, respectively (Figure 1b):

$$\frac{4 \cdot \mu_d \cdot r_m \sum_{i=1}^n (P_{d,i})}{D_o} \leq \mu_a \cdot Q_v \quad (3)$$

Here:  $\mu_a$  is the wheel / rail adhesion coefficient,  $P_s$  and  $P_d$  are the clamping force on a brake shoe respectively, while the coefficient of friction between the shoes / wheel tread and the brake shoe / disc is  $\mu_s$  and  $\mu_d$  respectively. The wheel diameter and the center friction radius are  $r_m$ .

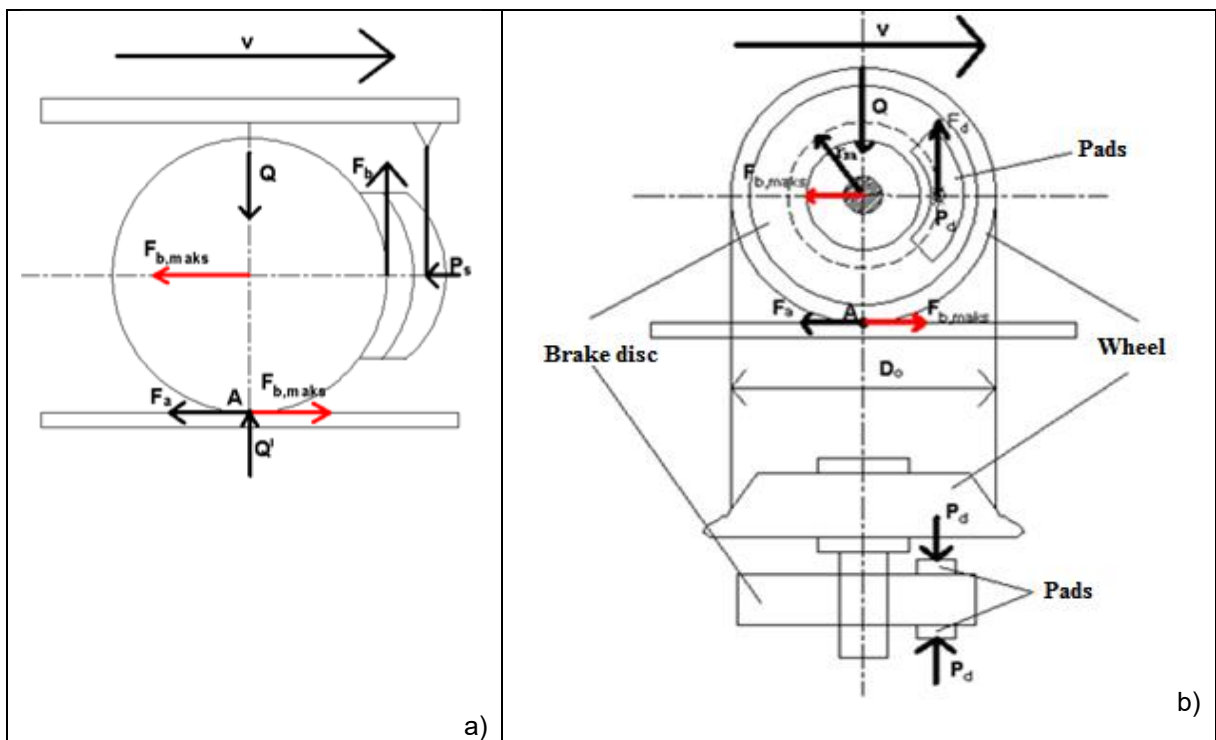


Figure 1. Adhesion-dependent wheel / rail braking forces. a) Brake pads b) Disc brake

The braking forces are mainly influenced by the friction coefficients which are dependent on the different parameters that play an important role on the braking properties of the vehicle. There are many factors that determine the evolution of friction coefficients, the most important of which is the speed of operation, clamping forces, surface contact pressure and temperature. While the friction coefficient between the cast iron braking shoe and the tread back is known to be dependent on the instantaneous travel speed, the application force and contact pressure on each shoe, the independence of the friction coefficient on these parameters allows the use of plastic (composite) materials for the brake shoes or pads (Figure 2). In the practical calculation, different empirical relations are determined by the experiments for friction coefficient between cast iron brake shoes and wheel. One of them is given in Eqn. 4. Here, the operating



speed is  $V$  (km/h), the applied force on a brake shoe is  $P_s$  (kN) and the gravity acceleration is  $g$  ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

$$\mu_s(V, P_s) = 0,49 \cdot \frac{\frac{10}{3,6} \cdot V + 100}{\frac{3,6}{3,6} \cdot V + 100} \cdot \frac{\frac{875}{g} \cdot P_s + 100}{\frac{2860}{g} \cdot P_s + 100} \quad (4)$$

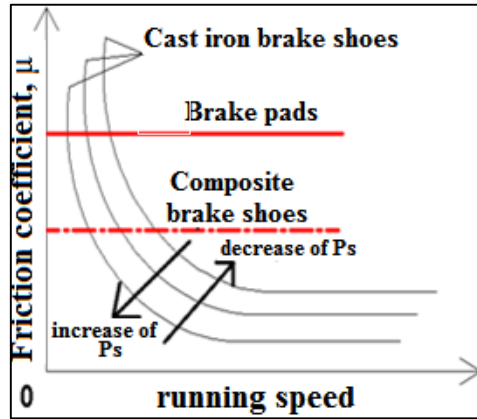


Figure 2. Friction coefficient-running speed relationship for different brake systems.

In the case of plastic-based composite brake shoes, the friction coefficient is about 0.25 and the brake pads are around 0.35. Considering the high value (0.35) of the friction coefficient, which is independent of the operating speed mentioned above, according to international regulations, the disc brake is essential as a basic brake system for vehicles operating at 160 km/h or more. The main problem is the friction interface between the brake pads and the disc, and if the temperatures of  $350\text{-}375 \text{ }^\circ\text{C}$  are exceeded, serious and abrupt wear of the pads occurs. In practice, the thermal regimen indicates the need for several brake discs mounted on the wheelset up to four in high-speed vehicles.

Vehicle mass is one of the factors affecting the necessary braking force and is proportional to the kinetic energy that must be dispersed during braking operations. When the mass of the vehicle has significant variations, the braking forces should be adjusted later to prevent the wheels from slipping and locking the wheels, prolonging the braking distance unacceptably, and the development of dynamic longitudinal in-train reactions. According to the operating speed and type, there are two technical possibilities to solve this situation: a stepwise or self-adjusting load-proportional braking system. The first one is used for freight wagons with operating speeds of less than 120 km/h, and the second is required for passenger cars and freight wagons operating at 120 km/h or more. The braking distance is generally defined as the distance covered by a vehicle or a train. Because it is the minimum distance from the maximum running speed to the full stop by an emergency braking command using the available full braking capacity. When braking to determine the braking distance of a rail vehicle analytically, it is important to consider a wide range of factors such as operating speed, vehicle weight, the development of braking forces depending on the type, operational characteristics of the braking systems, and the geographical structure of the road. For trains, the length of the train, its weight and even the mass distribution in the trunk, the brake spread rate, etc. should also be added.

When theoretically determine the braking distance  $S_b$  there are considered first a braking preparation space  $S_p$  (m) covering the phenomena immediately subsequent acting the driver's brake valve until maximum pressure is established in all brake cylinders, continued by the effective braking space  $S_{ef}$  (m) covered with full braking capacity until stop:

$$S_b = S_p + S_{ef} \quad (5)$$

Generally, for a single vehicle or for a train in electric command supposed to propagate almost instantaneous along the train, the braking preparation space can be calculated considering the pressure evolution during the filling time  $t_f$  (s) as a step function, at half of the duration the pressure becoming instantly maximum, determining beyond that moment the action of full brake capacity:

$$S_p = \kappa \cdot \frac{V_{max} \cdot t_f}{3,6} \quad (m) \quad (6)$$

Here,  $V_{max}$  (km/h) is the operating speed of the braking command and  $\kappa = 0.5$ . For trains equipped with the classic UIC air brake, the  $\kappa$  factor is recommended between 0.54 and 0.7, depending on the length of the train and the type of braking. Considering the effective braking space, the kinetic ( $E_k$ ) and potential ( $E_p$ ) energy of the vehicle/train is determined by the resistance forces and the braking work. Since the railway vehicles have significant masses in rotation, the kinetic energies of the rotation should not be neglected:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{I}{m \cdot r^2}\right) = \frac{m \cdot v^2}{2} \cdot (1 + \rho) \quad (7)$$

Here,  $V$  (m / s) is the operating speed,  $m$  (kg) is the mass of the vehicle,  $I$  (kg.m<sup>2</sup>) is the moment of inertia of the wheel assembly,  $r$  (m) is the wheel radius and  $\rho = I / (m \cdot r^2)$  is a term covering the return mass. Potential energy depends on the road slope  $i$  (mm / m) and distance "s" (m) traveled at  $g = 9.81$  m / s<sup>2</sup>:

$$E_p = m \cdot g \cdot s \cdot \frac{i}{1000} \quad (8)$$

Therefore, the effective braking distance ( $S_{ef}$ ) according to the previously presented evaluations can be found from Equation 9:

$$(1 + \rho) \cdot \frac{m \cdot V_{max}^2}{2} + m \cdot g \cdot S_{ef} \cdot \frac{i}{1000} = \int_0^{S_{ef}} F_b ds + \int_0^{S_{ef}} R ds \quad (9)$$

Here, the instantaneous maximum braking force is  $F_b = f(v, vb.)$  and the resistance forces is  $R = f(v, v^2, vb.)$ .

Considering the given issues, to address the current problems related to the operational safety of the railway vehicles related to braking, not only for each rail vehicle, but also to accelerate the braking capabilities of the trains, which allow for acceleration, it is necessary to define a specific term that will accurately and adequately determine in accordance with its characteristic parameters. This particular term is referred to as braked mass, expressed in tons. This term means the characteristic separation of the freight trains, which are commonly used by the handbrake; the worst possible situation during special operation is the locking of all wheel sets due to excessive movement of the braking means. Under these conditions, the maximum braking force,  $F_{b,max}$  (kN), is only determined by taking into account the relatively constant friction coefficient  $\tau$  between the locked wheels and the rolling surface of the rails, which are connected to the mass  $M$  [t].

$$F_{b,max} = \tau \cdot M \cdot g \quad (10)$$

Up to now, not only the construction and operation of the brake devices fitted to the vehicles to determine the braked mass, but also the friction characteristics at the instant operating speed, which regulates the braking action, pressure forces, the specific contact pressure, the environmental conditions and the effects on the friction coefficients of these conditions, as well as the wheel / the effect on rail adhesion, not allowing the wheels to lock during braking actions, the braking rate, the specific pneumatic events determining the pressure characteristics of air distributors, the effect of thermal events and the resulting heat dissipation, vehicle / train resistances and so on. numerous processes and events were considered.

As a result, the value of the braked mass depends on many factors, the process and the complex phenomenon, which makes it extremely demanding based on analytical calculation, proving the accuracy of the actual braking movements, given the importance of work safety. For this reason, the determination of the braking mass of railway vehicles is mainly based on tests and tests, but in some specific cases there are relationships based on the test results applied. Methodologies and procedures for determining the braked mass are regulated in UIC 544-1. In order to be more useful in practical use, the braked mass percentage ratio “*b*” defined as the ratio between the braked mass *B* (t) and the mass *M* (t) of the train or vehicle is defined:

$$b = \frac{B}{M} \cdot 100 \% \quad (11)$$

In order to evaluate the braking capacity, a mechanic-based verification is required by using braking mass *B*, instead of braking distance *s* or percentage braked mass percentage *b*. Mechanical correlations between constant acceleration *d*, braking distance *S* and stopping time *t* when considering a train with mass *M* at *V<sub>o</sub>* running speed:

$$S = \frac{1}{2} \cdot d \cdot t^2 \quad ; \quad V_o = d \cdot t \quad \rightarrow \quad S = \frac{V_o^2}{2 \cdot d} \quad (12)$$

The total braking force *F<sub>b</sub>* of the train is proportional to the total normal applying forces acting the brake shoes on wheel tread or the brake pads against the discs  $\sum P_N$ :

$$F_b = \xi \cdot \sum P_N \quad (13)$$

Ratio coefficient  $\xi$ , can be  $\xi = \mu_s$ . Friction coefficient between wheel and shoe for a vehicle equipped with disc brake,  $\xi = \frac{4 \cdot r_m}{D_o} \cdot \mu_d$  ( $\mu_d$  friction coefficient between brake pad and disc), *D<sub>o</sub>* is the wheel diameter and *r<sub>m</sub>* is the average friction radius. In addition, the braked mass is proportional to the total normal application forces:

$$B = \chi \cdot \sum P_N \quad (14)$$

The proportional coefficient depends on the structure and operating characteristics of the  $\chi$  vehicles. Neglecting the effect of other resistances and considering the definition of the percentage of braked mass given by the equations (Equation 11):

$$d = \frac{F_b}{M} = \frac{\xi \cdot \sum P_N}{M} = \frac{\xi}{\chi \cdot M} \cdot B = \frac{\xi}{\chi} \cdot b$$

When editing with Equation 12:

$$S = \frac{V_o^2 \cdot \chi \cdot M}{2 \cdot \xi} \cdot \frac{1}{B} \quad (15)$$

and

$$S = \frac{V_o^2 \cdot \chi}{2 \cdot \xi} \cdot \frac{1}{b} \quad (16)$$

### 3. Brake Systems Used in Railway Vehicles

The braking methods used in high-speed trains can be classified into two types: adhesion braking and non-adhesion braking (Figure 3). In adhesion braking, the created force is limited by the maximum force between the wheelset and the rail; however, this limitation does not exist in non-adhesion braking. Currently, adhesion braking methods are commonly used on high-speed trains. As an example, service braking is performed using a regenerative brake and disc brake and is a kind of adhesion braking, and emergency braking is performed entirely using a disc brake driven by compressed air. Since the

adhesion coefficient decreases as the running speed of the train increases, the braking force produced using the adhesion braking method is limited. Therefore, non-adhesion braking approaches such as eddy current braking, electromagnetic rail braking and aerodynamic braking are of considerable interest as techniques to deal with the problem of effective braking at high speeds [13].

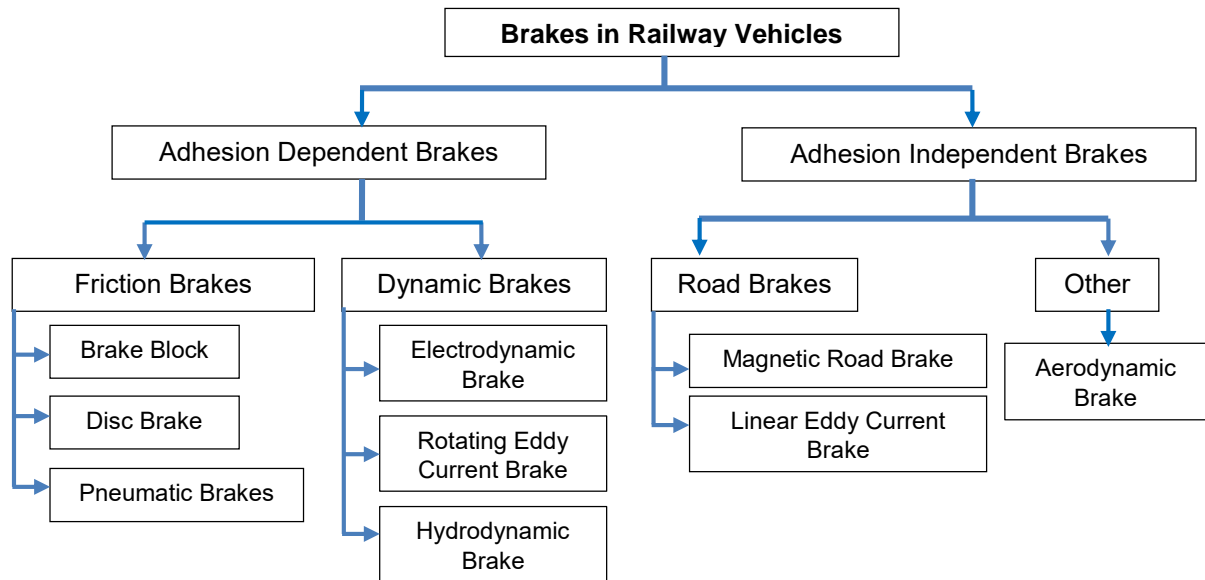


Figure 3. Classification of brake systems used in railway vehicles [14].

### 3.1. Compressed Air Brakes

This brake control was quickly abandoned, the main reason being that a fault in the general pipeline leads to complete releasing of the brake without the driver to be warned in some way and without the possibility of restoring the action of the brakes, aspect particularly dangerous in terms of safety of the traffic. The use of straight brake system involves a number of disadvantages, such as a long duration of the braking propagation rate in the long of the train, high pressure differences between the brake cylinders in the transitional stages, development of large longitudinal reactions that may affect traffic safety and comfort of passengers because of slow braking wave propagation. Also, the straight air brake system requires a large amount of compressed air when commanding braking action, which, in case of long trains, involves the use of large main reservoirs. For these reasons, the straight air brake is now used on railway vehicles only as complementary brake for locomotives, railcars and some special vehicles.

The indirect compressed air brake system was conceived in order to eliminate the main disadvantage of straight brake system. The main operational particularity is that brakes are released as long as in the train's brake pipe pressure is maintained the regime one. Generally, almost worldwide the regime pressure in the general air brake pipe system has been established at 5 bar. Air pressure in the brake cylinder depends on the brake pipe pressure according to UIC brochure no. 540 requirements. The main advantage of the indirect air brake is the safety on operation, due primarily to the operating principle that makes it an automate brake, meaning that any accidental important drop of air pressure in the general air pipe determines an emergency braking command for the entire train brake system, independent of driver control. Also, by the operation, one could be put to reach a simple and safe passenger braking control of the train for emergency situations by establishing a direct link of the general pipeline to atmosphere with an alarm signal [12].

### 3.2. Brake Block

It is the most used brake system in railway vehicles. It is a braking system which is used as brake force of friction force which is formed as a result of friction of brake shoes called "*Brake Block*" to wheel rolling surface. The pressure of the "*Brake Block*" on the wheel is provided by a pressure force. If this pressure is supplied manually, the handbrake is called compressed air brake if supplied with compressed air. As a basic braking tool, rail type compressed air brakes are used in railway vehicles. The brake shoes called "*Brake Block*" are manufactured by a special shape from cast iron or composite products (composite). "*Brake Block*"s are manufactured with a thickness of 60 mm and the thickness is changed to 10 mm [15].

### **3.3. Disc Brakes**

The disc brakes serve to dissipate the brake energy to heat and to remove this heat by means of the cooling fins. The most commonly used design types are ventilated axle-mounted brake discs and wheel-mounted brake discs. Non-ventilated brake discs are very rare. Disc brakes are required to reduce the thermal stress on the wheel when a large amount of brake energy is converted. Therefore, disc brakes are mainly used in passenger cars, wagons and subway trains. When the combination of the brake disc and the pad materials is optimized for the wheel, the performance of the brakes is higher than the possible braking performance. Disc brakes are also important because of their relatively low braking during braking and braking with a relatively simple braking control. The most important disadvantages of disc brakes are that special indicators are required to perform brake tests and that wear checks of the brake disc and brake pad require more time and energy compared to the pedals. Disc brakes consist of brake cylinder, gap adjuster, brake caliper, brake pad holder, brake pad, brake disc. The brake effect is created by the pad on the disc. The average friction radius is an important factor in calculating the braking effect of a disc brake. Because there is more radial skidding speed on the outside, the compression force must act on the center of gravity in order to achieve constant wear on the pad. Unlike soapy brakes, the design of both the material and the disc can only be selected from the point of view of the brake engineering. On disc brakes, the brake pad made of heat-resistant friction material pressures against the brake disc. The number of brake discs required depends on the required brake force and thermal flexing. The single brake disc is normally part of the wheel set. The brake disc can be mounted on the wheel disc as a wheel-mounted brake disc or axle-mounted brake disc. In some exceptional cases (eg due to ground conditions), a brake disc can be mounted directly on the motor shaft or on a separate brake shaft [14].

### **3.4. Electrical Controlled Electro-Pneumatic Braking (ECP)**

The ECP brake system uses modern electronic techniques to overcome air braking problems on long freight trains. The pure-air-controlled braking system, invented by George Westinghouse in the 1860s and used in almost all freight trains in the United States and around the world, suffers from two major problems. During the journey, air transmissions take a long time and the air does not have a regulated release. In a set of 150 cars, the pressure on the train line from the locomotive can be 150 seconds. In addition, it is necessary to wait for the reservoirs to be filled again in order to allow the braking to be fully released or to be re-fed. Electrical control can overcome these challenges. ECP refers to the electronically controlled pneumatic brakes whose key word is Electronic control as opposed to Electrical. Older systems fitted to passenger trains (E-P brakes) use many train wires to operate individual valves or variations to replace cables to control brakes. Most of these systems use a second train line for the main reservoir air supply and do not have the built-in two-way communication feature of ECP systems. With an ECP, a vehicle can diagnose itself, report information to the engineer, and only need a standard train pipeline [16].

### **3.5. Electro-Pneumatic Braking (EP)**

In electro-pneumatic braking, the pressurized air brake is controlled by electric brake and drain solenoid valves. It is the characteristic of this brake that the braking need signals are at the same time throughout the whole train, even on very long trains. This system has a control box on top of the engineer's console. When the brake is applied, the engineer presses the button until the reader shows the amount of brake cylinder pressure that the reader wants. The button is released, the controller then codes and sends the signal to all vehicles. The vehicles receive and interpret the message. They then allow the compressed air to travel from the reservoirs to the brake cylinder until the desired cylinder pressure is reached. Microprocessors in vehicles continuously monitor the brake cylinder pressure against leakage and maintain the desired pressure [16]. This braking system provides the desired conditions by the railway operators in terms of reducing the braking distance and keeping the reactions arising from the buffer in the emergency braking at small values, as well as the braking and braking in a gradual way. The "Le Mistral" train consisting of 17 cars in France has gained 150 meters of braking distance thanks to electro-pneumatic braking at 160 km/h [17].

### **3.6. Dynamic Braking**

In dynamic braking systems, the energy required for braking is obtained from the kinetic energy of the train system. The force created by this energy and the force created by this power is applied in the opposite direction to the direction of rotation of the wheels and another braking force than the pneumatic braking is created. Even according to the weight of the train system and the descent value of the ramp, there may be no need for a pneumatic brake up to a certain speed. Therefore, since the pneumatic brake system is used less, the economy is achieved significantly since the brake shoe wear is less. In the case of electric drafting systems, the return of the kinetic energy in the system to the electric energy and the return to the air line in the case of regenerative (feedback) system also provides the advantage of a second economic contribution. This advantage is around 15% -20% energy gain. Even in diesel electric and electric drafting systems, it will be possible to convert the kinetic energy into electrical energy and to supply the auxiliary circuits of the towing vehicle (compressor motor, traction motor cooling fans, etc.), the additional strengths of the passenger carriages. In addition to pneumatic and dynamic braking systems, magnetic brakes are also used for stopping the train at a shorter distance, in case of danger, in very fast passenger train sets [18].

#### **3.6.1. Rotating Eddy current braking**

The eddy current brake system is a dynamic no mechanical contact one, based on the action of a magnetic field operating across an air gap between a set of electromagnets oriented successively N-S poles versus a metallic mass. Consequently, it is a wear-free and silent system, requiring minimal maintenance. Eddy currents are induced by movement in a magnetic field and the kinetic and, eventually, the potential energy of the train is absorbed by the metallic mass and converted into heat that dissipates in the environment [12].

The rotary eddy current brake uses as metallic mass disks mounted on the axle or the wheels themselves, which rotate towards the electromagnets set in a housing and disposed also in alternating sequence of north and south poles (Şekil 4). The housing can be attached directly within the bogie frame, or can be supported on the wheelset, but in that case it must be secured against rotation. The first solution is simpler as design, but due to vertical and transversal relative displacements between the wheelsets and bogie frame one must achieve a large enough air gap, which consequently requires a higher excitation power. The second solution allows a smaller air gap, but the construction is more complicated and expensive and determines an increase of the unsprung weight of the vehicle, particularly undesirable in the high-speed domain. There are at least two major disadvantages of rotary eddy current brake. Due to the fact that the retarder couple is developed directly on the wheelset, it is an adhesion dependent brake and consequently unable to enhance the braking capacity of the mandatory basic system. The other is determined by thermal aspects, limitations being caused by the

possibilities to dissipate the heat generated by the eddy currents in a relatively small mass, aspect enhanced due to specific aspects if the system operates on wheels.

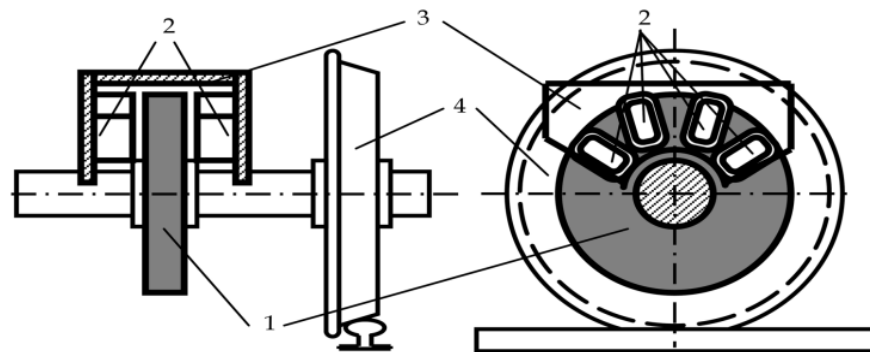


Figure 4. Rotary eddy current brake: 1. Metallic disc, 2. Magnets, 3. Housing, 4. Wheel.

### 3.6.2. Electro-dynamic braking

The electro-dynamic brake is the brake that runs without the wear for the traction vehicles. This brake is wear-free but depends on the adhesion between the wheel and the brake, so that the risk of excessive braking occurs with the combined brake. This braking system, especially in ramp-down lines, converts the vehicle's torque into energy [17]. Braking system used is electric trains is electrodynamic braking that converts the motor into a braking generator dissipating the kinetic energy in the form of heat. Regenerative braking uses the generated electricity instead of dissipating it as heat and is becoming more common due to its ability to save energy. The traction motor drives and accelerates the train, during braking and it acts as an electric generator instead, forming part of a circuit that consists of a rheostat, armatures and a field system. Electricity is consumed by the main resistor, which converts kinetic energy of the train into heat and acts as a brake. Regenerative braking uses the same type of circuit, however the electricity generated by braking is not consumed by rheostat. It is transmitted to the overhead wire. The flow of this electricity is controlled by a controller under the pantograph that opens and closes within fraction of time. Electrodynamic brake systems are economical to use because they do have friction elements, as in mechanical brake systems [5].

### 3.6.3. Hydrodynamic Braking

Fluid passage can be used to provide additional brake clutch for frictionless braking operation in the case of power transmission of the traction vehicles. This friction heat in oil is removed by heat exchangers. The brake force is controlled by the regulation of the filling. The more advanced brake engineering characteristics are similar to those in the electrodynamic brakes. The hydrodynamic brake, like the electrodynamic brake, can be used in the simplest way completely independent of the compressed air brake. Especially on long ramps down the road, the brake shoe and the pad are protected, or the wheel is less worn. The braking effect is caused by friction in the circulating oil flow between the rotating turbine gears in the gear unit. The energy required and consumed for this is associated with the braking performance [18].

### 3.7. Aerodynamic Braking

Aerodynamic braking is increasingly drawing attention from researchers since it is a clean and non-adhesion braking method. In order to enhance the running resistance of a highspeed train when braking, aerodynamic braking increases the surface area of the brake panel so as to increase the windward area of the entire train. Aerodynamic braking transfers the kinetic energy of the train by making use of friction between the running brake panel and the ambient air; it is then dissipated into the surrounding atmosphere [19]. Figure 5 gives an illustration of the operating principle of a kind of aerodynamic

braking. When the aerodynamic braking device is operating, the brake panel blocks the wind in front of it. As a result, a negative pressure zone form behind it. The pressure difference between the two sides of the brake panel provides the aerodynamic resistance for braking. This aerodynamic braking force is proportional to the square of the relative speed between the train and the ambient air. The higher the running speed of the train, the more efficient the aerodynamic braking method [13].

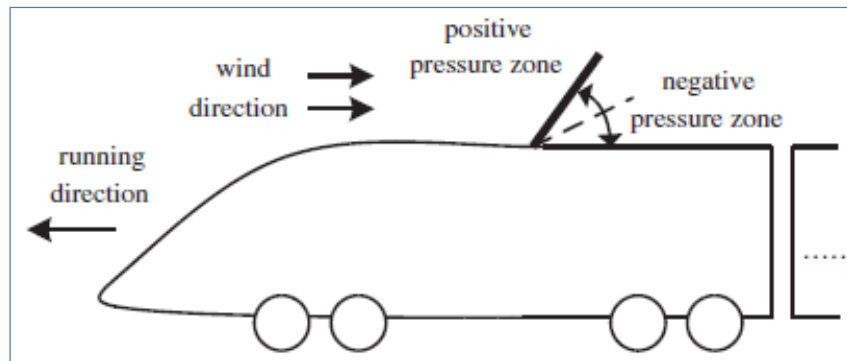


Figure 5. Aerodynamic braking process.

#### 4. Material Inspection of Brake Disc-Pad Systems

Glass fiber, aramid fiber, iron powder, aluminum and copper are used as structural materials in composite brake pad. They provide hardness, strength, thermal stability; wear resistance and friction coefficient stability to main body. Most used fillers are BaSO<sub>4</sub>, potassium titanate, aramid fiber, CaCO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mica and vermiculite. Fillers are used in brake pads to improve mechanical durability, hardness, thermal and frictional stability and wear resistance. They also have positive effects on cost and production. They are produced from steel wool, rock wool, glass wool, ceramic fibers such as silicon carbide and alumina fibers, aramid fibers, copper fibers and aluminum fibers. These materials can be used either individually or the combination of them in different compositions by mixing. Fillers have effects on wear resistance, cost and production [20]. The materials used in the brake discs of rail vehicles are given in Figure 6 depending on the rail system vehicles.

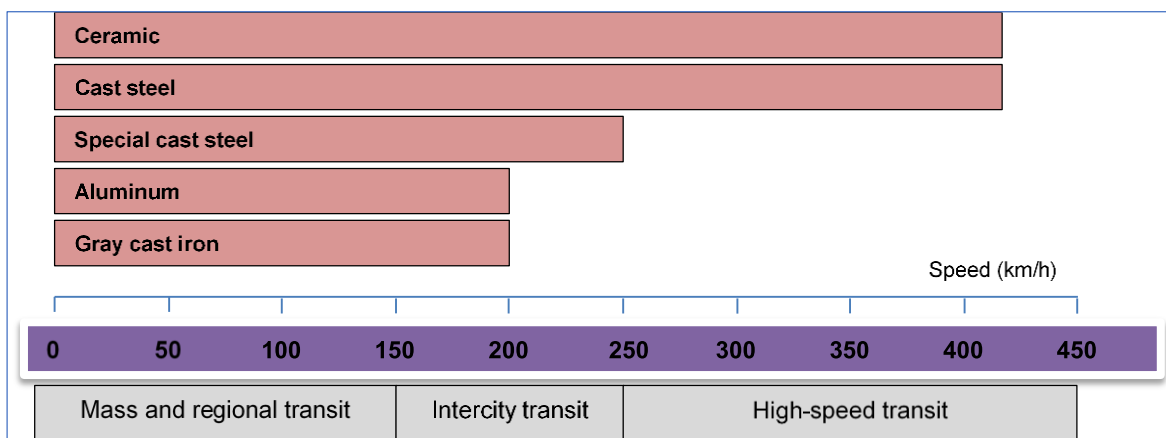


Figure 6. Brake disc materials used in railway vehicles [21].

In rail system vehicles, cast iron class materials are often used as brake disk materials, which exhibit relatively better metallurgical stability behavior. Especially the brake discs of the rail vehicles operated on conventional lines are made of cast iron. In cast iron used in high speed vehicles, there are Ni, Cr and Mo is special chemical compositions. As it is understood from this situation, the brake discs used in high-speed rail vehicles should have higher strength and more resistance to thermal loads. The brake



discs used in Y32 bogies are also manufactured from GG-25 quality material. This is due to the high thermal conductivity, high thermal dissipation power, resistance to thermal loads, low cost and simplicity of production. Another cast iron grade used in the manufacture of these brake discs is spheroidal graphite. The choice of this material is mainly due to higher toughness behavior than lamella graphite [22,23]. The toughness behavior is of great importance, especially in the brake discs used in rail vehicles, since it is necessary to meet the thermoelastic-plastic stresses close to the yield strength that can occur in the braking envelope [24].

Composite materials such as piece integrity, light weight, high strength, impact resistance and long service life, provide advantages in wide usage areas. The reinforcing material in the composite material structure provides the strength and load bearing property of the composite material. The matrix material prevents crack propagation in the transition to plastic deformation and delays the breakage of the composite material. In this sense, aluminum matrix composites (Al-MMK) are seen as the most suitable for brake discs of railway vehicles. In the work done for the 20% SiC particle reinforced AlSi brake disc and Cu-1-5Gr brake pad, the abrasion amounts of these friction components were too small to be calculated, the reason was the increase in the amount of slip due to the increased load of aluminum and the oxidation formed on the surface of the disc. Increasing the amount of graphite in the experiments caused a decrease in the coefficient of friction [25]. Also, iron-copper-based friction material which has a nearly same content of iron and copper possesses both above-mentioned characteristics such as excellent mechanical properties, high thermal conductivity, and low wear resistance. Generally, powder metallurgy friction material can be applied in planes, trucks, trains, and any heavy machinery products with a heavy braking load and extremely high speed [26].

Polymer matrix linings consist of fibrous structural materials, metal or mineral filler particles and solid lubricants in a polymer matrix. Since the selection and ratio of these materials are primarily effective on braking performance, the effects of different materials and different ratios on lining performance in recent years can be reduced by reducing the number of samples by reducing the number of samples, by reducing the number of samples, by using either experimental methods or optimization methods. [27-28] Polymer-based brake pads, which are developed as an alternative to asbestos and do not constitute a problem in terms of health, can work under different working conditions without exceeding the safety limits and have a stable coefficient of friction and low wear rates. most preferred materials. A polymer matrix brake lining material generally comprises a plurality of different components, such as ceramic particles and fibers, minerals, metallic fibers, solid lubricants, elastomers and phenolic resins which bind to all of them. They are cheaper and easier to manufacture compared to ceramic linings, but they are not resistant to high temperatures as well as ceramic linings [29].

## **5. Conclusions and Recommendations**

As with all transportation systems, brake systems are of vital importance in railways. In addition to the good performance of the brake systems, many parameters such as good wear resistance, high strength and thermal resistance, low cost and ease of maintenance should be in a positive direction. In this sense, many scientific studies based on experimental and theoretical research are seen. It is obvious that the materials used in braking systems will also be developed in order to meet the required safety requirements for increased vehicle speeds due to the developments in rail vehicle vehicle technologies. In these studies, these processes can be optimized with computer-aided design and analysis studies, which is one of the engineering design stages. In particular, the use of finite element method in brake disc-pad geometry and material selection will help to reduce production costs. In our country where localization works are continuing intensively, it is thought that this work will be done on the rail system vehicles and equipments rapidly and will help our country to develop much faster. In this sense, the integration of the academic infrastructure in private institutions and institutions with the aim of developing adhesion dependent or independent brake systems and materials of railway vehicles will accelerate this process. In this process, braking systems and equipment can be produced for all vehicles used in

transport sectors in accordance with national and international standards and procedures with R & D units to be formed in various institutions and organizations.

## References

1. Perpinya D., *Reliability and Safety in Railway*, Barcelona, Spain: Intech, March 2012.
2. Milenkovic P.D., Jovanovic S.J., Jankovic A.S., Milovanovic, M.D., Vitosevic, N.D., Djordjevic, M.V., Raicevic, M.M., The influence of brake pads thermal conductivity on passenger car brake system efficiency, *Thermal Science*, 14, 221-230, 2010.
3. Desplanques Y., Roussette O., Degallaix G., Copin R., Berthier Y., Analysis of tribological behavior of pad-disc contact in railway braking. Part I. Laboratory test development, compromises between actual and simulated tribological triplets, *Wear*, 262, 582–591, 2007.
4. Olshevskiy A., Olshevskiy A., Berdnikov O., Kim C.W., Finite element analysis of railway disc brake considering structural, thermal, and wear phenomena, *Proc IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science*, 226(7), 1845-1860, 2012.
5. Sharma R.C., Dhingra M., Pathak R.K., Braking Systems in Railway Vehicles, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(1), 206-211, 2015.
6. Agudelo C.E., Ferro E., Technical overview of brake performance testing for Original Equipment and Aftermarket industries in the US and European markets. Technical Report, 1–27, 2005.
7. Panier S., Dufrenoy P., Weichert D., An experimental investigation of hot spots in railway disc brakes. *Wear*, 256, 764–73, 2004.
8. Kasem H., Brunel J.F., Dufrenoy P., Siroux M., Desmet B., Thermal levels and subsurface damage induced by the occurrence of hot spots during high-energy braking. *Wear*, 270, 355–64, 2011.
9. Dufrenoy P., Weichert D., Prediction of railway disc brake temperatures taking the bearing surface variations into account. *Proc Inst Mech Eng, Part F: J Rail Rapid Transit*, 209, 67–76, 1995.
10. Kim D.J., Lee Y.M., Park J.S., Seok C.S., Thermal stress analysis for a disk brake of railway vehicles with consideration of the pressure distribution on a frictional surface. *Mater Sci Eng A*, 483–484, 456–9, 2008.
11. Knorr-Bremse, *Basics of Brake Technology*, 2002.
12. Cruceanu C., *Train Braking, Reliability and Safety in Railway*, Dr. Xavier Perpinya (Ed.), InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/reliability-and-safety-inrailway/braking-systems-for-railway-vehicles>, 2012.
13. Jianyong Z., Mengling W., Chun T., Ying X., Zhuojun L., Zhongkai C., Aerodynamic braking device for high-speed trains: Design, simulation and experiment, *Proc IMechE Part F: J Rail and Rapid Transit*, 228(3), 260–270, 2014.
14. Knorr-Bremse, "Handbook - Brake Engineering Terms and Data", 1976-1995.
15. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Raylı Sistemler Teknolojisi, Ankara, 2013.
16. <http://www.railway-technical.com/index.html>
17. Evren G., *Demiryolu*, Birsen Yayınevi, sayfa 249-250., İstanbul 2002.
18. Sauthoff F., *Railway library of German Federal Railway*, Cilt 122, 4. Baskı, Josef Keller Verlag, Stamberg, 1962.
19. Chun T., Wu M.L., Ren L.H., Research on aerodynamic brake. *Railway Veh*, 27(3), 10–12, 2009.
20. Ertan R., Yavuz N., Polimer matriksli fren balata malzemelerinin kompozisyon ve üretim parametreleri açısından değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 47(553), 24-30.
21. Knorr Bremse, *Brake Discs and Pads*, P-1264EN, 2014.
22. Maluf O., Angeloni M., Milan M.T., Spinelli D., Filho W.W.B., Development of materials for automotive disc brakes, *Pesquisa e Tecnologia Mineira*, 4(2), 149-158, 2004.
23. Sakamoto H., Hirakawa K., Fracture analysis and material improvement of brake discs, *JSME International Journal*, A48(4), 458-464, 2005.
24. Samec B., Potrc I., Srmi M., Low cycle fatigue of nodular cast iron used for railway brake discs, *Engineering Failure Analysis*, 18, 1424-1434, 2011.
25. Gültekin D., *Metal Matriksli Kompozit Fren Diski, Balatası Üretimi ve Karakterizasyonu*

- YüksekLisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
26. Lu Y., Tang C.F., Zhao Y., Wright M.A., Optimization of a Semimetallic Friction Material Formulation. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23, 14, 1537-1545, 2004.
  27. Xiao X., Yin Y., Bao J., Lu L., Feng X., Review on the friction and wear of brake materials, *Advances in Mechanical Engineering*, 8(5), 1–10, 2016.
  28. Lu, Y., Tang, C.F., Wright, M.A., Optimization of a Commercial Brake Pad Formulation. *Journal of Applied Polymer Science*, 84, 2498-2504, 2002.
  29. Blau P.J., *Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Mater. And Their Additives*, Department of Energy, Office of Transportation Technologies, USA, 38, 2001.

# SERVİS KOŞULLARINDA GERİNİM ÖLÇERLER KULLANILARAK DEMİR YOLU RAYLARINDA GERİLME ÖLÇÜMÜ

\*Turan Emre, Sun Yavuz, Ahlatci Hayrettin and Ozçelik Sait  
\*Karabük University, Karabük, Türkiye e-mail: memreturan@karabuk.edu.tr

## Özet

Raylar demiryolu alt yapısının en önemli parçasıdır. Demiryolu altyapısında kullanılan raylarda üzerinden geçen yük esnasında meydana gelen gerilmelerin bilinmesi, mekanik özelliklerini ve kullanım ömürlerini tahmin etme hususunda önemli bilgiler vermektedir. Bu çalışmada, demir yolu hattına döşenmiş R260 kalite ve mantarı sertleştirilmiş R350 HT kalite raylarda gerilme ölçümleri yapılmıştır. Gerilme ölçümlerinde özel elektriksel dirence sahip bir aparat olan gerinim ölçerler (strain gauge) kullanılmış ve ölçümler hem düz yolda hem de virajlı kurplarda yapılarak kıyaslamalar yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, mantarı sertleştirilmiş raylarda üzerinden yükü ve hızı bilinen vagonlar geçtiğinde meydana gelen gerilim değerleri normal raylara göre daha düşük çıkmıştır. Aradan iki aylık bir süre geçtikten sonra ölçümler tekrarlandığında herhangi bir mekanik hasarın olmadığı benzer gerilme değerlerinin çıkmasıyla anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** R260, R350HT, Gerinim ölçerler

## Abstract

Rails are the most important part of the railway infrastructure. Knowing the stresses that occur during the load passing on the rails used in railway infrastructure gives important information about the estimation of mechanical properties and service life. In this study, strain of R260 quality and head hardened R350 HT quality rails on the rail lines was measured. Strain gauges, which have special electrical resistance, were used in the stress measurements and the measurements were made on both straight and curved curves. When the results were evaluated, the tension values on the head hardened rails were lower than the normal rails when the wagons (the load and speed are known) were passed. After two months, the measurements were repeated, and similar stress values were obtained without any mechanical damage.

**Keywords:** R260, R350HT, Strain Gauge

## 1. Giriş.

R260 kalite raylar mantar bölgelerinde 260 HBW sertlik değerlerine ve kaba perlitik mikro yapıya sahiptir. Bu durum yeterince iyi bir düzeyde yorulma direnci sergileyememelerine ve iç gerilmelerinin diğer ince perlitik raylara göre daha fazla olmasına neden olmaktadır [1]. Bu düzeyde sertlik değerleri ve iç gerilmelerin yüksek olması aynı zamanda yüksek hızlı trenlerin geçmesi esnasında ciddi hasarlara yol açabilmektedir. Bu durum 1960'lı yıllarda fark edilmiş ve rayların iyileştirilmesi hususunda çalışmalar başlamıştır [2]. Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde mantarı sertleştirilmiş raylar kullanılmaya başlamıştır. Rayların üretiminde soğuma aşamasında mantar bölgesi yüksek kesit alanından dolayı taban ve ağ kısmına göre daha geç soğumakta ve meydana gelen çarpılmalar neticesinde iç gerilmeler oluşmaktadır [3-7]. Bu iç gerilmeler mantar kısmının daha hızlı soğutulmasıyla azaltılabilmekte ve bu durum üzerinden tren geçince daha dayanıklı bir hale getirmektedir. Bu çalışmada R260 ve R350HT kalite rayların üzerinden yük geçerken meydana gelen gerilmeler ve düz hat ile virajlı hatta yer alan raylarda oluşan gerilme dağılımı incelenmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Test hattında, iki adet, belirlenen ölçüm bölgeleri arasındaki düz yol kesimin de ve bir adet de virajlı bölge (kurp kısmı) olmak üzere 3 noktada elektrik dirençli gerinim ölçerler ile ölçüm yapılmıştır. Düz yol kesiminde, R350 HT ve R260 kalite raylara, kurpta ise R350HT kalite raylara uygulanan elektrik dirençli gerinim ölçerler ile rayların üzerinden yük geçerken, oluşan gerinim değerleri kaydedilmiş ve bu değerlerden de gerilme değerlerine geçilmiştir.

Elektrik dirençli gerinim ölçerler ile veri alınabilmesi için kullanılan cihaz, ekipman ve sarf malzemeler:

- Veri Toplama Cihazı : Vishay System 8000
- Gerinim ölçerler Uzunluk: 3 mm, Direnç: 350  $\Omega$ , Gage faktörü: 2,11, Gerinim ölçerlerin ölçüm hassasiyeti:  $\pm$  %0,3

Gerinim ölçerlerin yapıştırılmasında kullanılan kimyasallar Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Gerinim ölçerlerin hazırlanmasında kullanılan kimyasallar

Gerinim ölçerlerin hazırlanması sırasında rayların mantar ve ağ kısımları hafif bir zımparalama işlemine tabii tutulmuştur. Zımparalama işleminin ardından, yağ çözücü ve özel kimyasallar kullanılarak yüzey temiz hale getirilmiştir. Gerinim ölçerler yapıştırıcı ve katalizör aracılığıyla rayların belirlenen bölgelerine yapıştırılmıştır. Lehim işlemi yapıldıktan sonra, en son korozyona ve çevresel faktörlere karşı önlem amacıyla kaplayıcı malzeme gerinim ölçerlerin üzerine sürülmüştür. Şekil 2’de deneyde kullanılan gerinim ölçere ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 2. Raylara yapıştırılan gerinim ölçerlere ait görüntüler

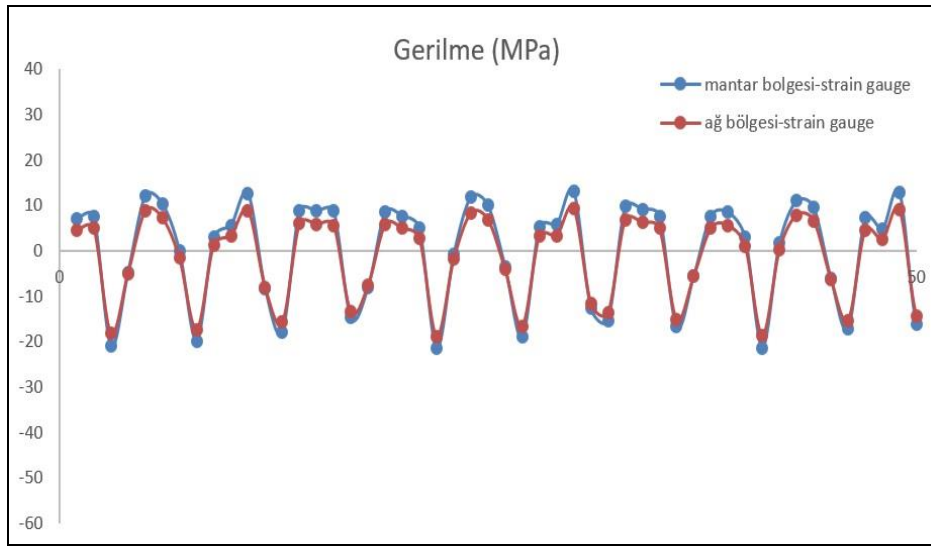
### 3. Deneysel Sonuçlar

Gerinim ölçerler, düz yoldaki ölçüm noktaları arasında yer alan R260 ve R350 HT kalite rayların hem

mantar bölgesine hem de ağ (Web) bölgesine yapıştırılmıştır. Ayrıca kurpta yer alan R350 HT rayın mantar bölgesine de bir adet gerinim ölçer tatbik edilmiştir.

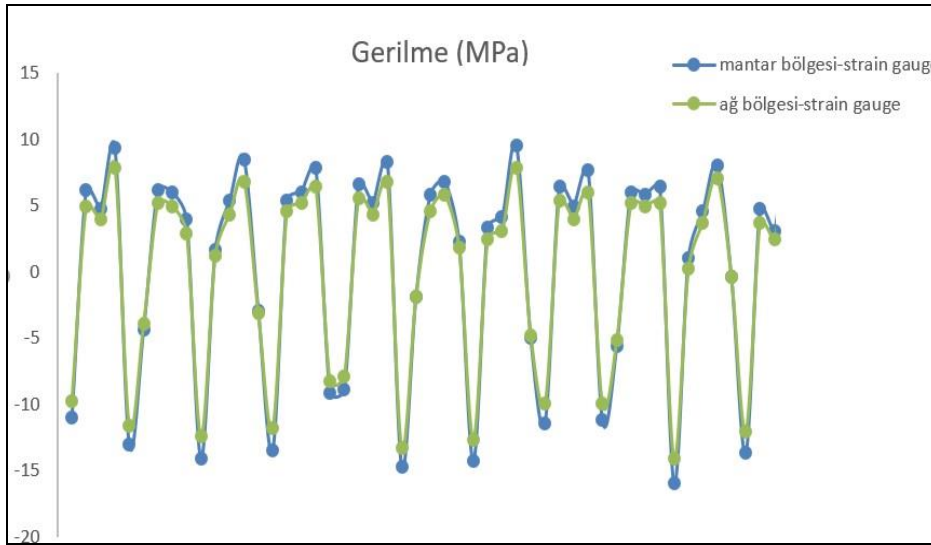
Veri toplama cihazına ait Strain Smart 8000 yazılımı vasıtasıyla rayların üzerinden yük geçmesi esnasında birim şekil değişim ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) değerleri elde edildi. Hooke kanunu uygulanarak cihaz aracılığıyla elde edilmiş gerinim değerleri malzemenin elastik modülüyle çarpılarak raylarda gerilme değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 3'te ve Şekil 4'te R260 ve R350 HT kalite raylara ait gerilme değerlerini gösteren grafikler verilmiştir. Test esnasında hızı 20 km/saat ve taşıdığı yük dingil başına yaklaşık 15 ton olan yük trenleri geçmiş ve yük geçme esnasında veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. R260 kalite raylarda o tonajdaki bir yük trenin geçmesi 20 MPa'nın üzerinde (+ veya - bölgede meydana gelen maksimum gerilme değeri göz önünde bulundurulmuştur) bir gerilmeye neden olmuştur. Mantar bölgesindeki gerilme değeri ağ bölgesindeki gerinim ölçerin elde etmiş olduğu gerilmeden çok az miktarda fazlalık göstermiştir.



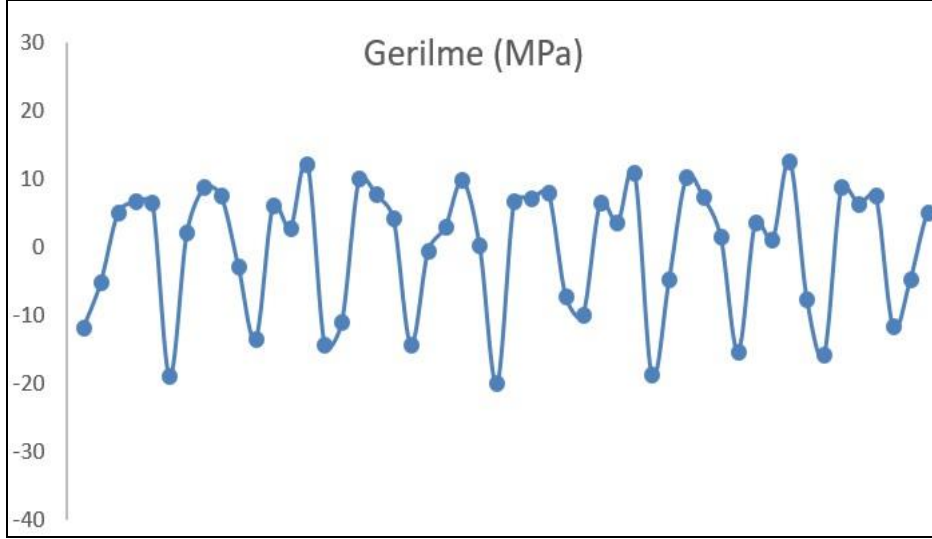
Şekil 3. Düz yol kesiminde R260 Kalite raylarda yük esnasında meydana gelen gerilim dağılımı.

R350 HT kalite rayda elde edilen gerilme değeri aynı tonajda ve hızda bir yük geçmesi esnasında R260 kalite raya göre daha düşük çıkmıştır.



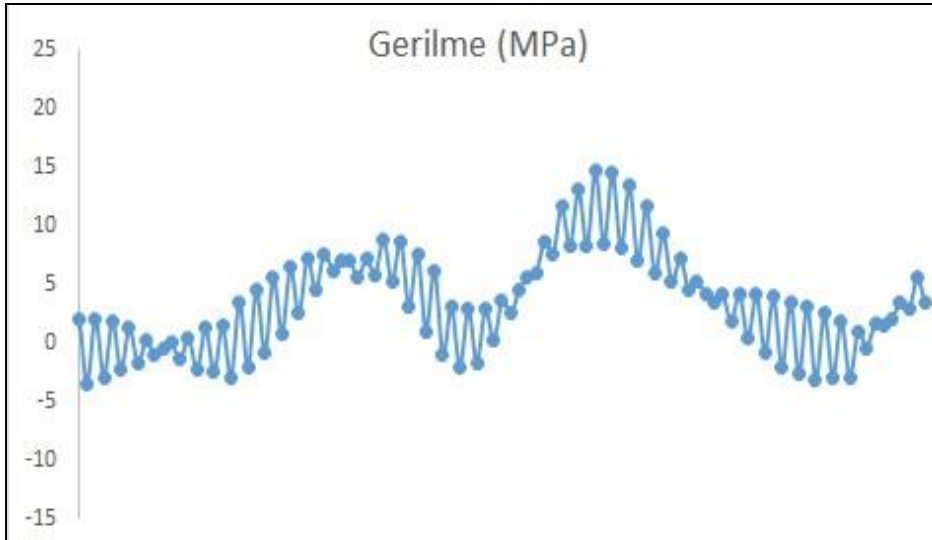
Şekil 4. Düz yol kesiminde R350 HT Kalite raylarda yük esnasında meydana gelen gerilim dağılımı.

R350 HT kalite rayın kurp bölgesinde yapılan gerilim ölçümü neticesinde, 80 tona yakın bir yük treninin geçmesi maksimum 20 MPa'lık bir gerilim şiddeti göstermiştir. Kurp bölgesinde rayın mantar kısmına yapıştırılan gerinim ölçerden elde edilen gerilme grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Virajlı yol kesiminde R350 HT kalite raylarda yük esnasında meydana gelen gerilim dağılımı.

Yaklaşık 2 ay sonra yapılan ölçümler neticesinde 15 tonluk bir dingil yükünün geçmesi neticesinde maksimum 15 MPa'lık bir gerilme değişimi gözlemlenmiştir. Daha önceki ölçüme göre gerilme dağılımında anormal bir durum gözlemlenmemiştir. Şekil 6'da R350 HT kalite raya ait gerilme grafiği verilmiştir.



Şekil 6. R350 HT Kalite raylarda yük esnasında meydana gelen gerilim dağılımı

#### 4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmayla gerinim ölçerler saha koşullarında raylara başarılı bir şekilde yapıştırılmış ve yük geçme esnasında başarılı bir şekilde veriler toplanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki mantarı sertleştirilmiş R350 HT kalite raylarda meydana gelen gerilme değeri daha düşük çıkmıştır. Rayların normal şartlarda

Üretim esnasındaki soğuma aşamalarında mantar bölgesinin de özel soğutma düzeneğiyle hızlı bir şekilde soğutulması meydana gelebilecek iē gerilmelerin daha az olmasını sağlamıştır. Bu durum daha iyi bir mekanik özelliğe, daha fazla sertliğe ve daha yüksek aşınma direncine sahip olmasına olanak sunmuştur. Böylelikle saha koşullarında yk esnasında daha düşük gerilme durumunun ortaya ııkması gözlemlenmiştir. Aradan geēen zaman boyunca üzerinden geēen yk trenleri de göz önünde bulundurulursa, meydana gelen gerilmede bir farklılık olmaması hatta döşenmiş rayın kalitesini de ortaya koymuştur.

## Kaynaklar

- [1] zēelik, S., (2014). Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Pointner P. High strength rail steels—The importance of material properties in contact mechanics problems. *Wear* 2008; 265: 1373–1379
- [3] Fluōgge J. Metal kundliche Zu sammen hangebei perlitischen Schienenstahlen. *Tech Mitt Krupp Werksberichte* 1979; 37: 89–94
- [4] Takahashi S, Sasaki T, Kondoh Y, et al. Residual stress evaluation of railway rails. Japan: International Centre for Diffraction Data, 2009, p.240.
- [5] Aglan HA, Liu ZY, Hassan MF, et al. Mechanical and fracture behavior of bainitic rail steel. *J Mater Process Technol* 2004; 151: 268–274.
- [6] Sahay S, Mohatpra G and Totten G. Overview of pearlitic rail steel: accelerated cooling, quenching, microstructure, and mechanical properties. *J ASTM Int* 2009; 6: 1–26
- [7] M. E. Turan, S. Ozcelik, F. Husem, H. Ahlatci, Y. Sun, I. Tozlu, The effect of head hardening process on the residual stress of rails, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 232(2) (2018) 589-595.



# VERTICAL VIBRATION ANALYSIS OF 2 DEGREE OF FREEDOM RAIL VEHICLE MODEL USING SOLIDWORKS MOTION INTERFACE

Fatih Pehlivan<sup>1\*</sup>, Kerim Gökhan Aktaş<sup>2</sup>, İsmail Esen<sup>3</sup>, Cihan Mızrak<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, fatihpehlivan@karabuk.edu.tr

<sup>2\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, kerimgokhanaktas@karabuk.edu.tr

<sup>3\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, iesen@karabuk.edu.tr

<sup>4\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, cihanmizrak@karabuk.edu.tr

## Abstract

Purpose of the paper is to design a basic two degree of freedom (2-DOF) rail vehicle model in SOLIDWORKS software, to analyze vertical vibrations of the designed model in Motion Interface of the software and to show the result is almost same with the result obtained by transfer function of the system. In this study, to obtain dynamic response was used vertical harmonic excitations supplied by slider-crank mechanism. Transfer function of the system was generated after getting equations of motion and then the dynamic analysis was done by using SOLIDWORKS Motion Interface. As a result, displacement, velocity and acceleration graphs taken from both methods were compared and this comparison showed that the period values of both methods were exactly same after equilibrium position and the amplitudes values of both methods had the same results by a maximum error of 0.87%.

**Keywords:** modelling, Simulink, suspension, rail vehicle, design

## 1. Introduction

It is stated that more than one million people have lost their lives and about 50 million people have been subjected to injuries resulting from road accidents all around the world in a year [1]. Because of death rate, the railway has become an alternative transportation to road transport. According to the many researches, the railway transportation also minimizes the pollution caused by ground vehicles and supplies ride comfort and high speed for passengers [2–4].

It is desired that the acceleration capability in rail vehicles should be as high as possible. As the acceleration in the vane will result in rail and wheel wear, the dynamic forces between the rail and the wheel will increase. A two-stage suspension system has been developed in the rail bogies to ensure that dynamic forces remain at certain levels. In order to reduce wear due to rail-wheel interaction, the first suspension system is located between the wheel axles and the bogie body and a second suspension system is installed between the railcar and the bogie body to improve passenger comfort and ensure driving safety. The primary suspension system consists of two nested spring sets and vertical damping elements for each axle. The secondary suspension system consists of two interlocking spring assemblies and damper elements in different directions and anti-roll systems. Unlike the primary suspension system, the secondary suspension system has non-wobble longitudinal wobbling dampers, lateral irregularities and lateral dampers that prevent the vehicle from getting off the track.

In order to provide passenger comfort in rail cars, the wagon vibrations must be determined and controlled. Researchers have carried out a number of studies to understand the train vibration characteristics and train dynamical performance. Foo and Goodall examined the vertical vibration of the flexible-bodied railway vehicle using electro-hydraulic and electro-magnetic actuators in the secondary suspension using the active control method [5]. Yagiz and Gursel apply sliding mode control method

(SMC) to enhance the comfort of a railway vehicle with flexible body. They reduced the vertical vibrations by adding two actuators to the front and rear secondary suspensions [6]. Metin and Guclu compared the active suspension control of the 11 degrees of freedom rail vehicle model by using PID and Fuzzy Logic control method [7]. Harun et al., study the effect of primary and secondary suspensions of a railway vehicle on stability and passenger ride comfort by using 17 degree-of-freedom (DOF) railway vehicle model [8]. Sugahara et al., aimed to suppress the vibration of the vertical bending mode of the car body by using axle dampers and air springs [9]. Sugahara et al., propose a method of controlling vibration in the primary suspension to reduce carbody vibration. In the work results show that LQG control method decrease the floor acceleration more than shy-hook control method [10].

## 2. Model of the System

### 2.1. Mathematical Model of the 2-DOF Rail Vehicle

Because of the fact that a mathematical model of a rail vehicle is similar to mathematical model of cars, it is useful to understand mathematical models of quarter cars, half cars and full cars model which are widely used in the literature. The modelled rail vehicle system has 2 degree of freedom (2-DOF) as illustrated in Figure 1(a), and it consists of mass of bogie frame ( $m_1$ ), stiffness of primary suspension ( $k_1$ ), damping coefficients of primary suspension ( $c_1$ ), mass of wagon or main body ( $m_2$ ), stiffness of secondary suspension ( $k_2$ ), damping coefficients of secondary suspension ( $c_2$ ),  $y_1$  and  $y_2$  are the vertical displacement of the bogie frame and the wagon respectively and  $y$  is excitation coming from rail. [11–13]. Newton's second law was used to draw the free-body diagram of this system as shown in Figure (b).

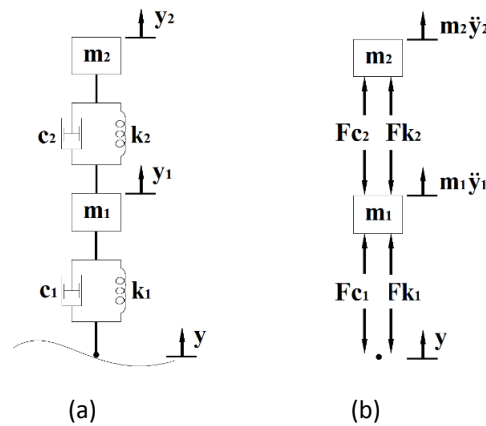


Figure 1. (a) The 2-DOF Rail Vehicle Model; (b) Free Body Diagram of the Vehicle.

Accordingly, the equations of motion of the system are obtained by the equation (2) and (4) as follows.

$$F_{k_2} + F_{c_2} = F_{m_2} \quad (1)$$

$$k_2(y_1 - y_2) + c_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = m_2\ddot{y}_2 \quad (2)$$

$$F_{k_1} + F_{c_1} - F_{k_2} - F_{c_2} = F_{m_1} \quad (3)$$

$$k_1(y - y_1) + c_1(\dot{y} - \dot{y}_1) - k_2(y_1 - y_2) - c_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) = m_1\ddot{y}_1 \quad (4)$$

### 2.2. Calculation of Rail Excitation

A harmonic signal was intended for the excitation to be applied to the system, and for this purpose, the simplest and most basis slider-crank mechanism, which can convert rotary motion to translational motion or vice versa, was preferred [14]. The movement of the wheel was considered for the rail excitation and calculated by using trigonometric method as shown in the following equations. In order to compare the

results, acceleration of the wheel was also obtained by taking second derivative of the wheel displacement as shown the equation (21).

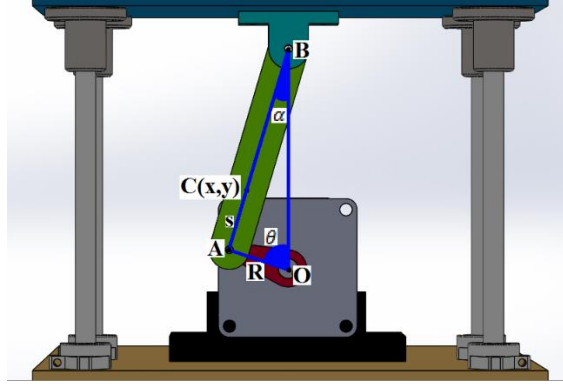


Figure 2. Kinematic analysis of the slider-crank mechanism.

$$|AB| = L \quad (5)$$

$$\delta = \frac{s}{L} \quad (6)$$

$$y = R \cos \theta + s \cos \alpha \quad (7)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \phi} \quad (8)$$

$$\frac{\sin \alpha}{R} = \frac{\sin \theta}{L} \quad (9)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L}\right)^2 \sin^2 \theta} \quad (10)$$

$$y = R \cos \theta + s \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L}\right)^2 \sin^2 \theta} \quad (11)$$

$$y = R \cos \theta + \sqrt{s^2 - s^2 \left(\frac{R}{L}\right)^2 \sin^2 \theta} \quad (12)$$

$$\dot{y} = -R\dot{\theta} \sin \theta + \frac{d}{dt} \left( \sqrt{s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta} \right) \quad (13)$$

$$\dot{y} = -R\dot{\theta} \sin \theta + \frac{1}{2} (s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{1}{2}} (-\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta) \quad (14)$$

$$\dot{y} = -R\dot{\theta} \sin \theta + \frac{(-\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta)}{2\sqrt{s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta}} \quad (15)$$

$$\ddot{y} = \frac{d}{dt} \left( -R\dot{\theta} \sin \theta + \frac{1}{2} (s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{1}{2}} (-\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta) \right) \quad (16)$$

$$\ddot{y} = \frac{d}{dt} (-R\dot{\theta} \sin \theta) - \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} (s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{1}{2}} (\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta) \right) \quad (17)$$

$$\frac{d}{dt}(-R\dot{\theta} \sin \theta) = -(R\ddot{\theta} \sin \theta + R\dot{\theta}^2 \cos \theta) \quad (18)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}(s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{1}{2}}(\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta)\right) \quad (19)$$

$$= \frac{1}{2}(\ddot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta + 2\delta^2 R^2 \dot{\theta}^2 \cos 2\theta)(s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{1}{2}} \\ + \frac{1}{4}(\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta)(s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^{-\frac{3}{2}}(\dot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta)$$

$$\ddot{y} = -(R\ddot{\theta} \sin \theta + R\dot{\theta}^2 \cos \theta) - \frac{1}{2} \frac{(\ddot{\theta} \delta^2 R^2 \sin 2\theta + 2\delta^2 R^2 \dot{\theta}^2 \cos 2\theta)}{\sqrt{s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta}} \quad (20) \\ - \frac{1}{4} \frac{(\dot{\theta}^2 \delta^4 R^4 \sin^2 2\theta)}{\sqrt{(s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^3}}$$

$$\ddot{y} = -(R\dot{\theta}^2 \cos \theta) - \frac{1}{2} \frac{(2\delta^2 R^2 \dot{\theta}^2 \cos 2\theta)}{\sqrt{s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta}} - \frac{1}{4} \frac{(\dot{\theta}^2 \delta^4 R^4 \sin^2 2\theta)}{\sqrt{(s^2 - \delta^2 R^2 \sin^2 \theta)^3}} \quad (21)$$

### 2.3. Design and Analysis of the System in SOLIDWORKS

The prototype design of the 2-DOF rail vehicle as shown in Figure 3. The main parts of the prototype are the wagon, the bogie frame and the rail excitation, which are represented by red, blue and black parts respectively. Green parts are intended to be the slider-crank mechanism for rail excitation and brown parts are for support. In the design, linear bearings and chromium shafts have been selected to minimize friction and the stepper motor have been used for the rail excitation.

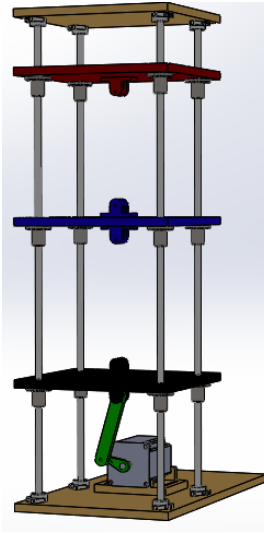


Figure 3. The 2-DOF rail vehicle designed by using SOLIDWORKS software

While doing analysis as shown Figure 4, two suspension system called primary and secondary suspension are added to the system. Here, the former is between the wagon and bogie frame and the latter is between the bogie frame and the rail excitation. In order to do analysis, the velocity equation (15) for the rail excitation and the parameters as shown in Table 1 have been used.

Table 1 Parameter values used in the 2-DOF rail vehicle.

Parameters	Values
Mass of wagon, $m_2$	1 kg
Damping coefficients of secondary suspension, $c_2$	57,53 N.s/m
Stiffness of secondary suspension, $k_2$	400 N/m
Mass of the bogie frame, $m_1$	0,96 kg
Damping coefficients of primary suspension, $c_1$	57,53 N.s/m
Stiffness of primary suspension, $k_1$	400 N/m
Crank length, R	0,025 m
Connecting rod length, L	0,084 m
Stepper motor speed, $\dot{\theta}$	100 rpm

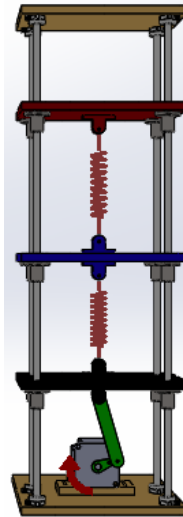


Figure 4. Analysis of the system by using SOLIDWORKS Motion Interface

#### 2.4. Transfer Function of the 2-DOF Rail Vehicle

An important step in the analysis is to find transfer function of the system. It is a mathematical representation of a linear time-invariant system and is defined as the ratio of the laplace transform of a system output to the laplace transform of a system input. The transfer function of the 2-DOF rail vehicle is obtained by finding the ratio of the laplace transform of the wagon displacement or output to the laplace transform of the rail excitation or input as equation (22).

$$G(s) = \frac{Y_2(s)}{Y(s)} = \frac{\ddot{Y}_2(s)}{\ddot{Y}(s)} \quad (22)$$

To find the transfer function of the system, it is necessary to find the laplace transformation of equations of motion as shown in the following equations.

$$k_2 Y_1(s) - k_2 Y_2(s) + c_2 s Y_1(s) - c_2 s Y_2(s) = m_2 s^2 Y_2(s) \quad (23)$$

$$Y_1(s) = \left[ \frac{m_2 s^2 + c_2 s + k_2}{c_2 s + k_2} \right] Y_2(s) \quad (24)$$

$$k_1[Y(s) - Y_1(s)] + c_1s[Y(s) - Y_1(s)] + k_2[Y_2(s) - Y_1(s)] + c_2s[Y_2(s) - Y_1(s)] = m_1s^2Y_1(s) \quad (25)$$

$$(c_1s + k_1)Y(s) + (c_2s + k_2)Y_2(s) = [m_1s^2 + (c_2 + c_1)s + (k_2 + k_1)]Y_1(s) \quad (26)$$

$$(c_1s + k_1)Y(s) + (c_2s + k_2)Y_2(s) = [m_1s^2 + (c_2 + c_1)s + (k_2 + k_1)] \left[ \frac{m_2s^2 + c_2s + k_2}{c_2s + k_2} \right] Y_2(s) \quad (27)$$

$$\frac{Y_2(s)}{Y(s)} = \frac{\ddot{Y}_2(s)}{\ddot{Y}(s)} = \frac{c_1c_2s^2 + (c_1k_2 + c_2k_1)s + k_1k_2}{(m_1m_2)s^4 + (m_1c_2 + m_2c_2 + m_2c_1)s^3 + (m_1k_2 + c_1c_2 + m_2k_2 + m_2k_1)s^2 + (c_1k_2 + c_2k_1)s + k_1k_2} \quad (28)$$

### 3. Results

In order to compare the analysis results which are obtained from SOLIDWORKS Motion Interface and transfer function of the system, Simulink model were developed under MATLAB Simulink as shown in Figure 5.

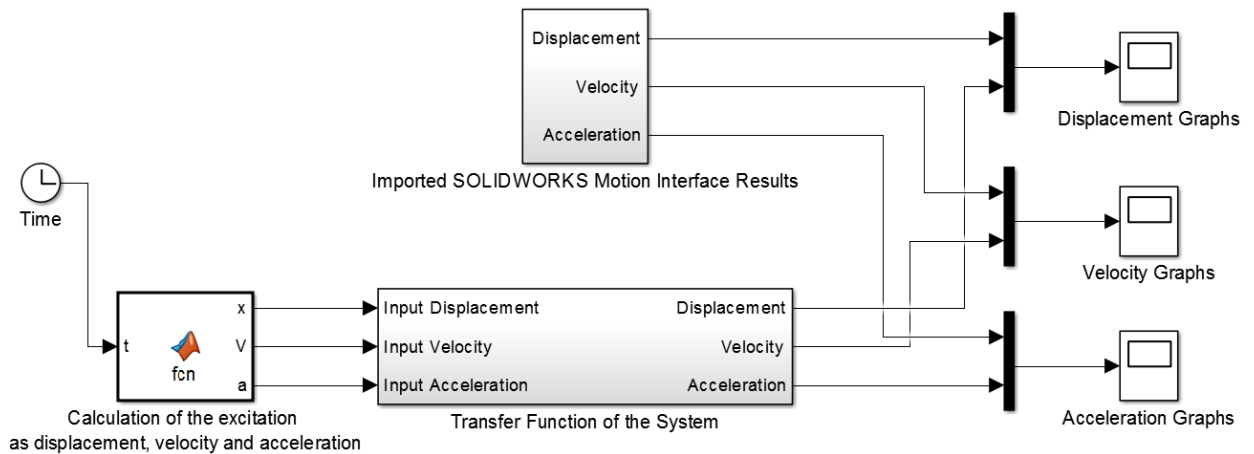


Figure 5. MATLAB Simulink model for comparison of the results

Figure 6, Figure 7 and Figure 8 show the vertical displacement, velocity and acceleration graphics of the wagon with time respectively and it is seen that the transfer function of the system and SOLIDWORKS model almost show same behavior.

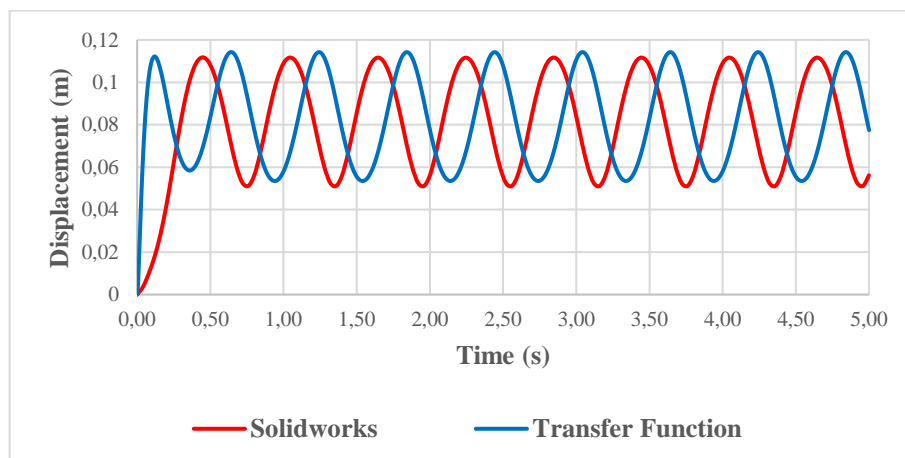


Figure 6. The displacement results obtained from SOLIDWORKS motion interface analysis and transfer function of the system

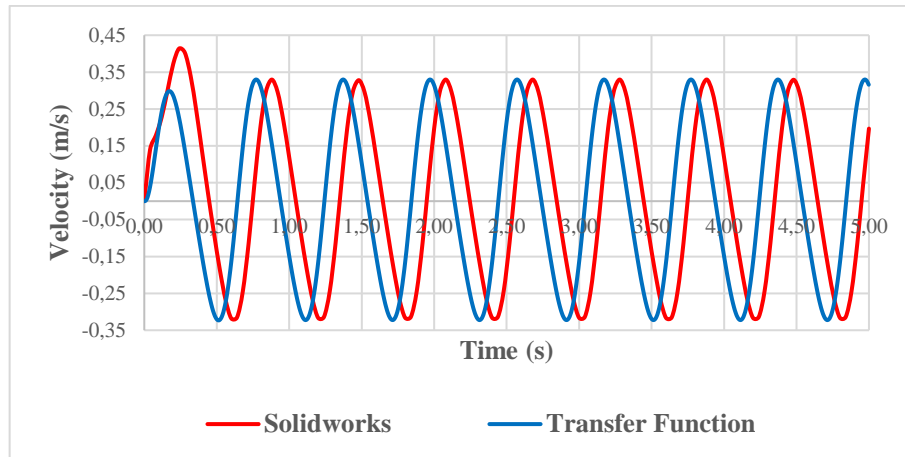


Figure 7. The velocity results obtained from SOLIDWORKS motion interface analysis and transfer function of the system

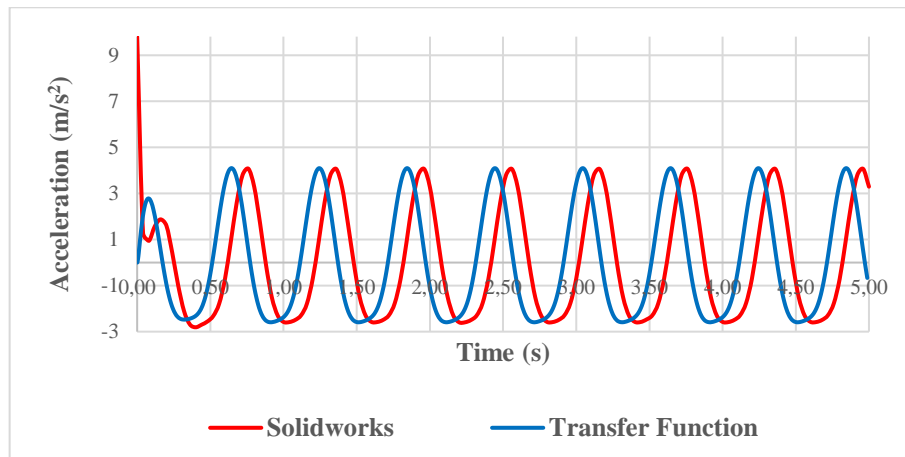


Figure 8. The acceleration results obtained from SOLIDWORKS motion interface analysis and transfer function of the system

For both methods, sampling duration was taken as 5 seconds. It was seen in the graphs above that phase differences occurred at the starting point. The differences were caused by unstretched springs in SOLIDWORKS analysis. When all the masses on the system were released, the springs stretched up to equilibrium position due to the gravity and then the applied excitation affected the system. On the other hand, while the period values of both methods for each graph were exactly same after equilibrium position, the amplitudes values of both methods for each graph had the same results by a maximum error of 0.87 % as shown in Table 2.

Table 2 Error comparison for SOLIDWORKS motion interface analysis and transfer function of the system.

	Amplitude obtained from SOLIDWORKS	Amplitude obtained from transfer function	Error (%)
Displacement	0.0304 m	0.0302 m	0.38
Velocity	0,3261 m/s	0.3233 m/s	0.87
Acceleration	3.3451 m/s <sup>2</sup>	3.3329 m/s <sup>2</sup>	0.37

#### 4. Conclusion

In vibration analysis, the most important values are period and amplitudes values of the signals. For both methods, these values are almost same as seen in the result graphs and the error table. In some cases, it is difficult to obtain the transfer function of complicated systems or to find the equation of motion for any model. By means of dynamics and motion analysis software as SOLIDWORKS Motion Interface, the dynamics of moving parts can be found. It means that SOLIDWORKS analysis method can be directly applied for this type system after designed without obtaining equation of motions.

#### References

1. Phalke, T. P. and Mitra, A. C., "Analysis of Ride comfort and Road holding of Quarter car model by SIMULINK", *Materials Today: Proceedings*, 4 (2): 2425–2430 (2017).
2. Yari, F., Hashtrudi-zad, S., and Tafazoli, S., "Track Modelling and Control of a Railway Vehicle", *International Federation Of Automatic Control*, 49 (17): 200–205 (2016).
3. Escalona, J. L., Park, T.-W., and Zaazaa, K. E., "Railroad Vehicle Dynamics—A Roadmap to High Speed Trains", *Journal Of Computational And Nonlinear Dynamics*, 7 (4): 40301 (2012).
4. Escalona, J. L. and Aceituno, J. F., "Multibody simulation of railway vehicles with contact lookup tables", *International Journal Of Mechanical Sciences*, 0 (January): 1–12 (2018).
5. Foo, E. and Goodall, R., "Active Suspension Control of Flexible-Bodied Railway Vehicles Using Electro-Hydraulic and Electro-Magnetic Actuators", *Control Engineering Practice - CONTROL ENG PRACTICE*, 507-518 (2000).
6. Yagiz, N. and Gursel, A., "Active Suspension Control of a Railway Vehicle with a Flexible Body", *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, (2005).
7. Metin, M. and Guclu, R., "Active Vibration Control with Comparative Algorithms of Half Rail Vehicle Model under Various Track Irregularities", *Journal of Vibration and Control*, 1525-1539 (2011).
8. Harun, M. H., Mohd Zailimi, W., Abdullah, W., Jamaluddin, H., Rahman, R., and Hudha, K., "Analysis of Primary and Secondary Lateral Suspension System of Railway Vehicle", *Journal of Mechanical Engineering*, 19-40 (2014).
9. SUGAHARA, Y., KAZATO, A., TAKIGAMI, T., and KOGANEI, R., "Suppression of Vertical Vibration in Railway Vehicles by Controlling the Damping Force of Primary and Secondary Suspensions", *Quarterly Report Of RTRI*, 49 (1): 7–15 (2008).
10. SUGAHARA, Y., TAKIGAMI, T., KAZATO, A., KOGANEI, R., and SAMPEI, M., "Suppression of Vertical Vibration in Railway Vehicles by Damping Force Control of Primary Suspension Using an LQG Controller", *Journal Of System Design And Dynamics*, 2 (1): 251–262 (2008).
11. Metin, M. and Güçlü, R., "Vibrations control of light rail transportation vehicle via PID type fuzzy controller using parameters adaptive method", *Turkish Journal Of Electrical Engineering And Computer Sciences*, 19 (5): 807–816 (2011).
12. OBrien, E. J., Bowe, C., Quirke, P., and Cantero, D., "Determination of longitudinal profile of railway track using vehicle-based inertial readings", *Journal Of Rail And Rapid Transit*, 231 (5): 518–534 (2016).
13. Mizrak, C. and Esen, I., "Determining Effects of Wagon Mass and Vehicle Velocity on Vertical Vibrations of a Rail Vehicle Moving with a Constant Acceleration on a Bridge Using Experimental and Numerical Methods", *Shock And Vibration*, 2015(2015).
14. Hroncová, D., Binda, M., Šarga, P., and Ki, F., "Kinematical analysis of crank slider mechanism using MSC Adams / View", *5th International Conference On Modelling Of Mechanical And Mechatronic Systems*, 48213–222 (2012).



# VERTICAL VIBRATION ANALYSIS OF 2 DEGREE OF FREEDOM RAIL VEHICLE MODEL IN MATLAB-SIMULINK AND MSC-ADAMS

Kerim Gökhan Aktaş<sup>1\*</sup>, Fatih Pehlivan<sup>2</sup>, İsmail Esen<sup>3</sup>, Cihan Mızrak<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, kerimgokhanaktas@karabuk.edu.tr

<sup>2\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, fatihpehlivan@karabuk.edu.tr

<sup>3\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, iesen@karabuk.edu.tr

<sup>4\*</sup> Karabuk University, Karabuk, Turkey, cihanmizrak@karabuk.edu.tr

## Abstract

The objective of this study is to generate two degree of freedom (2-DOF) rail vehicle model and to effectively determine vibration characteristic of the model. Firstly, two degree of freedom mathematical models were formed and equations of motion were obtained to examine vertical vibration of vehicle model. After getting equations of motion, vibration analysis was performed using MATLAB-SIMULINK. Then, the solid model of two degree of freedom rail vehicle model was created by means of computer aided design software. Afterwards, solid model created in the previous section was transferred to ADAMS dynamic analysis software and by selecting appropriate joints, degree of freedom constraints of parts were determined. Finally, created model was performed in vibration analysis. According to analysis results, vertical axis vibration values of ADAMS model were compared with two degree of freedom MATLAB model and it was seen that results are in good agreement with each other. It was determined that the error rate between ADAMS model and two degree of freedom MATLAB model is 1.12 %.

**Keywords:** Rail Vehicle, Matlab-Simulink, MSC Adams, Vibration Analysis.

# VAGONLARDA KULLANILAN SADE KARBONLU ÇELİĞE SİNERLEME SÜRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Akif Erden  
Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, makiferden@karabuk.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe matris içerisine % ağırlık olarak 0,4 grafit elementinin katılmasıyla istenilen bileşimde alaşımsız çelik malzeme toz karışım olarak elde edilmiştir. Elde edilen tozlar çekme numunesi şeklinde tasarlanan kalıplarda 700 MPa presleme basıncında sıkıştırılarak 1300°C'de argon atmosferinde 1 saat ve 2 saat sinterlenerek çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit çeliklerinin tane boyutu ve fazların dağılımı optik mikroskop ile belirlenmiştir. Mikroyapı analizinden sonra çekme numunesi boyutlarında hazırlanan çelik numunelere çekme testi uygulanmıştır. Numunelerin % uzama, akma-çekme dayanımları sinterleme süresine bağlı olarak açıklanmıştır. Sonuç olarak, 1300°C'de argon atmosferinde 2 saat sinterlenen çelik numuneler en yüksek akma ve çekme dayanımı sergilemiştir.

**Anahtar kelimeler:** Toz metalurjisi, Alaşımsız çelikler, Sinterleme süresi, Mechanical properties.

## Abstract

In this study, a mixture of unalloyed steel material in the desired composition via powder metallurgy method is obtained by adding 0.4% by weight of graphite element in Fe matrix. The obtained powders were squeezed at pressures of 700 MPa at 1300°C sintering temperature in 1 hour and 2 hour in the molds designed as tensile specimens. The particle size of the produced steels and the distribution of the phases were determined by optical microscope. After microstructure analysis, tensile test was applied to steel samples prepared in tensile specimen dimensions. The elongation, yield-tensile strength of the samples are explained depending on the sintering temperature. As a result, steel samples sintered at 1300 °C in 2 hour in an argon atmosphere exhibited the highest yield and tensile strength.

**Keywords:** Powder metallurgy; Nonalloyed Steels; Sintering time; Mechanical properties.

## 1. Giriş

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğine sahip yöntemdir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisi ile üretimi daha yaygın hale getirmektedir. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının önce preslenmesi ve daha sonra taneciklerin sinterleme yoluyla birleştirilerek sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülmesidir [1].

Çelikler ise mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde büyük bir öneme sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra her geçen gün raylı sistemler, otomotiv ve denizcilik sektörü gibi birçok sektörde çelik gereksinimi artış göstermektedir. Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif çeliklerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır [1-2].

Literatürde T/M çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur [3-6]. Örneğin Gündüz vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Nb-Al mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1350°C'de 60 dakika argon ortamında bekleterek gerçekleştirmiş olup Nb-Al oranı (% 0,1-% 0,2) yükseldikçe akma ve çekme dayanımında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumu sinterleme sırasında ve sinterleme sonrası soğuma sırasında NbC(N) ve AlN gibi çökeltilerin oluşmasına bağlamışlardır [5].

Bu çalışmada vagonlarda kullanılan alaşımsız çeliğe sinterleme süresinin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Metot

Bu çalışmada, çelik numune TM yöntemiyle Çizelge 1'de verilen bileşimde üretilmiştir. Farklı sinterleme süresinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Tozlar çizelge 1'de verilen oranlarda 0,0001 g. hassasiyetle çalışan Radwag marka hassas terazide tartılmıştır. Tozların karıştırma işlemi 3 eksenli hareket eden Turbula marka karıştırma cihazıyla bilyesiz olarak 1 saat süreyle yapılmıştır. Homojen olarak karıştırılan tozların soğuk preslenmesi işlemi ise 96 ton kapasiteli Hidroliksan marka hidrolik presle 700 Mpa presleme basıncında tek yönlü olarak yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri ASTM 8M Toz Metal çekme numunesi standartlarına uygun kalıpta sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir.

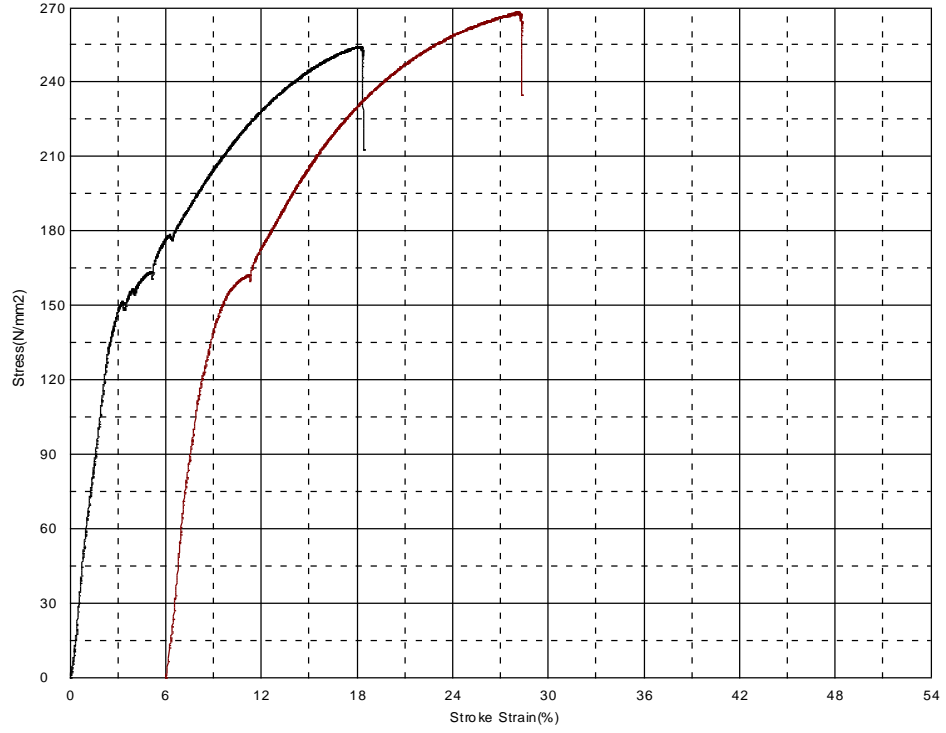
Çizelge 1. TM yöntemiyle üretilen çeliklerin kimyasal kompozisyonları.

Bileşen	Grafit (%ağ.)	Bakır (%ağ.)	Demir (%ağ.)
Alaşım	0,45	-	Geri Kalanı

Preslenen numuneler atmosfer kontrollü sinter fırınında argon ortamında 1300 °C sıcaklıkta 1 saat, 2 saat ve 3 saat süreyle sinterlenmiştir. Çekme testi 50 KN kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazında 1 mm/dk. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme sonucu kopan numunelerin akma dayanımı (% 0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri Radwag marka hassas terazinin yoğunluk kitinde yapılmıştır. Sinterlenen numunelere geleneksel yöntemler uygulanarak (zımparalama, parlatma ve dağlama) metalografik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot marka optik mikroskop altında incelenmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

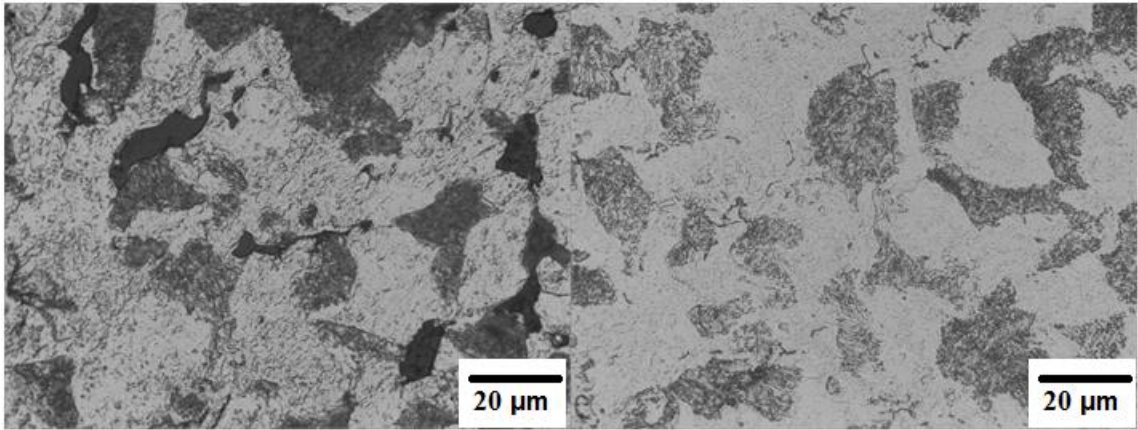
Şekil 2, TM yöntemiyle üretilen alaşımsız çelik numunelerin gerilme-% uzama diyagramlarını gösterirken, Çizelge 2 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. TM çelik numunelerin çekme % uzama grafiği.

Çizelge 2. TM çelik numunelerin mekanik özellikleri

Sinter Süresi	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
1300 °C 1saat	151	255	19
1300 °C 2 saat	162	269	22



Şekil 3. TM çelik numunelerin mikroyapı görüntüsü (1000X) a)1300 °C-1 saat; b) 1300 °C-2 saat.

Çizelge 3. TM çelik numunelerin % yoğunluk, gözenek miktarı ve ortama tane boyutu.

Sinter Sıcaklığı	S. sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Miktarı (%)	Perlit miktarı (%)	Ortalama Tane Boyutu (µm)
1300 °C 1saat	92,9	7,1	22	33,1
1300 °C 2 saat	93,2	6,8	22,3	33,3

Şekil 3'de gösterilen mikroyapı resimleri incelendiğinde genel olarak mikroyapı ferrit ve perlit fazlarından oluşmaktadır. Alaşimsız çelik sinterleme süresi açısından karşılaştırıldığında; sinterleme süresi arttıkça malzemelerin % uzama değerlerinde artış gözlenmiştir. Bunun sebebi sinterleme süresi artışının çeliğin sinter sonrası yoğunluğunu artırmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim 1 saat sinterleme sonrası alaşimsız çeliğin yoğunluğu % 92,9 iken, 2 saat sinterlemesiyle % 93,2 olmuştur. Yoğunluğun artması ve gözenek miktarındaki azalma şekillenebilirliği olumlu yönde etkilemiştir. Dayanım yönünden kıyaslandığında 2 saat sinterlenen numunelerin dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak yoğunluğun artışının yanısıra oluşan perlit ve ferrit fazlarının daha kararlı ve perlit miktarında bir miktar artış gözlenmesi sonucu olarak düşünülmektedir. Nitekim benzer çalışmalar bunu sonucu desteklemektedir. Erden yaptığı çalışmada Nb-V mikroalaşım çeliğine farklı miktarlarda grafit ilave etmiş grafit ilavesini artırması sonucunda perlit miktarında artış gözlenerek üretilen çeliklerin dayanımını artırmıştır [6].

#### 4. Genel Sonuçlar

Alaşım çelik numuneler toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Sinterleme süresi 1300°C'de 2 saat olan numunelerin mekanik özellikleri daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜ -BAP-18YL-017.

#### Kaynaklar

- [1] Erden M.A., The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels, *Metals*, 7, 329-345, 2017.
- [2] Ahlatcı H., Görkem Y., Harun Ç., Engin Ç., Süleyman Y., Yavuz S., Corrosion and Wear Behaviour of Boronized highCarbon and Chromium Cast Steel, *ISIJ International*, 53(5), 887–893, 2013.
- [3] Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M. and Karabulut H., Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels, *Materials Science and Engineering A*, 616, 201-206, 2014.
- [4] Gündüz S., Erden M. A., Karabulut H., Türkmen M., Effect Of The Addition Of Niobium And Aluminium Onthe Microstructures And Mechanical Properties Of microalloyed PM Steels. *Materiali in Tehnologije*, 50(5), 641-648, 2016.
- [5] Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H. Türkmen M. Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method, *Mechanics*, 23(4), 574-580, 2017.
- [6] Erden M. A., Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method. *European Journal of Science and Technology*, 5(9), 44-47, 2016.

# A STUDY ON COMMUNICATIONS BASED TRAIN CONTROL (CBTC) SYSTEM AND ITS BENEFITS

Taha YÜKSEL<sup>1\*</sup> and Zübeyde ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, yukselet@itu.edu.tr

<sup>2</sup> Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, ozturkzu@itu.edu.tr

## Abstract

Rail transportation is very important for sustainable transportation due to its safety, reliability, high capacity and energy efficiency. Urban rail transit have received rapid development around the world especially in developed and developing countries such as Turkey, in recent years. Urban rail transit is faster, safer and more comfortable and it has also high capacity thanks to CBTC system. That's why, the demand for urban rail transit is increasing faster and lots of urban rail transit projects are constructed in specially big cities in order to reduce traffic and improve public transport quality. Therefore, in the future, as the use of urban rail transit increases, the importance and using of CBTC system will also increased.

In this study, we will present a definition, principles and working mechanism of CBTC system. We will also try to show the subway lines which used CBTC systems from Asia, Europe and America and finally we will mention about advantages of this system with the example of CBTC system used in Marmaray.

**Keywords:** CBTC, Marmaray, Passenger Information Systems, Rail Signaling Systems, Subways

## 1. Introduction

Rail transport is very important for sustainable transportation due to its safety, reliability, high capacity and energy efficiency. High speed rail and urban rail transit have received rapid development around the world especially in developed and developing countries in recent years.

Road transport has been the most widely used type of not only passenger but also freight transportation around the world. This situation causes many problems such as traffic accidents, traffic congestions, excess energy consumptions etc. For example, in Turkey, more than a million traffic accidents occurred and 7.530 people died in these accidents in last year. Many systems have been developed to decrease these accidents but they are not very effective because 90 % of the mistakes causing mortal and injured traffic accidents in our country belong to the drivers [1]. That's why, no matter how precautions are taken, traffic accidents continue to increase. What's more, traffic congestion may cause people to wait for long periods of traffic in especially peak hours, so this problem also may lead to more fuel to be consumed road transport in which the fuel consumption is

already high according to other transport types. For these reasons, a lot of countries have been working to improve rail transportation in order to decrease these problems in especially recent years.

Urban rail systems and high speed lines are both speed and safety types of railway transport and these systems have become widespread in Turkey like as many parts of the world. 16 countries from Europe, Asia and America have operated high speed railways (HSR) and the length of these HSR lines are more than 40.000 kilometers [2]. If other HSR lines which are under construction, planned and long term planned are added, the length of these lines will be more than 90.000 kilometers and 39 countries will have used HSR [2]. When we look at urban rail transit, a lot of cities especially big cities from Europa, USA, China and Japan have urban rail lines (URL) and the number of URL continues to increase every year. To give an example from Turkey, 13 big cities have urban rail transit such as metro, tramway or local train. Turkey has also high speed rail lines and it is one of the few countries in the world where high speed trains are operated. According to transport planning which are 10th Development Plan and National Intelligent Transportation Systems Strategy Action Plans, both the high-speed and urban rail system projects will continue to increase [3, 4]. For example, in Istanbul, a 145 km subway line is currently being operated. It is planned that these line lengths will be more than 400 km in 2019 and 1000 km in 2030 [5]. What' s more, three high speed railways are currently operated, two high speed railways are constructed and five speed railways are constructed or planned [6]. Thus, both high speed railways and urban rail systems will become more popular in Turkey as it will be in the world.

Rail systems are a type of transport where there is a lot of brake distances due to the low friction on the rails and the heavy weight of the train. For this reason, the simplest and most important aim of the signalling systems is to prevent train accidents and derailment in railway operation [7].

Conventional railway signalling system is based on colour signals and train detection on the railway line with the help of rail circuits and axle counters and this system has been used for more than 100 years. In conventional railway signalling, tracks are divided into blocks and track circuits and axle counters are installed to determine if a train is inside a block. Each block is protected by a signal. If a train inside a block, the entrance block signal will red and the train from the back doesn't enter the block [8].

In recent years, with the use of developing technology on the railway, the CBTC system has started to be used especially on high-speed trains and subways. The CBTC system especially has been used for last 20 years. The CBTC system, unlike the conventional railway signalling system, uses a high-resolution positioning system independent of rail circuits or axle counters; is an automatic train control system that enables continuous, high-capacity, bidirectional data exchange and can carry vital functions to line-of-sight clients. The main feature, which differentiates a CBTC system from conventional signalling, is the ability to determine the location of a train independent of track circuits [9].

## **2. Properties of CBTC Signalling Systems**

The CBTC system consist of these subsystems as shown in Figure 1.

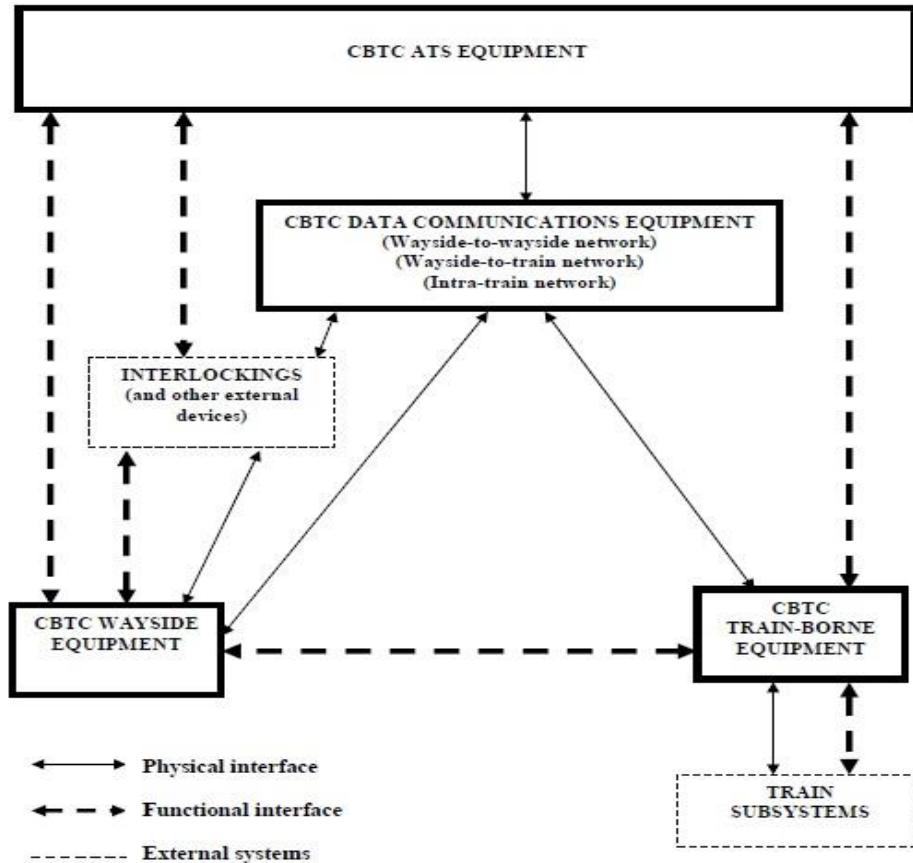


Figure 1: CBTC Subsystems [10].

These subsystems are CBTC wayside equipment, CBTC train-borne equipment, CBTC data communications equipment. All CBTC systems contain ATP (Automatic Train Protection) systems and ATS (Automatic Train Supervision) equipment. In addition to this, some CBTC systems may also contain ATO (Automatic Train Operation) and ATC (Automatic Train Control) systems [10].

CBTC wayside equipments are consist of balises and interlockings. ATS-ATP or ATO control centres are other CTBC wayside equipments. A computer on the train that manages the authority to move the train using and driver, train and other communication modules are CBTC train-borne equipment. Radio communication system is a combination of software and hardware equipments, which are data communication computer, antenna, wi-fi control centre and these are responsible for radio communication between the train and wayside [11]. Some important CBTC system equipments are shown as Figure 2.



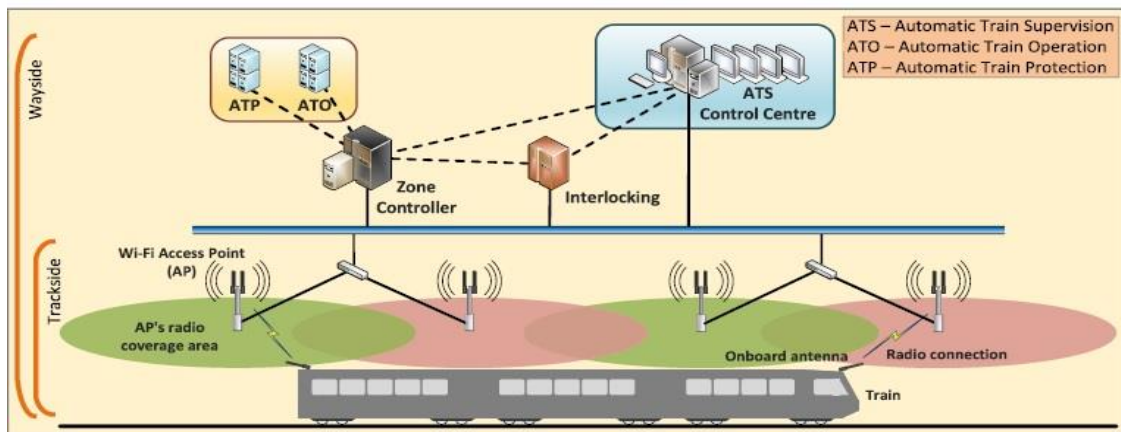


Figure 2: CBTC equipments [11].

### 3. Working Mechanism of CBTC Signalling Systems

The CBTC system relies on two-way continuous digital communication between each controlled train and control centers along the railway. On a railway equipped with a mobile block system, the line is usually divided into areas or zones as shown in Figure 3.

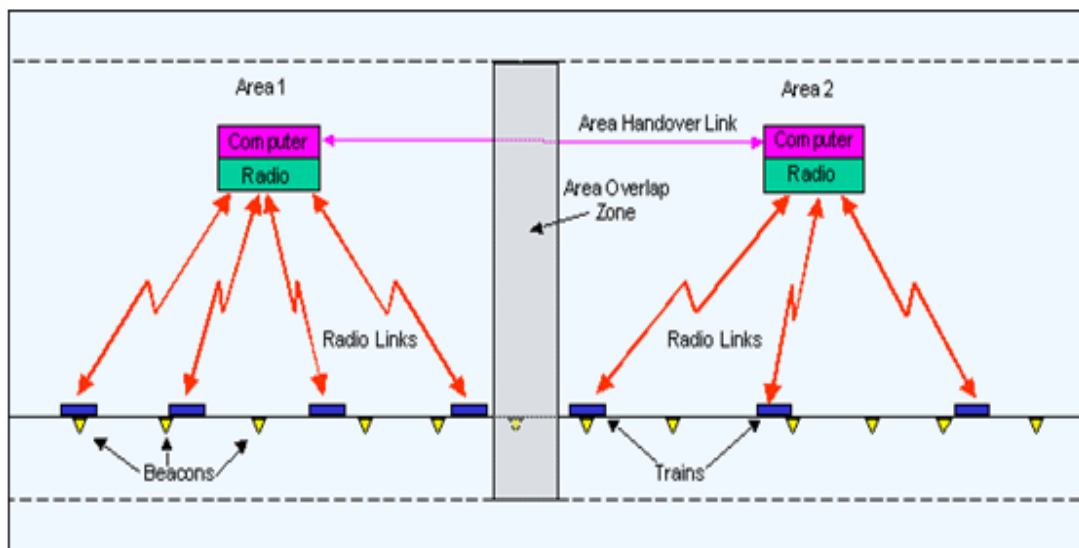


Figure 3: CBTC system.

Each zone is under computer control and each has its own radio transmission system. Each train transmits its identity, location, direction and speed to the regional computer that makes the necessary calculations for safe trains and sends these calculations to the next train. The radio link between each train and zone computer is continuous; at which point the computer knows the location of all the trains in its territory at any given moment. These radio links transmit each train the position of the train in front of it and give it a curve to stop before reaching the train on the front. If the train does not follow the commands, the ATP or ATS system stops the train automatically.

Using the information, about the route status and the type of the route set, state of the elements on the route and the train location information already determined from the message received from the trains, CBTC system will determine the movement authorities as shown in Figure 4.

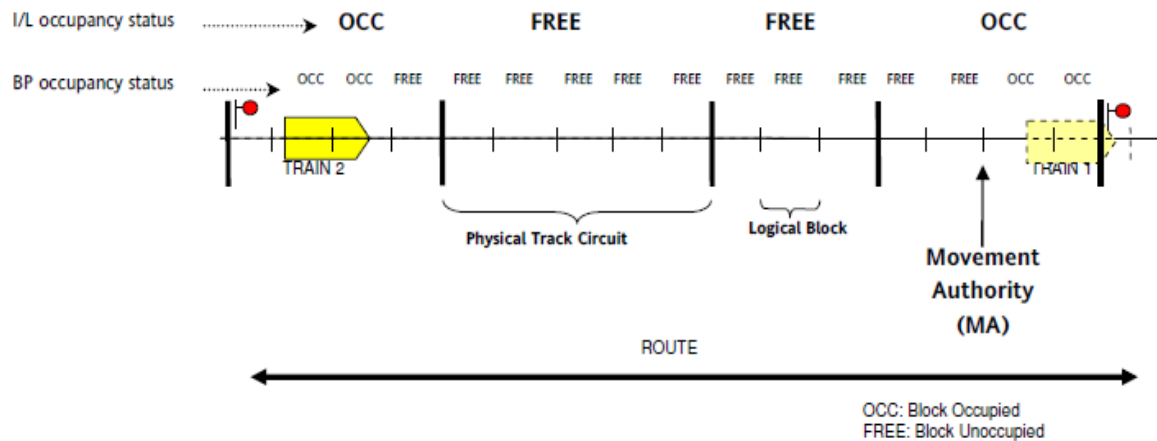


Figure 4: Movement authority in CBTC system.

CBTC system sends movement authority message to each trains and this message contains some important informations as followings:

- Gradient profile
- Static speed profile
- ATP door enabling information
- ATO platform data and stopping point information
- Reversing area information
- Temporary speed restrictions
- EoA: End of Authority is the location to which the train is authorized to move.
- DP: Danger Point is the location that can be reached by the front end of the train without a risk for a hazardous situation.
- The end of an overlap is a location beyond the danger point that can be reached by the front end of the train without a risk for a hazardous situation.

#### 4. Applications of CBTC Signalling Systems in the World

CBTC technology has been mostly used particularly modern subway systems. As shown Figure 5, almost 156 subway lines use CBTC signalling systems. What's more, half of these systems are used in Asia, also as shown Figure 5. China, Japan and India have a lot of subway lines and most of the subway lines are used CBTC technology. USA and many European countries also are the most important CBTC signalling systems user in their subway lines. To illustrate some of the important metro lines used by the CBTC: Shanghai, Beijing, Guangzhou, Tokyo, Delhi, Singapore, Kuala Lumpur, Hong Kong etc... are some important metro lines used CBTC signalling systems from Asia.

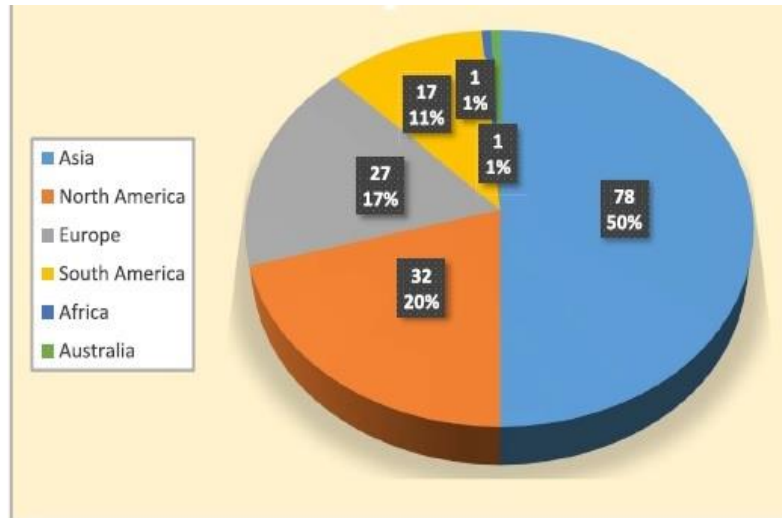


Figure 5: CBTC projects worldwide [11].

From Europe; Madrid, London, Paris, Barcelona, Istanbul (Kadikoy-Kartal, Marmaray, Uskudar-Umraniye), Munich, Amsterdam etc... are some important metro lines used CBTC technology. Some important subway lines used CBTC signalling systems from America are Newyork, San Francisco, Las Vegas, Mexico City, Buenos Aires, Sao Paulo subway lines.

CBTC systems are used with ETCS (European Train Control System). For example, they are used together in Marmaray.

## 5. Benefits of CBTC Signalling System

CBTC signalling systems present many advantages over traditional signalling systems. We want to explain the benefits of the CBTC system by giving examples from the CBTC system used in Marmaray. Some of them are as follows:

- CBTC signalling systems provide shorter headway and that means they can also offer higher capacity. As shown Figure 6, the distances between trains are shorter when CBTC signalling systems are used and therefore, these systems offer the possibility of making more train trips [12]. We can see three trains between two stations with short distance between them as Figure 6.

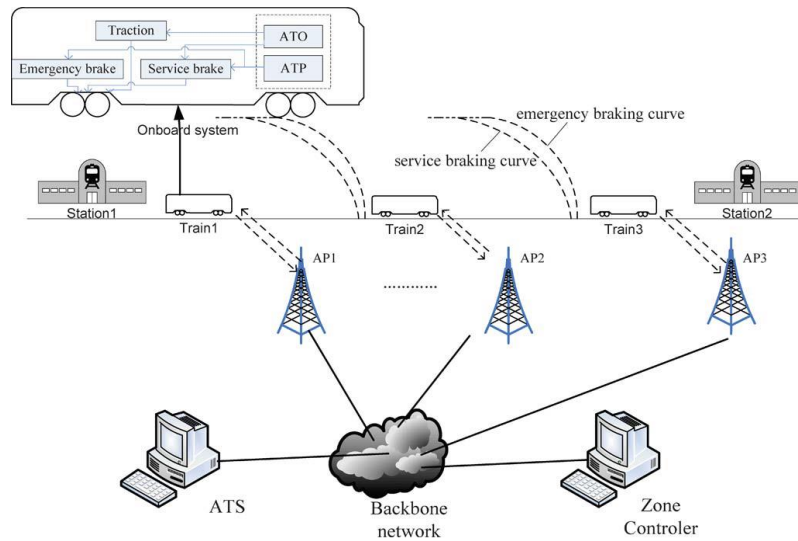


Figure 6: CBTC system [13].

It is possible to operate trains with very short headway such as 2-3 minutes in the CBTC system. For example, trains are operated 5 minutes headway at Marmaray, but in the past the headway is between 10 and 20 minutes at suburban trains. Approximately 200,000 passengers are transported daily in Marmaray. Despite being operated only between Kazlıçeşme-Ayrılıkçeşme, the number of daily passengers has approached the daily number carried on the suburban line between Sirkeci-Halkalı and Haydarpaşa-Gebze.

- CBTC signalling systems are safer than traditional signalling systems because of ATP, ATO systems automatically intervene, when an undesired situation occurs. For example, there were 22 accidents on the suburban line between Haydarpaşa and Pendik in 2012 before closed. Eight people were killed and seventeen people injured in these accidents. On the other hand, there was no death or injured accident in Marmaray.

As shown Figure 7, 13 of 22 accidents were occurred by the mistake of drivers. That's why, the use of automatic systems is very important in terms of preventing accidents since majority of train accidents come from human mistakes.

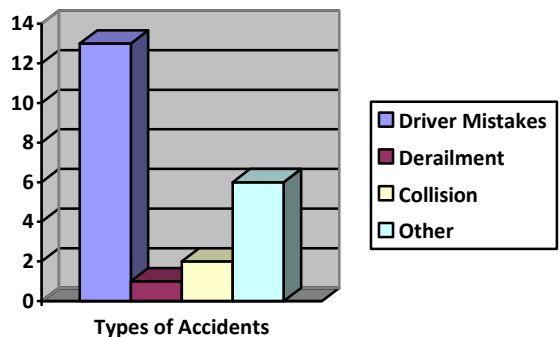


Figure 7: Types of Haydarpaşa-Pendik suburban accidents in 2012.

- CBTC signalling systems also provide energy efficient due to more energy efficient driving than manual driving. These systems may also contribute the use of regenerative energy by adjusting the positions of trains.
- CBTC signalling systems are compatible with displays on trains and in-train information displays. These systems have also passenger information systems and intelligent automatic systems such as information screen showing departure times of trains and wagon numbers, station map, station announce and automatic door etc. Thus, the trains operated with CBTC are more comfortable than traditional trains.
- CBTC signalling system protect against human error because these system operated by automatic systems.
- CBTC signalling system is also used with ERTMS as they are used together in Marmaray.

## 6. Conclusion

In this paper, we tried to investigate definition of CBTC signalling systems, principles and working mechanism of CBTC technology. We also tried to show the metro lines which used CBTC signalling systems from Asia, Europe and America and finally we mentioned benefits of CBTC signalling systems by giving examples from the CBTC system used in Marmaray.

In the future, as the railway transport is used more, the CBTC systems will be used more because this system can provide safer, faster, more energy savings and more comfortable railway operations. The benefits of CBTC signalling systems will increase even more with the development of technology and this system will be used more especially urban rail transit.

## References

- [1] Republic of Turkey General Directorate of Highways, Traffic Accidents Statistics, Ankara, 2016.
- [2] UIC, High Speed Rail Lines, 2017.
- [3] Turkey Republic Ministry of Transport and Communication, National Intelligent Transportation Systems Strategy Document and Action Plan, Ankara, 2014.
- [4] Turkey Republican Development Ministry, 10th Development Plan (2014-2018), Ankara, 2013.
- [5] S. Morar, Evolution of Communication Based Train Control worldwide, *Railway Signalling and Control Systems (RSCS 2012)*, IET Professional Development Course on, pp. 281-289, 2012.
- [6] IEEE Vehicular Technology Society, Standard for Communication Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements, *IEEE Standards 1474.1*, 2004.
- [7] G. Theeg ve S. Vlasenko, Railway Signalling and Interlocking, Hamburg, Germany: Eurorailpress,

2009.

- [8] IEEE Std. 1474.3, IEEE Recommended Practice for Communications-Based Train Control (CBTC) System Design and Functional Allocations, *IEEE Vehicular Technology Society*, 2008.
- [9] Metro Istanbul, Railway Systems Vision Map, 2017.,  
Available: <https://www.metro.istanbul/YolcuHizmetleri/AgHaritalari>.
- [10] Turkey Republic State Railways, Turkey Republic State Railways High Speed and Speed Railway Lines, Available: <http://www.tcdd.gov.tr/>.
- [11] Jahanzeb Farooq ve J. Soler, Radio Communication for Communications-Based Train Control (CBTC) : A Tutorial and Survey, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, cilt 19, no. 3, pp. 1377-1402, 2017.
- [12] J. Moreno, J. M. Riera, L. d. Haro ve C. Rodríguez, A Survey on Future Railway Radio Communications Services: Challenges and Opportunuties, *IEEE Communications Magazine*, pp. 62-68, 2015.
- [13] L. Zhu, B. Ning ve T. Tang, Communication-Based Train Control (CBTC) Systems With Cooperative Relaying: Design and Performance Analysis, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, cilt 63, no. 5, pp. 2162-2172, 2014.

## **BTA ARAÇLARINDAKİ FREN SİSTEMİNİN TANITILMASI**

FURKAN NAZİK

Raylı Sistemler Mühendisliği, KARABÜK , e-mail: furkannazik60@gmail.com

### **ÖZET**

Kent içi raylı sistemler sektörünün köklü firmalarından Metro İstanbul A.Ş tarafından işletilmekte olan BTA'da (Bombardier Tramvay Aracı) kullanılan fren sisteminin anlatılması hedeflenmiştir.

Kent içi raylı sistem araçlarında kullanılan fren sisteminin tanıtılması, çalışma prensibi ve sistemin hangi alt ekipmanlarda oluştuğunu özet bir şekilde anlatmak için bu sunum hazırlanmıştır.

BTA araçlarında aktif olarak kullanılan servis freni, otomatik servis freni, acil fren, mekanik frenleme, park freni ve imdat freni detaylı olarak anlatılmıştır. Bu frenleme sonucu taşıtlarda nasıl bir fren kaliperlerinin tercih edilmesi hakkında bilgi verilmiştir. Motorlu boji ile taşıyıcı boji arasındaki fren disklerinin ne tür farkları olduğundan bahsedilmiştir. Taşıtlarda apleti olmaması için kullanılan kayma-kızaklama sisteminin çalışma prensibinden bahsedilmiştir.

Hareket halindeki bir aracı yavaşlatmaya veya durdurmaya duran bir aracın ise yerinde sabit olarak kalmasını sağlamaya yarayan sisteme fren sistemi denmektedir. Frenleme mesafesini yalnızca araç hızı değil, tekerlekteki sürtünme, araç içindeki kütle miktarı, yolun eğimli olması, kurp bölgesi, rayların ıslak olması ve aracın kurp bölgesinde fren yapması dahi etkilemektedir. BTA araçlarında fren sistemi tasarlanırken bu tür etkenler göz önüne alınarak ve taşıtta daha az yer kaplaması için hidrolik fren sistemi tercih edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** BTA fren sistemi, hidrolik fren sistemi, kayma-kızaklama sistemi, apleti

# DESIGN OF AN INTEGRATED CLIMATE CONTROL SYSTEM FOR SUBWAY TRAIN

Ece KALAY<sup>1</sup> \* and İskender ÖZKUL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin University, Mersin, Turkey, e-mail: eecekalay@gmail.com

<sup>2</sup>Mersin University, Mersin, Turkey, e-mail: iskender@mersin.edu.tr

## Abstract

The cities that are experiencing transportation problems in parallel with a rapidly increasing population and urbanization in recent years allocate a large part of their investments to railed systems. The dirty air that is inhaled during the intensive use of subway trains may cause many health problems. The air conditioning systems used in subway trains, the humidity can be lost when the ideal temperature is given and the increase in the number of toxic and allergic mechanisms in breathing air through inhaled triggers respiratory symptoms and asthma. In this work, the designed air conditioner will recover humidity lost from the environment. A healthier journey will be offered to the subway train by this design.

**Keywords:** Humidification, Air Conditioning, Climatization in Railway System

## 1. Introduction

In recent years, rapid population growth is increasing the investments in railway systems in cities with transportation problems. Railway systems have an important place in urban transportation due to the considerable reduction in transportation time, high passenger capacity and reduced noise pollution. Generally, subway train lines with underground routes are widely used rail system tools.

Today, railway systems used in urban public transportation; subways, trams, light rail system, suburban trains. Subways that do not have a way to intersect underground or over the ground can reach high speeds compared to other types. In railway systems, which are often preferred in urban transport, people want a clean air environment with a certain temperature and humidity range. It is disturbing if the temperature is too high or too low. When the humidity level is low; burns in the eyes, dry throat may occur. If the humidity level is high, a sweaty temperature sensation occurs. For the fresh air to be fresh and clean and there must be an air circulation to take away harmful substances such as smoke and dust that the human cannot notice and bring clean air. For this reason, the use of air conditioning in the wagons is not a luxury but a necessity for the comfort of passengers and their staff . When air conditioning systems provide ideal heat dissipation, they reduce the relative humidity in the environment. As a result, an increase in the number of irritating toxic and allergic mechanisms in the environment triggers respiratory and asthma. When the subway train is extremely used, the breathing air can lead to many health problems and also prevents a comfortable journey .

As a result of a study on the London Subway, analyzes were carried out on dust collected from the environment and the toxicity of the subway dust was found to be higher than that of titanium oxide.



Karlsson, who wants to test the effects of these dust which may be harmful to DNA, sees that powdered cells produce toxic effects on the cell as a result of the exposure of the lung cells to humans and that it is caused by stress. In this project, the lost noodle will be recovered due to the air conditions in the railway system wagons where weather conditions need to be controlled .

## 2. Method

The air conditioners are cooling and heating devices that control the movement of air independently from the external environment, from the inside, and outside the unit. Based on the cooling cycle, the working air conditioners control the parameters such as humidity, temperature, fresh air intake in the indoor environment. When the air conditioner starts to cool down, the fan motor first starts rotating. After a while, the signal is sent to the external unit. The fan motor with the compressor in the outer unit runs and the fluid, which is in low pressure and vapor, is absorbed by the compressor. The heat exchanger is sent with increased pressure and temperature. The air circulates on the exchanger with the help of a fan. The steam is hotter than the outside air. It leaves the heat in the air, and becomes liquid by condensation. As the high temperature and pressure from the heat exchanger passes through the capillary tube which is the expansion element of the fluid, the pressure and the temperature decrease. The fluid that flows through the copper tubes in the liquid state comes in the inner heat exchanger and draws the heat of the air. The heat is transferred through the air fan so that the medium is cooled. Then the fluid returns to the compressor in the external unit as it is heated by the air. In the case of steam, the absorbed fluid is again pressurized and the temperature is raised to regenerate the heat exchanger in the external unit. This is called the circulation refrigeration cycle. In the heating process of air conditioners; the compressor delivers the steam under high temperature and pressure directly to the internal unit through the four-way valve located in the external unit. The heat exchanger leaves the heat in the air as the incoming fluid is warmer than the air in the environment. By means of the fan, warm air is sent to the environment. When the air conditioners are in operation, the heat from the serpentine in the internal unit condenses when the humidity of the air comes into contact with the cold surface of the serpentine. This needless water formed in the internal unit due to condensation is removed by the discharge pipe. As a result, the relative humidity in the environment decreases. Due to humidity loss in the indoor environment, both the health and the ergonomics are adversely affected. Humidity is defined as water vapor in the air. Relative humidity is the ratio of the partial pressure of the water vapor in the air to the humidity saturation pressure at the dew point of that air and expressed as a percentage. When the air cannot hold more humidity than a certain water vapor can hold, the relative humidity of saturated air reaches 100%. One-way to remove the humidity in the air to cool the air to the until dew point temperature. A second method is to pass air through materials with high humidity retention properties. One of the rules of struggle with humidity is that these notions are well known. It is also to be analyzed from a psychometric diagram.

In our design, the water that the air conditioner collects from the environment and evacuates is kept in the internal unit by piped water through an external water depot firstly. It is ensured that some of the harmful compounds in the water are precipitated. On the other hand, the humidity sensor in the indoor unit continuously measures the humidity of the environment. The system is triggered by the information sent to the electronic card when the humidity ratio gets lower than the desired ratio. As soon as the system starts to work, the water accumulated in the depot is sent to the reverse osmosis unit. Reverse osmosis is relatively simple compared to similar technologies and is membrane technology. Normal osmosis allows only water to pass between the semi-permeable membrane. In addition, the osmosis process is an action that holds other substances and continues until the two sides balance. The difference in static height due to the volume change in liquids on both sides of the membrane brings about osmotic pressure. In the reverse osmosis process, a pressure higher than the osmotic pressure is applied by the liquid with a higher concentration. Due to the reverse flow formed by this pressure applied, the minerals, salts and organic substances in the liquid, which are denser,

are released from one side of the membrane. On the other side, it passes as a liquid free of less dense salts and minerals. In the first stage, the membrane filters in the unit clean the suspended dirt with a 5-micron sediment filter. Then the CTO (Chlorine, Taste, Odor) carbon filter separates the compounds such as smell, color, asbestos by the method of nanotechnology. The 1-micron sediment filter protects the reverse osmosis membrane filter (ROMF) by refining the sediments, sand, mud, etc. contained in water. TOMF performs microbiological and chemical treatment by filtering the water at the molecular level. Membrane filters with a pore-semi-permeable membrane are helical. It is a filter that does not pass particles and microorganisms that are bigger than the pore diameter. Thanks to the molecular stones in the detox filter, the molecular structure of the water that is ionized are shrunk. In the last stage, Ultraviolet Sterilization Filter (USF) is destructed by ultraviolet rays which are dangerous organisms that cannot be seen in time. By means of the pump used to obtain adequate pressure, the water is returned to the internal unit and spread for the environment from the nebulizer. The water in the internal unit is found by adding various parameters according to the amount of water used by the nebulizer unit . The clean water that reaches the nebulizer's deposit becomes cold steam by using ionization technology. Water is given with nozzles placed in the internal unit. The schematic representation of the design is shown in Figure 1.

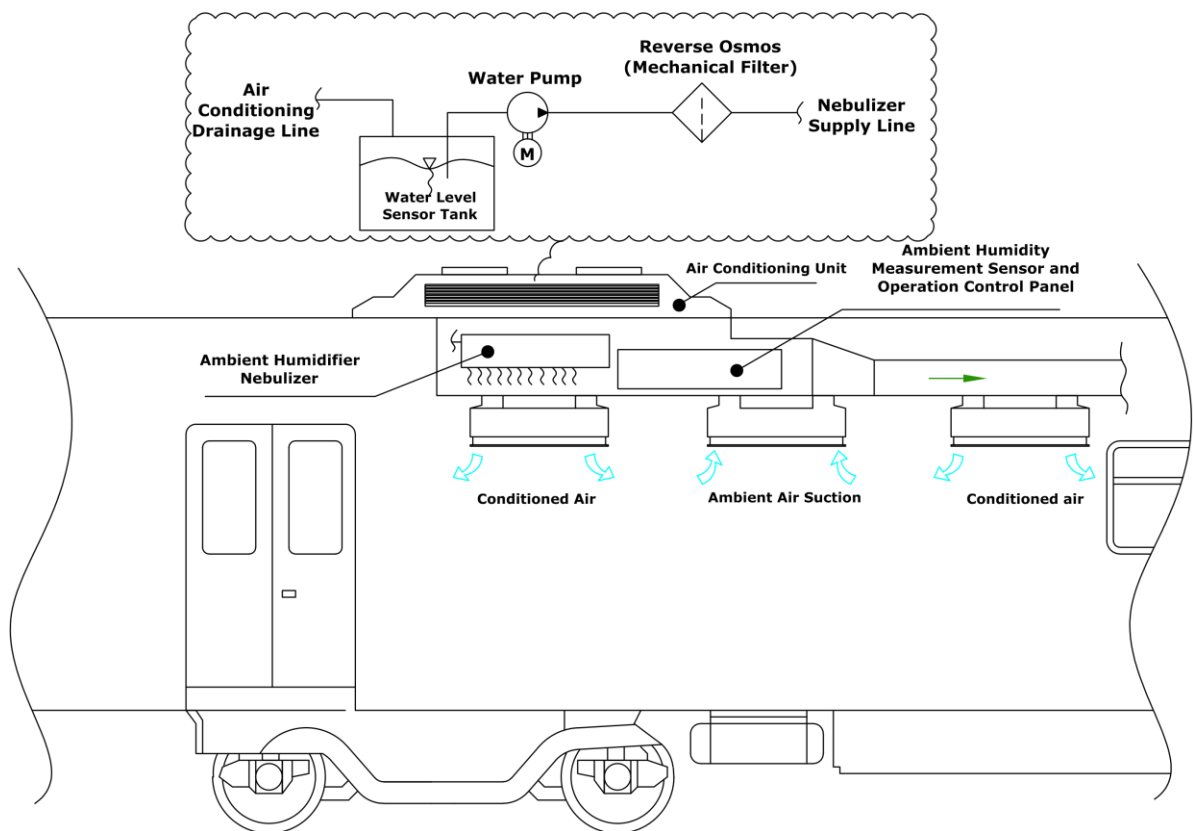


Figure 1. Ambient humidification system in railway systems

### 3. Results

In this study, it was aimed to solve the problem of humidity which is caused by the decrease of the ambient humidity and decrease of the quality of life which is one of the big problems in conditioning the indoor atmosphere of the wagons used in human transportation.

The problems we encountered in the design of the humidification system that we have made for solving this problem are as follows;

- The water coming from the inner unit was not enough for the system instantaneously, and as a result, the water coming from the inner unit was collected by means of an external tank against the risk of the system not working. At this point, the system has met its own water source and has become a maintenance-free application.
- The presence of foreign substances, dust, bacteria and viruses in the water coming from the inner unit was provided by filtration of the water.
- Since the system cannot obtain sufficient pressure due to the operation with the atmospheric pressure, the pump is added to the system.
- It has been taken into consideration that the system will require users to request different environmental conditions in the environments where they will be installed. As a result, control sensors and external sensors are used with electronic cards. This allows the user to make the desired settings.

As a result of the design, the humidity problem created by the air conditioners in the railway cars during the heavy use of the railway systems in the urban transportation will be removed with the integration of the electronic circuit elements and the filtration systems into the rail system air conditioners.

### References

- [1] B. Onat and B. Stakeeva, Assessment of fine particulate matters in the subway system of Istanbul, *Indoor and Built Environment*, 23(4), 574-583, 2014.
- [2] K. Ögüt and E. Güngör, Türkiye’de kentsel raylı sistemlerin gerekliliği ve uygulamada dikkat edilecek konular, *Uluslararası Demiryolu Sempozyumu*, 1-10, 2006.
- [3] A. Seaton, J. Cherrie, M. Dennekamp, K. Donaldson, J. F. Hurley and C. L. Tran, The London Underground: dust and hazards to health, *Occupational and Environmental Medicine*, 62(6), 355-362, 2005.
- [4] H. Karlsson, A. Ljungman, J. Lindbom and L. Möller, Comparison of genotoxic and inflammatory effects of particles generated by wood combustion, a road simulator and collected from street and subway, *Toxicology Letters*, 165(3), 203-211, 2006.

- [5] R. Qi, L. Lin and Y. Hongxing, Investigation on air-conditioning load profile and energy consumption of desiccant cooling system for commercial buildings in Hong Kong, *Energy and Buildings*, 49, 509-518, 2012.
- [6] E. Özbakır, Yeraltı raylı sistem istasyonlarında ısıtma, havalandırma, klima tesisatı, VII Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 375-383, 2005.
- [7] B. Yu, Z. Hu, M. Liu, H. Yang, Q. Kong and Y. Liu, Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health, *International journal of refrigeration*, 32(1), 3-20, 2009.
- [8] R. J. Sigillito and P. M. DeBlieux, Evaluation and initial management of the patient in respiratory distress, *Emergency medicine clinics of North America*, 21(2), 239-258, 2003.

# Motorlu Araç Ağırlığının Azaltılması Yaklaşımı

Fatih HAYAT

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, KARABÜK  
E posta: fhayat@karabuk.edu.tr

## Özet

Birçok alanda yenilikçi ve gelişmiş ürün kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu ürünler araçların ağırlıklarını azaltılmak amacı ile kullanılmaktadır. Bu olgu her tür araçta daha ince ama daha mukavim ve farklı özellikleri daha iyi olan ürünler kullanımına imkân vermektedir. Araç ağırlığının azaltılmasının en önemli hedeflerinden bazıları ise yakıt tüketimi ve zararlı salınımların azaltılmasıdır. Küresel ısınma, salınım değerlerinin azaltılmasında en büyük gerekçedir. Bu amaçla başta alüminyum, magnezyum, çelik gibi metaller olmak üzere kompozit, plastik gibi gözde malzemelerin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Bu gelişime açık olan ürün portföyü hafiflik teknoloji ürünlerinin, yakıt verimliliğinin artışı ve emisyon ve kirliliğin azaltılmasında önemli bir bileşen olduğunu bildirilmektedir. Bu çalışmada araç ağırlığının azaltılması ile ilgili literatür bazlı analizler yapılmış ve sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Motorlu taşıt emisyonları, Araç ağırlığı, Hafif malzemeler, Hava kirliliği

## Abstract

The use of innovative and advanced products in many areas is increasing day by day. These products are used to reduce the weight of vehicles. Some of the most important objectives of reducing vehicle weight are the reduction of fuel consumption and harmful emissions. Global warming is the major reason for the reduction of emissions. For this purpose, the use of materials such as aluminum, magnesium, steel and other materials such as composites and plastics is increasing. It is reported that it is an important factor in lightness, increase in fuel efficiency and decrease of pollution. In this study, the literature was analyzed and presented about the reasons for the reduction of the vehicle weight and its causes.

**Key words:** Motor vehicle emissions, Vehicle weight, Light materials, Air pollution

## Giriş

Son yıllarda meydana gelen çevresel felaketler, küresel enerji ve finansal krizler, kaynakların kirlenmesi ve/veya tükenmesi gibi birçok olay insanoğluna sebeplerini araştırma imkânı sunmuştur. Bu krizlerden etkilenen sektörlerin başında otomotiv endüstrisi gelmektedir. Özellikle çevresel felakete neden olan kirliliklere çözüm getirmek amaçlı yeni ve daha gelişmiş ürünlere yönlendirmektedir. Çevresel felaketlerin en önemli nedeni küresel ısınma olarak gösterilmekte ve bunun nedenlerinden biri de motorlu araçların açığa çıkararak doğaya saldırdığı çeşitli zararlı gaz emisyonlarıdır. Dünya genelinde sadece 2017 yılında 82.47 milyon adet otomobil satıldığı bildirilmiştir. Mevcut araçlarla birlikte Dünyada kaç araç olduğu ve egzozundan çıkan atıkların miktarını düşünmek doğaya ne kadar zarar verdiğimizizin göstergesidir. Doğayı kirleten bu zararlı salınımlar geri dönüşü olmayan hasarlara sebebiyet vermiş ve halende hızla vermektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının ve ekolojik dengenin korunması adına çevresel baskıların artması

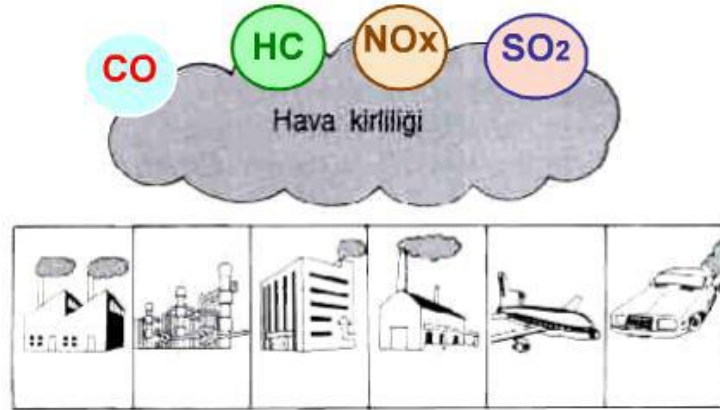
otomotiv sektörünü yakıt tüketiminde zorunlu kısıtlamalara götürmektedir. Taşıt araçları ne kadar hafif olursa, hareket etmeleri için o kadar daha az enerjiye gerek duyulur ve çevreye zararlı etkiye sahip CO<sub>2</sub> salınımı azalacaktır.

Kyoto protokolü ve 2015 yılındaki Paris anlaşmasına Dünya liderleri katılmış ve ortak kararlara imza atmışlardır. Bu sözleşmeye göre ülkelerin salınım değerlerini azaltması gerektiğine vurgu yapılmış ve sınırlamalar getirilmiştir. Uygulanması problemler olduğu ve bazı ülkelerin sonradan bu anlaşmadan çekildiği aşikârdır.

Motorlu araçların başta binek otomobiller olmak üzere salınım değerlerini azaltması Dünyamız önem arz etmektedir. Bunu sağlamanın en etkin yollarından bir tanesi de araç ağırlığını azaltmaktır. Ağırlık azalırsa yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonunu azaldığı bilinmektedir.

## EMİSYON

İnsanoğlunun ve canlıların yaşama koşulu olan hava, ağırlıklı olarak azot ve oksijenden oluşmaktadır. Sonrasında daha az ve değişen oranlarda argon, karbondioksit, su buharı, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, azot monoksit, karbon monoksit, ksenon, ozon, amonyak ve azot dioksit gazlarının karışımından meydana gelmiştir. Atmosferi oluşturan bu gazların, en kararsız olanları su buharı ve karbondioksittir. Atmosferdeki su buharı miktarı denizler, göller, nehirler ve bitkilerden buharlaşma ile artar ve bulutlardan sis, çığ, yağmur oluşumu ile de azalır [1]. Atmosfer çok farklı şekillerde kirletilmektedir (Şekil 1). Motorlu araçlar, fabrikalar başta olmak üzere bir çok etmen söz konusudur.



Şekil 1. Atmosferi kirleticiler [1].

Otomobillerden, kamyonlardan ve otobüslerden kaynaklanan hava kirliliği, birincil ve ikincil kirlilik olarak sınıflandırılabilir rapor edilmiştir (Şekil 2). Birincil kirliliğin doğrudan atmosfere yayıldığı; ikincil kirliliğin ise atmosferdeki kirleticiler arasındaki kimyasal reaksiyonlardan kaynaklandığı bildirilmiştir [2].



Şekil 2. Motorlu araçların kirleticiler ile ilgili fotoğraf [3].

## Motorlu Araç Emisyonları ve Hava Kirliliğine Etkisi

Motorlu taşıtlarda kullanılan fosil kökenli yakıtlar (HC), ideal koşullarda oksijen ile reaksiyona girmesi sonucunda, oluşan emisyonlar karbondioksit (CO<sub>2</sub>), su buharı (H<sub>2</sub>O) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) bileşikler olarak bildirilmiştir. Fakat gerçekte ideal koşulların sağlanması mümkün olmadığından tam yanma gerçekleşmemekte ve diğer kirlenici unsurlar da oluştuğu öne sürülmüştür. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan toplam kirlenicilerin % 75'ini oluşturan egzoz gazlarının bileşiminde; parafinler, olefinler ve aromatikler gibi yanmamış hidrokarbonlar, aldehitler, ketonlar, karboksilik asitler gibi kısmen yanmış hidrokarbonlar, CO, NO<sub>x</sub>, SCb, kurşun bileşikler ve partikül maddeler bulunduğu bildirilmiştir [4,5]. Otomobil, kamyon ve otobüsler, araç çalışması ve yakıt üretimi sırasında ortaya çıkan kirlilik dahil olmak üzere, yaşam döngüsü boyunca hava kirliliği yaratırlar. Çalışmalar, kirlenicileri araç egzozundan, vücuttaki neredeyse her organ sistemi üzerindeki olumsuz etkilere neden olduğu rapor edilmiştir [6].

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan başlıca kirleniciler şunlardır:

**Partikül madde (PM):** Bu tür partikül madde, taşıt egzozunda görülen kurumdur. İnce partiküller - insan saç çapının onda biri - akciğerlere derinlemesine nüfuz edebildikleri için insan sağlığına ciddi bir tehdit oluşturmurlar. Dizel araçların egzoz PM kirliliğine önemli bir katkıda bulunur.

**Uçucu Organik Bileşikler:** Bu kirleniciler, güneş ışığında yerküre seviyesindeki, nitrojen oksitlerle tepkimeye girerek kirli/dumanlı/endüstri sisi denilen havayı yani ozonun bir bileşeni oluştururlar. Üst tabakadaki atmosferde faydalı olmasına rağmen, zemin seviyesinde bu gaz solunum sistemini tahriş eder, öksürüğe, boğulmaya ve azalmış akciğer kapasitesinin düşmesine neden olur.

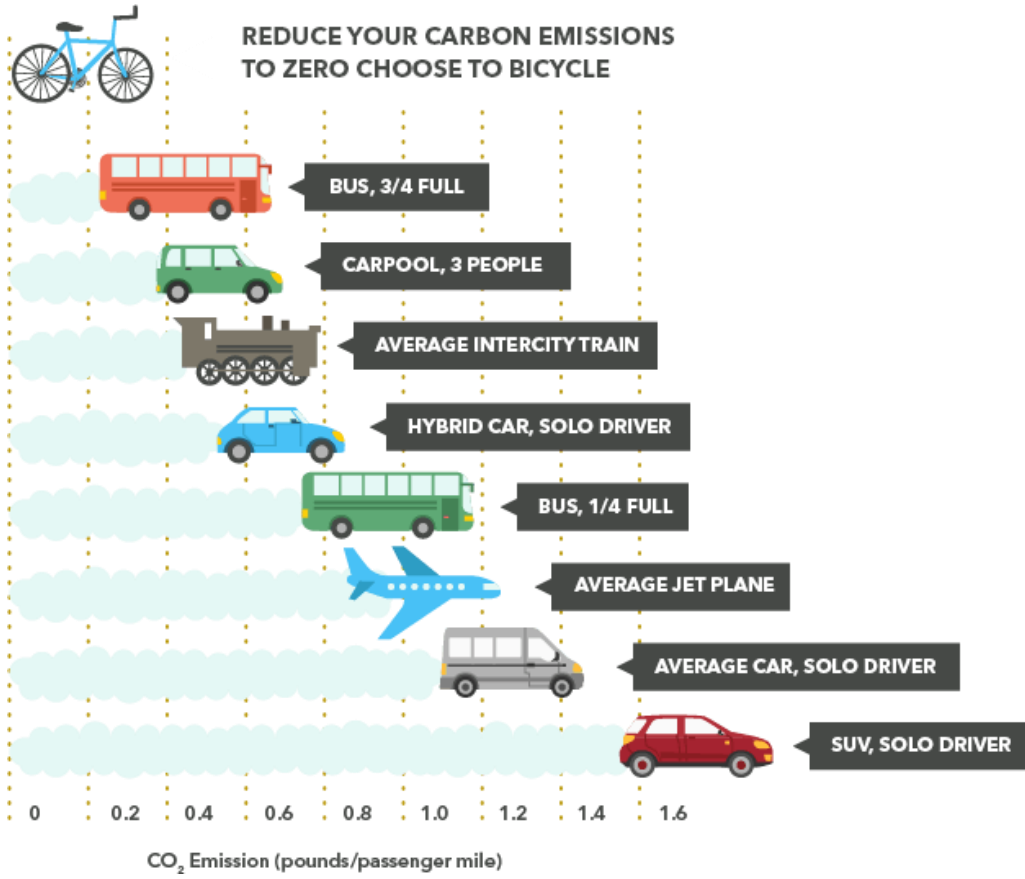
**Azot oksitler (NO<sub>x</sub>):** Bu kirleniciler yer seviyesinde ozon ve partikül madde (ikincil) oluştururlar.

**Karbon monoksit (CO):** Toksik bir gaz olan karbonmonoksit kokusuz ve renksizdir. havadan daha hafiftir ve kolaylıkla yayılabilir. Mesela kapalı bir odada havanın üzerine yükselir ve odanın içinde ise tavana en yakın kısımda birikir. Benzin gibi fosil yakıtların yanmasıyla oluşur ve öncelikle otomobillerden, otobüs, kamyon gibi araçlardan yayılır. Solunduğunda, CO beyni, kalbi ve diğer hayati organları oksijeni engeller [7].

**Sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>):** Enerji santralleri ve motorlu taşıtlar, kükürt içeren yakıtlar, özellikle dizel ve kömür yakarak bu kirlenici maddeyi meydana getirmektedir.

**Sera gazları:** Motorlu taşıtlar ayrıca küresel iklim değişikliğine katkıda bulunan, ağırlıklı olarak karbondioksit kirleniciler yayarlar [6]. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>), Nitroz Oksit (N<sub>2</sub>O), Hidroflorür karbonlar (HFCs), Perfloro karbonlar (PFCs), Sülfürhekza florid (SF<sub>6</sub>) gibi gazlarından oluşan ve atmosferde ısı tutma özelliğine sahip bileşiklere sera gazı denir. Sera gazları, sera etkisine katkıda bulunan gazlardır. Araç emisyonlarının iklim değişikliğini ve küresel ısınmayı destekleyen sera gazları ürettiği bilinmektedir.

Motorlu taşıtların hava kirliliğinde önemli bir payı bulunmaktadır. Bu ise emisyon kontrol teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Şekil 3'de hangi taşıtın ne kadar emisyon değerlerine sahip olduğu verilmiştir.



Şekil 3. Emisyon değerleri ve araçlara göre değerleri [8].

Fosil yakıtlarla çalışan otomobiller, kamyonlar, otobüsler, trenler ve bir çok araç hava kirliliğine sebeptir. En önemli sebep olarak otomobiller gösterilebilir. Aracın emisyonlarına dikkat ederek, karbon ayak izi azaltılabilir.

### Araç hacminin ve ağırlığının etkisi:

Egzoz emisyonları, hizmet ve ağır iş araçları, Hollanda (kilometre başına gram) [9, 10].

Test prosedürü ve yükleme	Karbonmonoksit	Hidrokarbonlar	Azot oksitler	Partikül madde
<b>Kentsel</b>				
3.5 tondan az	3.0	1.3	1.3	1.2
3.5-5.5 ton	4.0	2.0	6.0	1.5
5.5-12.0 ton	10.0	7.0	10.0	3.5
12.0-15.0 ton	13.0	9.0	13.0	5.0
15.0 tondan fazla	16.0	12.0	20.0	7.0
<b>Karayolu</b>				
3.5 tondan az	0.9	0.5	1.4	0.5
3.5-5.5 ton	1.0	0.8	7.0	0.9
5.5-12.0 ton	1.5	2.0	13.0	1.8
12.0-15.0 ton	2.0	2.3	15.0	2.0
15.0 tondan fazla	2.0	2.5	25.0	2.5

Source: Veldt 1986

Avrupa otomobilleri ve hafif ticari araçlar için tahmini emisyonlar ve yakıt tüketimi, (kilometre başına gram) [9, 11].

Trafik ve araç tipi	Karbon	Hidro	Azot oksitler	Partikül madde	Yakıt tüketimi (litre/100km)
---------------------	--------	-------	---------------	----------------	------------------------------



	monoksi t	karbonla r			
<b>Kentsel</b>					
<b>Yolcu arabaları</b>					
2.000cc den az	1.0	0.306	0.7	0.362	10.0
2.000cc den fazla	1.0	0.306	1.0	0.362	10.0
Hafif ticari araçlar	2.4	0.506	1.7	0.333	14.08
<b>Kırsal</b>					
<b>Yolcu arabaları</b>					
2.000cc den az	0.5	0.105	0.4	0.131	5.05
2.000cc den fazla	0.5	0.105	0.7	0.131	5.05
Hafif ticari araçlar	0.8	0.205	1.2	0.131	8.40
<b>Karayolu</b>					
<b>Yolcu arabaları</b>					
2.000cc den az	0.4	0.105	0.5	0.170	6.17
2.000cc den fazla	0.4	0.105	0.9	0.170	6.17
Hafif ticari araçlar	0.6	0.105	1.3	0.160	7.87

Source: Samaras 1992

**Notlar:**

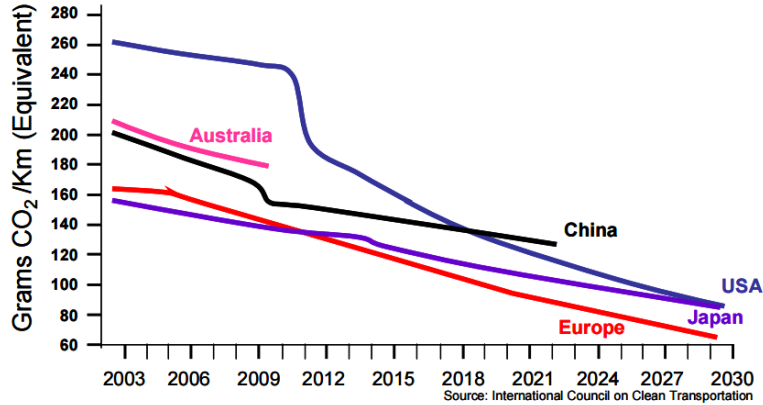
- Kentsel, kırsal ve otoyol için ortalama sürüş hızları sırasıyla 25 km / saat, 75 km / saat ve 100 km / saat'dir.
- G / km cinsinden emisyon faktörleri, 1990'lı yıllara ait COPERT modelinden, karayolu trafik emisyonları için CORINAIR metodolojisinden yararlanılarak elde edilmiştir.
- dahil edilen kirleticiler şunlardır: CO, HC, NOx, TPM. Yakıt tüketimi de tahmin ediliyor.

Hedefler doğrultusunda emisyon değerlerinin dünya ölçeğinde değişim tahminleri Şekil 4'de verilmiştir.

**Why FutureSteelVehicle?**



**Automotive CO<sub>2</sub> Emissions Regulations**



Şekil 4. Emisyon değerlerinin tahmini değişimi [12].

Grafiğe bakıldığında Dünya genelinde otomotiv ürünlerinin emisyon değerlerinin keskin bir düşüşe geçeceği tahmin edilmektedir. Özellikle ABD'de düşüşün daha fazla olduğu bildirilmektedir. 2003 ile 2030 yılları arasında Avrupa'da neredeyse 3 kate doğru azaltılması planlandığı görülmektedir.

**ARAÇ HAFİFLİĞİ İÇİN KULLANIMI ARTAN MALZEMELER**

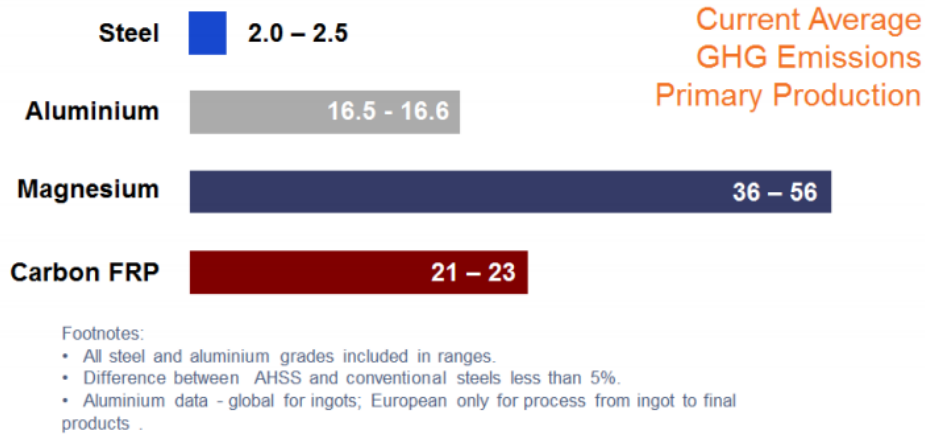
Özellikle en gelişmiş ve ARGE harcamalarına en fazla yatırımı yapan otomobil/otomotiv sektörü üzerinden gitmekte fayda vardır. Otomobil üretiminde kullanılan malzemeler çeşitlilik arz eder. Bütün endüstriyel alanlarda üreticiler, üstün özelliklere sahip hafif, dayanımı yüksek, şekillendirme kabiliyeti ve şekillendirme sonrası dayanımı iyi olan malzeme kullanmayı arzu ederler. Son yıllarda otomotiv endüstrisinde yolcu güvenliğini, sürüş emniyetini, yakıt tasarrufunu artırmak ve çevresel faktörlerden dolayı araçların karoser kısmı hafifletilmek istenmektedir [13,14]. Özellikle enerji ve petrol krizlerinin yaşandığı zamanlarda bu konu ön plana çıkmaktadır.

Otomotiv endüstrisi magnezyum, alüminyum, bakır, plastik, çelik, cam, kauçuk, petrol vb türevli malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler on yıllar boyu otomobil üretim sektörünün gelişmesi ve ayakta durabilmesi için yapılan araştırmalarla hep geliştirilmekte ve çok karmaşık şekillerde birbirleriyle kullanılmaktadır.

Otomobil üretiminde en çok kullanılan ve olmazsa olmaz beş malzemeyi ele alınmıştır.

- ✓ Çelik
- ✓ Demir dışı (hafif) metaller
- ✓ Plastik
- ✓ Cam
- ✓ Kompozit

Alüminyum, magnezyum ve kompozit gibi düşük yoğunluklu malzemeler genellikle lüks sınıfı pahalı araçlarda kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üretimleri pahalı ve üretimlerinde doğaya zarar verici yüksek salınım söz konusudur. Bu manada Şekil 5 verildiği üzere alüminyum çelikten yaklaşık 8 kat daha doğaya zarar verir.



Şekil 5. Birincil üretimden elde edilen malzeme ortalama GHG emisyonları, kg CO cinsinden [12].

Otomobillerde yakıt tüketiminin % 60'ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından ağırlığın azaltılması doğrudan yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Araç ağırlığında her bir 59,69 kg ağırlıktan tasarruf sağlandığında yakıttan yaklaşık 0.09–0.21 km kazanç sağlanacaktır [15-17].

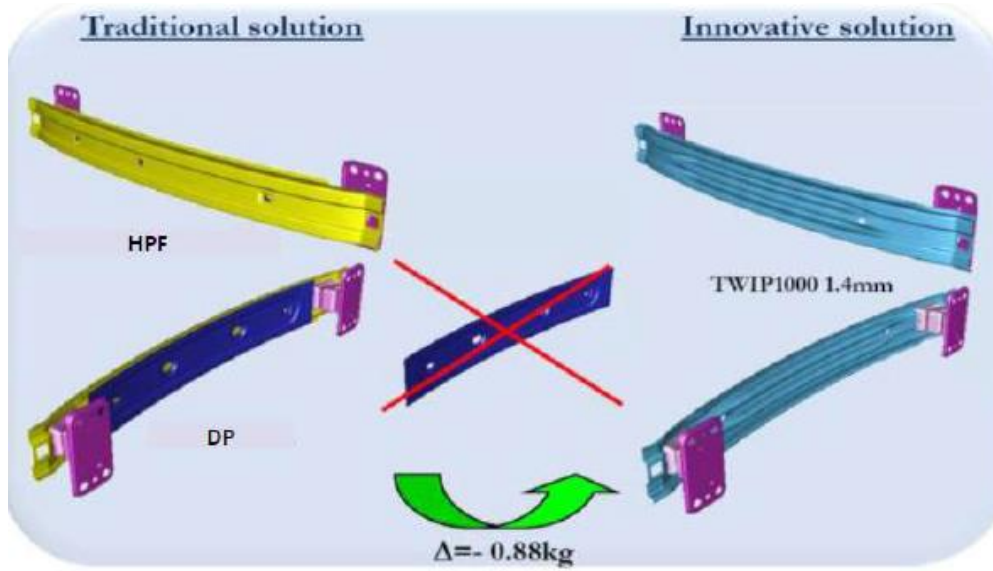
Çelik başlıca ve en önemli malzeme olarak araçlarda kullanılmakla birlikte araç ağırlığını azaltmak amacıyla alüminyum, magnezyum, plastik ve kompozit malzemeler kullanılmaktadır [18].

Araştırmalar yakıt tüketiminin %75'lik oranı ile otomobil kütlesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Genellikle otomobil ağırlığı %10 azaldığında yakıt tüketiminin %6 ila %8 oranında azaldığı, emisyon oranlarının %4 ila %6 oranında azaldığı çeşitli raporlarda verilmiştir.

Ağırlığın 100 kg azaltılması, düşük ağırlık nedeniyle elastikiyet ve ivme değerlerinde bir değişiklik olmaksızın vites değiştirmenin ayarlanması dikkate alındığında, benzin motorlu 0,35 l / 100 km ve 8.4 g CO<sub>2</sub> / km'lik bir yakıt tasarrufu sağladığı bildirilmiştir [19].

Alüminyum ve alaşımları için bir çalışmada; hafifliği, yüksek korozyon direnci, uzun ömürlülüğü, düşük bakım maliyetleri, geri kazanma imkânları gibi nedenlerden dolayı kullanımı her geçen gün artmaktadır. Otomobil endüstrisinde radyatörlerin, motor parçalarının, gövde saclarının, yapısal parçaların üretimlerinde alüminyum kullanılmaktadır. BMW 5 serisi otomobillerde bazı bölgelerde çeliğin yerine Alüminyum kullanıldığı ve 277 kg ağırlıktan tasarruf sağlandığı rapor edilmiştir [20].

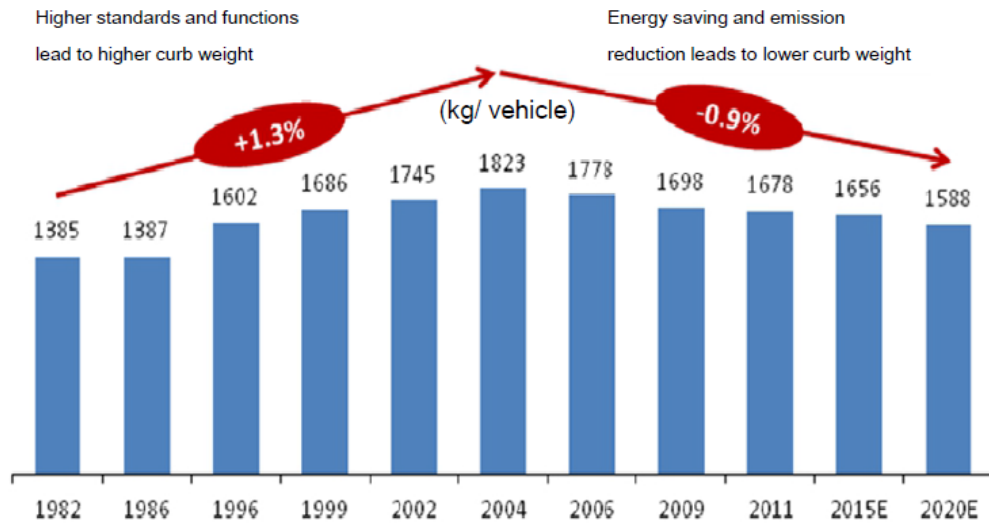
Çelik odaklı bir çalışmada ise Şekil 6'da Fiat firmasının araç hafifletme çalışmalarına örneği verilmiştir.



Şekil 6. FIAT Panda otomobilde hafifletici ürün çalışması.

Şekil 6'ya göre ileri yüksek mukavemetli TWIP çeliği kullanımı ile 2 farklı çeliğin kombine edilerek kullanıldığı tampon ürününün tek malzemeye düşürüldüğü ve 0.88kg hafifletme sağlandığı bildirilmiştir. Bir başka çalışmada Sundararajan Head, R&D Wheels firması [21], jant çelikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre geleneksel çelik ile ürettikleri jantların 11 kg olduğu fiyatının ise 100 \$ olduğunu bildirmiştir. 1. Jenerasyon çelikler ile ağırlığın 7,9 kg düşüğü fiyatın ise 300 \$ a çıktığını bildirmiştir. 2. Jenerasyon çelikler ile ağırlığın 10 kg olduğu fiyatın ise 180 \$ a düşüğünü, Alüminyum ile jant üretildiğinde ağırlığın 10 kg olduğu fiyatın ise 400 \$ a çıktığını bildirilmiştir.

Yayınlanmış raporda araç ağırlığının değişimi ve azaltılması ile ilgili veriler sunulmuştur (Şekil 7).



Şekil 7. Dünya çapında PV'nin ortalama boş ağırlığı için eğilimi ve tahmin değerleri [22].

Grafığe bakıldığında çevre duyarlılığı nedeniyle ve geçmişte alınan kararlar gereği 2004 yılından sonra araç ağırlığının azaltılması trendine girildiği görülmüştür.

## Sonuçlar

- Motorlu araçlardan çıkan gazlar havaya direkt veya havada reaksiyona girerek kirlilik oluşturduğu bir çok geçmiş çalışma ve raporlara konu olmuştur.
- Küresel ısınmanın en büyük sebeplerinden bir tanesi motorlu araçlardan çıkan zararlı gazlardır.
- Motorlu araçlarda emisyon değerlerini düşürme çalışmaları son yıllarda hız kazanmıştır.
- Otomotiv sektöründe çeşitli türde malzemeler kullanılmaktadır.
- Genel kanının aksine magnezyum ve alüminyuma göre çelik kullanımı hem karlı hem de doğaya daha az zararlı olduğu bazı raporlarda sunulmuştur.
- Ortalama emisyon değerleri ele alındığında üretim aşamasında en düşük salınıma AHSS, yani ileri yüksek mukavemetli çelik neden olmaktadır.

## Kaynaklar

1. MEGEP, Motorlu Araçlar Teknolojisi, Ankara, 2011
2. <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/vehicles-air-pollution-and-human-health/cars-trucks-air-pollution#.W7OeLHszbDf>
3. <http://www.abccevre.com/egzoz-denetimleri-devam-ediyor.html>
4. Fevzi KELEN Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences 19 (1-2):80-87, 2014.
5. Alkaya, B., Yıldırım, M. A., (2000). Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri, Ekoloji, Çevre Dergisi, Ocak-Şubat-Mart, 2000, 9(34):15-20, 2000.
6. <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/vehicles-air-pollution-and-human-health/cars-trucks-air-pollution#.W7Bf03szbDc>
7. <https://prosafety.com.tr/karbon-monoksit/>
8. <http://www.buyautoinsurance.com/car-emissions-guide/>
9. <http://www.un.org/esa/gite/landm/faizpaper.pdf>
10. Veldt, C. 1986. "Emissions from Road Transport", Discussion Paper for the OECD Workshop on Comparison of Emission Inventory Data, MT-TNO, Apeldoorn, Netherlands (October 22–24).
11. Samaras, Z. 1992. "COPERT Emission Factors." Informal Communication. Directorate-General for Environment, Nuclear Safety, and Civil Protection, Commission of the European Communities, Brussels.
12. World auto steel
13. Fatih HAYAT, Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6 / 7075-T651 RSW joints, Materials Science & Engineering A 2012, vol. 556, pp. 834-843.
14. Fatih HAYAT, A comparison of adhesive bonding, resistance spot welding and adhesive weld bonding properties of the coated-uncoated DP 600 steel Journal of Iron and Steel Research, International, Vol. 18 Issue (9): 70-78, 2011.
15. X. Cui, S. Wang, S.J. Hu, A method for optimal design of automotive body assembly using multi-material construction. Mater Des 2008;29:381–6.
16. HN. Han, JP. Clark, Lifetime costing of the body-in-white: steel vs.aluminium. JOM 1995;47(5):22–8.
17. A. Tıktık, DPT 2007-2013, Ana metal sanayi, Devlet planlama teşkilatı (TURKEY), özel ihtisas komisyonu raporu, 2007, DPT.:2717, Report no:667.
18. Advance Automobile Material for Light Weight Future – A Review, Andure M.W., Jirapure S.C., Dhamande L.P., International Conference on Benchmarks in Engineering Science and Technology ICBEST 2012
19. Martin Goede & Marc Stehlin & Lukas Rafflenbeul et al "Super Light Car—lightweight construction thanks to a multimaterial design and function integration" , DOI 10.1007/s12544-008-0001-2, European Conference of Transport Research Institutes (ECTRI) 2008.
20. I-Car, technical information for the collosion Industry, "Aluminium and steel hybrid-structured vehicles; the design of the future?" August 6, 2007.
21. T. Sundararajan AUTOMOTIVE LIGHT WEIGHTING, Head , R&D Wheels India Limited, CII, Chennai. 9th March 2017.
22. Lightweight Vehicles and their Development in China - Strategy and Roadmap, SAE-China.

# RAYLI SİSTEMLERDE SÜRÜCÜSÜZ METRO SİSTEMLERİ

Ali Öztürk<sup>1</sup>, Mustafa GÜNAY<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Mühendisliği, e-mail: alyozturks@hotmail.com

<sup>2,\*</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Karabük, Türkiye, e-mail: mgunay@karabuk.edu.tr

## Özet

Günümüzde raylı sistemlerde tam otomatik veya sürücüsüz metro sistemlerine doğru bir geçiş süreci yaşanmakta olup, geçmişten bu yana kullanılan metro hatları da bu sisteme göre yenilenmektedir. Diğer yandan, metro araçlarının konumları, istikametleri ve hareketleri sinyalizasyon sistemleri tarafından sağlanmaktadır. Bu çalışmada, tam otomatik metro sistemleri, avantajları, dezavantajları, güvenlik, bakım maliyetleri, enerji tüketimi ve hizmet kalitesi açısından diğer raylı sistemlerle karşılaştırılmıştır. Sürücüsüz metro sistemleri; maksimum güvenilirlik, duraklar arasında geçiş sürelerinin daha az olması ve yolcu bekleme süresinin azalması, yüksek işletme hızı, işletme maliyetlerinin düşük olması, tahrik ve fren sistemlerinde daha az aşınma gibi birçok avantajlara sahiptir. Ayrıca, bütün kontrollerin trafik kontrol merkezinden yapılarak herhangi bir acil durumda merkezden müdahale edilmesi, sürücüsüz metro sistemlerinin diğer sistemlere göre daha kaliteli ve güvenli bir hizmet verdiğini göstermektedir. Bu çalışma ile geleceğin Türkiye'sinde sürücüsüz metro sistemlerinin istihdam ve ekonomiye katkısı, kazanılacak otonom tecrübesi, alt yüklenici kurum ve kuruluşlara inovasyon katkısı ve otonom raylı sistemlerdeki güvenlik önlemleri hakkında ilgili sektörlerle detaylı bilgiler kazandırılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Demiryolu, Kontrol, Otomatik metro, Sürücüsüz metro, Sinyalizasyon

## DRIVERLESS METRO SYSTEMS IN RAILWAY SYSTEMS

### Abstract

Nowadays, there is a transition process to full automatic or driverless metro systems in railway systems and subway lines that have been used since the past are being renewed according to this system. On the other hand, the locations, directions and movements of subway cars are provided by signaling systems. In this study, firstly, based on driver/driverless automation systems in railway systems are examined in detail. Fully automatic metro systems are compared with other systems in terms of advantages, disadvantages, safety, maintenance costs, energy consumption and service quality. Driverless subway systems; maximum reliability, reduced transit times between stops and reduced passenger waiting time, high operating speed, low operating costs, and less wear on the drive and braking systems. Moreover, the fact that all the controls are made from the traffic control center and intervened in the center in any emergency show that the driverless subway systems provide a better and more reliable service than the other systems. Through this study, the contribute to the employment and economy of driverless metro systems in future Turkey, autonomic experience to be gained, detailed information about the contribution of innovation to sub-contracting institutions and organizations and security measures in the autonomous rail systems will be provided to the relevant sectors.

**Keywords:** Railway, Control, Automatic metro, Driverless metro, Signalization

### 1. Giriş

Demiryolu taşımacılığı, ana hat demiryolu, şehir içi demiryolu taşımacılığını (veya metro, metro, yeraltı sistemi vb.), ve yeni yüksek hızlı trenlerin dahil olduğu demiryolu taşımacılığında çalışan araçlar sayesinde toplu taşıma için etkili bir yoldur. Geçtiğimiz on yılda, demiryolu ulaşım sistemleri, teknoloji seviyesi, toplam uzunluk, seyahat hızı, servis kalitesi vb. sistemler değişmiştir. Mevcut demiryolu taşımacılık sistemi, ekonomik büyümenin sürdürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır, büyük ekonomik merkezler arasında yolculara erişim sağlayarak tedarik zincirinde hayati bir pozisyonun sağlanmaktadır [1]. Özellikle, büyük şehirlerdeki çevre ve trafik sıkışıklığı sorunları nedeniyle kentsel demiryolu

taşımacılığı, Pekin, New York, Tokyo, Londra vb. gibi büyük şehirlerde ideal olarak yeşil ve kullanışlı bir ulaşım modu olarak uygulanmaktadır [2]. Son yıllarda iletişim, kontrol ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle, otomatik tren işletmesi (ATO), birçok şehir içi raylı sistemlerde geleneksel manuel sürüşün yerini alan yeni bir teknoloji olarak kabul edilmektedir [3,4]. Tipik olarak, ATO, optimize edilmiş tren hızlandırma, kayma ve frenleme komutlarının gerçek zamanlı kararlarını otomatik olarak oluşturarak demiryolu trafiği işlemlerinin verimliliğini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Giderek artan ciddi çevre sorunları ve enerji sorunları ile ATO, optimize edilmiş bir hizmet kalitesi sunarken enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmak için optimize edilmiş tren kontrol kararları ile umut verici bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir [1]. Geçtiğimiz yüzyılda taşımacılık otomasyonunun hızlı bir şekilde gelişmesi, kişisel araçların yanı sıra, toplu taşımayla, sürücüyü desteklemek veya hatta değiştirmek için teknolojiler açısından iyileştirmeler yaşayan bir gerçektir. Araç üreticileri, hem özel (otomobil) hem de toplu taşıma (otobüs, tren) kullanımı için yeni teknoloji araştırmalarına ve yeni otomatik araçların geliştirilmesine yatırım yapmaktadır. Taşımacılık otomasyonunun faydalarına, insanların programladığı parametrelere göre, maliyetlerde genel bir azalma ya da araçların kontrolünü ele geçiren ve performanslarını optimize eden makinelerle bağlı olarak sistemin güvenliği ve sürdürülebilirliği açısından iyileştirmeler de dahil olmaktadır [5,6].

Günümüzde, sürücüsüz araçlar kentsel raylı sistemler için yeni bir teknoloji olmaktan çıkmıştır. 1927'de açılan Demiryolu Postanesi, tren üzerinde herhangi bir görevliye gerek duyulmadan Londra'nın merkezinde bulunan kolileri ve mektupları taşıyan tam otomatik dar hatlı yeraltı demiryolu ağına sahipti. 1968 yılında açılan Londra Yeraltı Victoria Hattı ise bir sürücü olmasına rağmen işletmenin denetlenmesi ve tren kapılarının çalıştırılması için trenin otomatik olarak yönlendirilebileceğini kanıtlayan ilk yolcu taşıma hattı olmuştur. Bu gelişmeler sonrasında yapılan çalışmalar neticesinde, 1981 yılında hizmete başlayan Japonya'daki Kobe Liman Adası Hattı, gözetimsiz tren işletimi (UTO) olarak tanımlanan, personel bulunmayan trende yolcu taşıyan ilk metro olarak kabul edilmiştir [7]. Güvenlik, esneklik, dakiklik, maliyet verimliliği ve genel yolcu memnuniyeti konularında kıskanılacak rekorlara sahip olan sürücüsüz metro sistemi günümüze kadar gelişmiş sinyalizasyon ve otomasyon sistemleriyle her gün bir önceki güne göre gelişim göstermektedir. UITP (Uluslararası Toplu Taşıma Birliği), dünyanın her yerinden sürücüsüz metropollerin toplam 1.000 kilometreyi aştığını duyurmuştur. Çin'in Şanghay kentindeki Pujiang Hattı'nın açılışı, bu dönüm noktasına ulaşılmasında büyük paya sahiptir ve bugün dünyada 19 ülkede 42 şehirde 63 tam otomatik sürücüsüz metro hattı vardır. Otomatik hatların ilk 500 km'si 29 yıl boyunca inşa edilmiştir ve bu teknolojinin sürdürülebilir olduğu kanıtlandıktan sonra, bu rakamın ikiye katlanarak bugün olduğumuz noktaya gelmesi sadece sekiz yıl sürmüştür. UITP onaylanmış projelere dayanarak 2025 yılına kadar tam otomatik metro hatlarının 2.300 km üzerinde olacağını ifade etmektedir [8]. Ülkemizde ilk sürücüsüz metro sistemi olarak açılan İstanbul Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metrosu 17 kilometre uzunluğunda güvenlik sistemleri üst düzeyde ve işletme sefer aralığı 120 saniyeye kadar düşecek şekilde tasarlanmıştır. Peron ayırıcı kapılar 20 saniye aralık ile açılıp kapanmakta olup sinyalizasyon sisteminin kontrolündedir. Araç filosu, 21 adet yeni 6-araçlı, yaklaşık olarak 129 metre uzunluğundaki tren setinden oluşacaktır. Sistem her ne kadar UTO (Görevsiz Tren İşletme) olarak tasarlanmış olsa da trenin her iki başında sürücü için yer bulunacaktır.

Son birkaç on yıl içinde iletişim, kontrol ve bilgisayar teknolojilerinin hızla gelişmesiyle, sürücünün artık kontrol kolunu dikkatli bir şekilde kullanmak zorunda kalmayacağı otomatik tren işletmesi (ATO), geleneksel manuel sürüşün yerini alacak birçok kentsel raylı sistemde ortaya çıkmaktadır. Demiryolu sistemlerinde teknoloji ilerledikçe, demiryolu trafik yönetimi ve tren işletmesini optimize ederek daha yüksek taşıma kapasitesi, daha düşük maliyet ve daha iyi hizmet kalitesinde mevcut demiryolu ağını daha etkin yapmak için ATO sisteminin kullanımı teorik olarak zorlayıcı ve pratik olarak önemli bir sorundur. Son olarak, mevcut ATO sistemleri ve gelecekte bu alandaki en umut verici araştırma yönleri için ortaya çıkan gereklilikler; i) ana hatta ve yüksek hızlı demiryolunda ATO'nun pratik uygulaması, ii) enerji tasarrufu konularında işbirliğine dayalı tren işletmesi yöntemleri, iii) gelişmiş ATO teknolojisi ile demiryolu trafik kontrolünün entegrasyonu olduğu açıkça görülmektedir [9].

## 2. Otomasyon Donanımı ve Seviyeleri

Teknolojik gelişmeler, tüm operasyon sürecini izleyebilen, yönetebilen ve kontrol edebilen bir sistem sağlamıştır. UITP, IEC 62267 standardında olduğu gibi, Otomasyonun seviyelerini (GoA) standart bir tanımlamasını yapmıştır. Bu, dört kritere dayalı olarak: hareket halinde bir trenin ayarlanması, bir trenin

durdurulması, kapı kapanması ve bozulma durumunda işletme şeklinde dört kritere bağlı olarak Tablo 1'de özetlenmiştir [10].

Tablo 1. Tren otomasyonunun seviyeleri [7]

Otomasyon seviyeleri(GoA)	Tren işletme tipi	Hareket halinde tren ayarlaması	Treni durdurma	Kapı kapanması	Bozulma durumunda işletme	Örnek
GoA 0	ATP'siz sürücü	Sürücü	Sürücü	Sürücü	Sürücü	Sokak tramvayı
GoA 1	ATP ve sürücü	Sürücü	Sürücü	Sürücü	Sürücü	Tyne and Wear metrosu
GoA 2	Sürücülü ATP ve ATO	Otomatik	Otomatik	Sürücü	Sürücü	Paris metro hattı 3
GoA 3	DTO	Otomatik	Otomatik	Tren görevlisi	Tren görevlisi	Docklands hafif metro sistem
GoA 4	UTO	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Dubai metrosu

ATP (Otomatik tren koruma), ATO (Otomatik tren işletme), DTO (Sürücüsüz tren işletme), UTO (Görevsiz tren işletme)

## 2.1. Otomasyon Seviyeleri

### 2.1.1. Otomatik tren koruma (ATP)

Trenin tehlike sinyalini geçmesine veya hız sınırlamasını aşmasına neden olacak bir hız profilini aşması muhtemelse, tren sürücüsünü uyarmak için bir hedef hız göstergesi ve sesli uyarılar kullanır. Bu durumda, sürücü bu uyarılara cevap vermezse sistem frenleri uygular. Sistem, sırasıyla, trenin hızını ve konumunu dikkate alır. Sisteme izin verilen maksimum hız ve konum bilgisi, kodlanmış pistler üzerinden, kodlanmış pist devreleri aracılığıyla veya daha yakın zamanda radyo sinyalleri aracılığıyla izin verilen maksimum hızda verilir [11].

ATP'li bir tren asgari olarak GoA1 (Otomasyon seviyesi 1) seviyesine karşılık gelir. GoA1 seviyede tren kapılarını açıp kapatma, treni istasyondan kaldırma, limit hız altında treni sürme (hızlanma/yavaşlama) tamamen makinist kontrolü altındadır. GoA2 seviyede insan faktörü azalmıştır. Bu seviyede makinist sadece tren kapılarından ve trenin perondan güvenli bir şekilde ayrılmasından sorumludur. GoA2 birçok kaynakta STO (Semi automatic Train Operation) yani yarı otomatik tren işletimi olarak geçmektedir. Bu seviyeye örnek olarak M2 Yenikapı-Haciosman, M3 Kirazlı-Başakşehir, M4 Kadıköy-Kaynarca ve M6 Levent-Hisarüstü metroları verilebilir. GoA3 seviyede makinist yer almamaktadır. Bunun yerine tren işletimi ile ilgili tüm sorumluluk sinyal sistemi idaresinde olup tren kapılarının kapanması ve trenin perondan güvenle ayrılması bir tren personeli tarafından gerçekleştirilmektedir. M4 Kadıköy-Kaynarca hattı bu seviyede işletim için uygun altyapıya sahiptir [12].

### 2.1.2. Otomatik tren işletme (ATO)

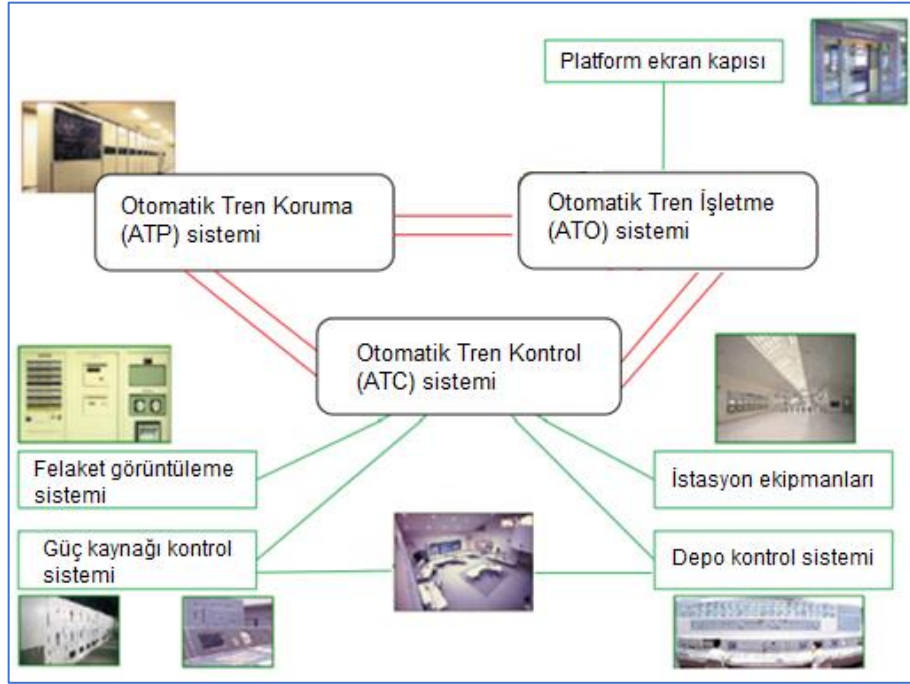
Trenlerin operasyonlarını otomatikleştirmeye yardımcı olmak için kullanılan bir operasyonel güvenlik geliştirme cihazıdır. Genellikle, insanların güvenliğini sağlamak için daha kolay olan otomatik ray geçişleri ve metrolarda kullanılır. Çoğu sistem, arıza veya acil durumlara ilişkili riskleri azaltmak için bir sürücüyü kullanmayı seçer [11].

Bu sistem, sürücüsüz fonksiyonellik ile pilotluk yapan tam otomatik bir sistemdir. Kapı kapatma işlemi dışında sürücünün her işlevini yerine getirmektedir ve GoA2 seviyesine karşılık gelir. Kapanış işlemi, sadece acil durumlarda gözleme ihtiyaç duyan ATO'nun yeni bir versiyonu ile bilgisayar tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Bu da GoA3 seviyesine karşılık gelir [13].

### 2.1.3. Otomatik tren kontrolü (ATC)

Kontrol sistemi, özellikle yerel operatör konsolundan yüksek oranda otomatikleştirilmiş merkezi denetim ve kontrol merkezlerine kadar çok sayıda kanıtlanmış tren takibi, rota ayarı ve dağıtıcı seviyesi fonksiyonları gibi farklı bilgiler sağlar [11].

Bu sistem, sürücü gerektirmeyen araçlarla tam otomatik olarak çalışır. Ayrıca rota ayarlarını ve tren düzenlemesini içerir. ATC'li bir tren, Gözetimsiz Tren İşletmesi'ne (UTO) sahip GoA4 derecesine karşılık gelir. Otomatik sistemlerin uygulanması, ortalama hızı ve trenlerin çalışma süresini artırarak tren trafiğinin optimize edilmesini sağlar. Bunun mümkün olmasının nedeni, çoğunlukla güvenliği artıran sensörlerdir. Son derece hassas sensörler sayesinde, trenin önündeki nesnelere insan gözünden çok önce keşfedilebilir. Bir trenin 600 ila 1500 metre arasında bir fren mesafesi olduğu için sensörler kaza riskini önemli ölçüde azaltır [13]. Şekil 1, otomatik sürücüsüz işletme için entegre veri yönetimini sağlayan ve verimli prosedürleri destekleyen farklı otomatik tren kontrol sistemlerini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 1. Bütünleştirilmiş kontrol sistemi [14].

## 2.2. Sürücüsüz Metrolarda İlave Sistemler

### 2.2.1. Engel algılama sistemi

Engel algılama sistemi tren seyir halindeyken ray hattına düşmüş yabancı cisimleri önceden algılayarak, bu bilgiyi trene iletir. Engel algılama sisteminden aldığı bilgiler doğrultusunda tren yabancı cisimlere çarpmadan kendini durdurur.

### 2.2.2. Yangın algılama sistemi

Sinyalizasyon sistemi, araç içlerinde bulunan yangın algılama ve ihbar sistemine arayüz ve iletim alt yapısı sağlamaktadır. Bu arayüz vasıtasıyla, ilgili tren kimlik bilgisi TCC (Trafik Kontrol Merkezi)'deki trafik operatörünce temin edilir ve tren işletiminin yangın senaryolarına uygun olarak çalışması sağlanır.

### 2.2.3. Acil durum freni (EB)

Trenler herhangi bir durumda veya olumsuzlukta acil fren yapabilir. Sürücü veya bir kurtarma treni göndermeye gerek kalmadan neredeyse tüm durumlarda treni yeniden başlatmaya imkan sağlamak için kullanılır [15].

### 2.2.4. Trenin durum, alarm bilgisinin tren kontrol merkezine (TCC) iletilmesi

Sürücüsüz sistemlerde meydana gelen herhangi bir olumsuzluğu veya arızaları Telsiz Veri Haberleşme Sistemi (CBTC) aracılığıyla TCC'ye iletmektedir.



### **2.2.5. Kapıların yönetimi (Yolcu tahliyesi)**

Herhangi bir acil durumda tren tünelde beklerken sistem tren kontrol merkezinden yürüme yolu taraftaki tren kapısını açma işlemini sağlar.

### **2.2.6. Kritik cihazların yedeği**

Bir dizideki aktif araç üstü sinyalizasyon kontrolörü arızalandığında diğer araç üstü sinyalizasyon kontrolörüne otomatik geçiş yaparak tüm fonksiyonları gerçekleştirilir. Araç üstü kontrolörler birbirinin tam yedeği vardır ve arıza durumunda treni durdurmadan, anında diğerine yedek sisteme geçiş yapmaktadır.

### **2.2.7. Otomatik canlandırma ve test**

Sürücüsüz metrolarda trenler depo sahasında uyku modunda park edilir. Bunun sebebi trenlerin batarya tüketimini azaltmaktır. Tren, tarife veya trafik kontrolörünün komutu doğrultusunda otomatik olarak uyanabilmekte ve canlanabilmektedir. Servise uygun olduğundan emin olmak için gerekli olan kendi hazırlık testlerini gerçekleştirebilir. Güvenlikle ilgili kritik bir test başarısız olduğunda, sürücüsüz sürüş moduna (AM) artık izin verilmez. Güvenlikle ilgili olmayan bir kritik test başarısız olduğunda, tren kontrol merkezine bir alarm verilir, trenin detaylı durumu ATS çalışma istasyonunda gösterilir, daha sonra operatör, arızanın ağırlığına ve işletme kurallarına dayalı olarak treni servise gönderip göndermemeye karar verir.

### **2.2.8. Otomatik araç yıkama**

Trenler, araç yıkama işlemi için otomatik olarak gider ve tarife doğrultusunda yıkama ünitesini çalıştırır.

### **2.2.9. Platform kapılar (PSD)**

Platformu kapıların varlığı, insanların ray hattına düşmesi, intihar girişimi gibi kazaları önler. Platform kapıları istasyon klima özelliği de sağlar. Ayrıca, grafiti sanatçılarının tünellere ve tren park alanları içine girmesini engeller.

### **2.2.10. Araç üstü kapalı devre televizyon (CCTV) sistemi**

Sürücüsüz metrolarda kamera sistemleri sayesinde, herhangi bir acil durumda kontrol merkezlerindeki araç operatörü treni izler ve görüntüler doğrultusunda araca müdahale edilir.

### **2.2.11. Merkezi telsiz kontrol sistemi**

Kontrol Merkezinden belirli bir araca, bir grup araca veya tüm araçlara uzak anons yapılır. Kontrol Merkezinden ortam dinlemesi gerçekleştirilebilir. İstendiğinde yapılan konuşma ve veri alışverişini kayıt edebilmektedir. Yolculara acil durumlarda anons yapılabilir.

### **2.2.12. Araç üstü çift yönlü telefon haberleşme sistemi**

Araçta bulunan çift yönlü telefon haberleşme sistemleri vasıtasıyla, yolcular ve TCC birbiriyle telefon görüşmesi yapabilmektedir. Trende çağrı noktasındaki kırmızı düğme acil aramalar için sarı düğme ise bilgi aramalar için kullanılmaktadır [15].

## **3. Sürücüsüz Metro Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları**

### **3.1. Sürücüsüz Metro Sisteminin Avantajları**

Metrolar, kapasite sınırlarında veya birçok mevcut metropollerle genişleyen bir işletmedir. Yeni metro hatlarının inşaa edilmesi ya da platform uzunluklarının uzatılması için genellikle yüksek maliyetler göz önüne alındığında, otomasyonun faydaları, mevcut ya da planlanan ulaşım altyapısının operasyon

performansını en üst düzeye çıkarmak için sürekli olarak bağlantılıdır. Bunu destekleyen otomasyonun karakteristikleri [16]:

- Tren sürüş fonksiyonlarının otomasyonu, istasyonlar arasında daha düzenli ve öngörülebilir çalışma süreleri sağlayabilir, manuel sürüş ile ilgili varyasyonları ortadan kaldıracaktır, trende fren ve tahrik sistemlerinde daha düzgün bir sürüş kalitesi ile daha az aşınma ve yıpranma sağlar.
- Sürücüsüz tren operasyonu, otomatik yolcu kapısı açma ve kapama, istasyon platformlarından otomatik tren kalkışı ile birlikte hat operasyonlarındaki değişiklikleri azaltabilir. Ayrıca, metro işletmecisini, tren mürettebatlarının görevlendirilmesi ihtiyacının getirdiği kısıtlamalardan kurtarır ve daha kısa tren seferlerini daha sık kullanma esnekliği sağlar.
- Sürücüsüz tren işletmesi, tam otomatik bakım sahaları ve geçici depolama alanlarıyla birleştirildiğinde, ekstra tren sürücüleri veya manuel müdahale gerektirmeden ek ilave tren servisleri ile yolcuların taleplerindeki beklenmeyen artışı cevaplamakta esneklik sağlar.
- Otomasyon işletme personel maliyetlerini azaltabilirken, tren sürücülerindeki azalmayla ilgili maliyetlerdeki düşüşler, otomasyon sisteminin kendisi ile ilgili ek bakım masraflarının yanı sıra, ek yolcu hizmeti ve güvenlik personeli maliyetlerindeki artışları dengelenmelidir.
- Terminal istasyonlarında geri dönüşlerin otomasyonu geri dönüş sürelerini azaltabilir, işletme için gerekli tren setlerinin sayılarını azaltabilir.
- Tren düzenleme otomasyonu, tren sevk ve tren yönlendirme fonksiyonlarını zaman çizelgesine (programa) ve/veya sefer sıklığı uyumuna göre trenlerin performansını daha etkili bir şekilde düzenleyebilir. Düzenleme, bekleme sürelerini otomatik olarak ayarlayarak ve/veya istasyonlar arasındaki çalışma sürelerini otomatik olarak kontrol ederek gerçekleştirilebilir.
- Tren düzenleme fonksiyonlarının otomasyonu, genel sistem gecikmelerini en aza indirmek için yerel ile ekspres hatlar arasındaki transferler ve farklı hatlar arasındaki birleştirme noktasında uygun tren buluşmalarını da kolaylaştırabilir.
- Enerji optimizasyonu algoritmalarını uygulamak için otomatik, gerçek zamanlı kontrol ve tren hızlandırma, tren yavaşlatma ve fren frenleme koordinasyonu da kullanılabilir. Örneğin, fren kontrollerini kullanmak ya da fren enerjisinin geri kazanımını en üst seviyeye çıkarmak için bir trenin hızlanmasını başka bir trenin frenlemesi ile senkronize etmek.
- Otomatik hata tespiti ve yanıtı, insan hatalarının ortadan kaldırılması yoluyla sistem bozukluklarına ve acil durumlara cevap vermede daha etkili olabilir. Otomasyon faydaları kendiliğinden ortaya çıkabilirken, belirli bir iş durumunun geliştirilmesi için bu faydaların belirlenmesi birçok özel uygulamaya ve benimsenen otomasyonun özel seviyesine bağlıdır.

### 3.1.1. Sürücüsüz metro sistemlerinde enerji verimliliği

Enerji verimliliği hem ekonomik hem de çevresel olarak herhangi bir demiryolları yönetimi için önemli bir amaçtır. Belirtilmiş gibi [17], enerji maliyeti, demiryolu şirketlerinin toplam işletme maliyeti için önemli bir bileşendir. Bu nedenle, trenlerin enerji tüketimini azaltmak için enerji verimliliği stratejileri ortaya çıkarmak önemlidir. Kentsel raylı sistemlerdeki enerji tüketimi, birçok faktörden (demiryolu malzemeleri, aydınlatma sistemleri ve iklimlendirme sistemleri gibi) ve bu faktörler için enerji tüketiminin dağılımından etkilenmektedir [18]. Şehir içi raylı sistemlerin enerjisinin %40-50'si trenlerin çekilmesiyle tüketilmektedir. İklimlendirme sistemleri toplam enerji tüketiminin %25-35'ini katkı sağlamaktadır. Ayrıca, yürüyen merdiven ve asansör sistemlerinin enerji tüketimi toplam enerji tüketiminin yaklaşık %10-14'ünü oluşturmaktadır. Buna ek olarak aydınlatma sistemleri toplam enerji tüketiminin yaklaşık %8-12'sini tüketmektedir. Otomatik olarak kontrol edilen trenlerin, optimize edilmiş hızlanma, çekiş ve frenleme süreçlerinden dolayı daha az enerji tüketir ve enerji tüketiminin otomasyon derecesine bağlı olarak enerji tüketimini %30 oranında azaltılabileceği bildirilmiştir [19]. Vancouver Sky-Train sisteminin işletme deneyiminde, yolcu-kilometre başına düşen enerji tüketimi, diğer sistemlerin ortalamasının yarısından daha azdır; çünkü trenin frenleme süreci, rejeneratif enerjinin kullanımını arttırmak için diğer trenlerle koordine edilebilir [20]. Rejeneratif enerjinin kullanımı, güç kaynağı sistemi ve trafik yoğunluğu tarafından güçlü bir şekilde etkilendiğinden, Singapur MRT operatörü, istasyon yardımcı yükleri yani rejeneratif enerjiyi geri kazanmak için trafo merkezlerinde invertörleri devreye sokmuştur. Bu invertörler şehir içi raylı sistemlerin kullandığı toplam enerjinin %5'i kadarını geri kazanabilmiştir [21].

Enerji verimli bir sürüşün temel amacı, kullanılan enerjiyi en aza indirerek istasyon A'dan istasyon B'ye bir tren sürmektir. Oluşan hız profili, yolun karakteristiği (eğimler, hız sınırları, vb.), trenin özellikleri (boş ağırlık, azami hızlanma, bileşenlerin verimliliği vb.) ve bazı operasyonel kısıtlamalar (özellikle yolculuk

süresi) dikkate alınarak programlanmalıdır. Temel olarak en iyi hız profillerini elde etmek için kullanılacak Doğrusal Olmayan Programlama, Bulanık Mantık, Genetik Algoritma gibi matematiksel optimizasyon teknikleri vardır [22]. Milan'da sürücüsüz bir metro için yapılan çalışmada genel algoritma kullanılmıştır. Genel algoritma, yinelenen sezgisel kullanım, optimizasyon ve arama problemlerine faydalı çözümler üretmek için rutin olarak kullanılır. Bu algoritmalar, kalıtım, mutasyon, seleksiyon, çaprazlama gibi doğal evrimden esinlenen teknikleri kullanarak optimizasyon problemlerine çözümler üreten büyük evrimsel algoritma sınıfına (EA) aittir [23]. Genel algoritma sonuçlarına göre, bu optimizasyon tekniğinin performansları oldukça tatmin edicidir. Çünkü %32.89'a eşit bir enerji tasarrufu sağlayarak planlanan zaman çizelgesine göre %0.51'e kadar seyahat süresinde ihmal edilebilir bir artışa neden olurlar. Bu sonuçlar, uluslararası literatürde geliştirilen diğer optimizasyon teknikleriyle elde edilenlerle karşılaştırılabilir. Genetik algoritmaların kullanımı, kısıtlı mevcut verilerde bile optimizasyon problemlerinde mükemmel sonuçların elde edilmesini sağlar, öngörülemez olaylar veya trenlerin ve hattın parametrelerinin değişmesi durumunda yeniden programlama komutuna hızlıca izin verir. Optimizasyon tekniği sayesinde tasarruf edilen toplam enerji, yolculuk başına 195.8 kWh'dir [11].

### 3.2. Sürücüsüz Metro Sisteminin Dezavantajları

Sürücüsüz tren işletmesinin (UTO) çok sayıda avantajına rağmen, geleneksel bir sistemle kıyaslandığında sistemin çok sayıda dezavantajı vardır. İlk olarak, UTO, demiryolu araçları, sinyalizasyon ve platform seviyelerinde otomasyon içerdiğinden daha yüksek bir uygulama maliyeti gerektirir. İkinci olarak, UTO sisteminin bakım maliyetleri, ek platform ve yol koruma sistemlerinin kurulup bakımının yapılması gerektiğinden daha yüksektir. Genel olarak, UTO altyapısına ve sürücüsüz araçlara yapılan ilk yatırım yüksektir [24]. Üçüncü olarak, insan-sistem etkileşim perspektifinden bakıldığında, sürücünün trende olmamasıyla birlikte, yolcular ve metro sistemi arasındaki önemli bağın zayıfladığı veya kaybolduğundan bahsedilmektedir [25]. Bir çalışmada, Helsinki metro sürücülerinin davranışları incelenmiş olup, yolculara duyuru yapmak, yolculara rehberlik etmek ve çevrede olayları yorumlamak gibi istisnalardaki küçük hataları düzelterek 16 metro treninin alt görevlerini (gizli roller) belirlenmiştir. Bir sürücünün "gizli rolleri" ışığında, UTO, özellikle de sahada gerçekleşen acil durumlar söz konusu olduğunda büyük bir dezavantajı olabilir. Çünkü sürücüsüz tren artık basit hataları düzeltme veya alandaki problemleri ve mevcut durum hakkında kontrol merkezini bilgilendirme için yerinde bir sürücü desteği alamayacaktır. Son olarak, UTO, alanında yüksek nitelikli bir bakım personeli gerektirmektedir [26].

## 4. Sürücüsüz Tren/Metro Sistemlerinde Güvenlik

Sürücüsüz işletme uygulaması, demiryolu genel güvenliğini şüphesiz etkilemektedir. Bazı alanlarda bu, insan hatalarında azalma yoluyla güvenlikte bir artış ve diğer alanlarda kabin içinde sürücü tarafından sağlanan kontrol önlemlerinde azalma olarak görülebilir. Demiryolunun güvenliğindeki bu değişiklik ve gerekli kontrol önlemleri, proje için iş durumunun bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Özellikle önemli olan, bu kontrollerin mevcut bir demiryolu sistemine uygulanmasının, bu güvenlik önlemlerinin etkinliğini ne ölçüde etkilediğidir. Tanımlanan sürücüsüz işletme tehlikelerini kontrol etmek için karşılaştırılabilir sistemlere uygulanan kontrol önlemlerinin ve kanıtlanmış sistemlerin etkinliği, EN 50126'da tanımlandığı gibi onaylanmış bir risk değerlendirme metoduna göre değerlendirilmelidir. Tablo 2, geleneksel olarak işletilen bir metro sisteminin sürücüsüz işleme dönüştürülmesinin güvenlik risklerinin değerlendirilmesinden kaynaklanan en üstteki üç tehlikeyi göstermektedir [27].

Buna ek olarak, güvenlik, otomasyonla daha da artırılabilir çünkü bilgisayarlı sistemler tren hareketlerini insanlardan daha hassas bir şekilde kontrol eder. Sensörler, izinsiz giriş önleme ve algılama sistemi, dahili CCTV, platform denetimi ve dahili acil durum çağrıları gibi otomatik sürücüsüz metro sistemlerinin güvenlik gereksinimlerini karşılamak için yeni güvenlik teknolojileri kullanılmaktadır. Giriş bölgesinde bir kişi veya büyük bir nesne olduğunda izinsiz giriş önleme ve algılama sistemi devreye girer ve yaklaşan trenin ne kadar uzakta olduğuna bağlı olarak acil durum frenleme başlatılabilir [28]. Geleneksel demiryolu hatlarında, kazaların %50-60'ı insan hatalarından meydana gelmektedir. Sürücüsüz metro sistemleri sürücü hatalarını ortadan kaldırarak yeni bir kaza olma riskini ortadan kaldırır. Otomasyon sayesinde tren hareketleri hassas bir şekilde denetim altına alınmaktadır. Yeni güvenlik teknolojileri ile

sahaya giren herhangi bir tehlike durumunda ne kadar uzakta olduğuna bağlı olarak acil durum freni başlatılabilir [29].

Tablo 2. En yüksek tehlikeler [27].

Olay	Tehlike	Muhtemel Hafifletme Seçenekleri
Platform/Tren arayüzü	Raylar üzerindeki insan	Kenar platform kapıları
		Düşme algılama ve önleme
		Araç boşluklarının minimuma indirilmesi
		Yolcu bilinçliliği
	Tren tarafından sürüklenen yolcu	Kenar platform kapıları
		Tutsak kalmış yolcu belirlemesi
		Yüksek riskli alanlarda/zamanlarda çalışan personel
		Yolcu bilinçliliği
Çarpışma	Raylar üzerindeki nesne	Nesneyi engelleme
		Nesneyi belirleme
		Tren üzerinde nesne saptırıcısı
	Altyapıdaki bozukluk	Altyapıdaki bozukluğu belirleme
		Hız kısıtlamaları
Tünellerdeki havalandırma	Tutsak kalmış yolcu	Hava kalitesinin bakımı
		Trenin hareket kabiliyeti bakımı ve yeniden düzenlenmesi
		Yolcu iletişimleri
		Sürüşü kumanda etme
		Çift yönlü sinyal
		Emniyet yerine tahliye

## 5. Sürücüsüz Metro Sistemlerine Bireylerin Bakışı

Teknik açıdan bakıldığında, geleneksel raylı sistemler üzerindeki sürücüsüz metro sistemlerinin avantajları geniş ölçüde anlaşılmıştır. Ancak, bir yolcunun bakış açısına göre, tartışma daha açık uçludur ve gerçek olmamakla birlikte çoğu zaman toplumun güvenlik algılarına dayanır. Bu algılar genellikle acil durumlara cevap verebilecek bir sürücünün yokluğuyla ilgilidir [26]. UTO hakkında bir kamuoyu görüşlerini araştıran bir anket uygulanmış ve değerlendirme sonucunda, kadınların %93'ünün ve erkeklerin %72'sinin, sürücü olmayan bir trende bir "sahte" sürücü odasının bulunması gerektiğini düşündüğü bulunmuştur. İnsan hatası açısından, katılımcıların büyük çoğunluğu tren tasarımı veya bakım sorunları hakkında endişe duymadıklarını ifade etmiştir. Ancak, erkeklerin %36'sı ve kadınların %43'ü personel iletişiminin, erkeklerin %50'si ve kadınların %43'ünün vurguladığı teknik başarısızlığın, yanıt verenler arasında en çok endişe uyandıran iki konu olduğu belirtilmiştir. Aynı araştırmada, erkeklerin sadece %11'i ve kadınların %14'ü, sürücüsüz bir trenden ya da herhangi bir trenden ziyade, bir sürücüyle geleneksel bir tren kullanmayı tercih edeceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, katılımcıların çoğunluğunun kullandıkları tren tipi hakkında rahatsız olmadıklarını göstermektedir. Bu, genel olarak yanıt verenlerin UTO'ya meraklı olduklarını ve teknolojiye güvenme konusunda bir problem yaşamadıklarını göstermektedir [26]. Emniyette azalmanın kamu algısı, otomatik karayolu taşıtları için çok daha büyük bir sorun haline gelmiş ve havacılık endüstrisinde düzenli bir tartışma noktası olmuştur, zira sürücü ve pilot böyle modlarda seyahat eden halk için çok daha görünür hale gelmiştir. Otomatik demiryolu operasyonları ile ilgili olarak süregelen bir endişe olsa da 55 tam otomatik sürücüsüz hattın başlatılması ve işletilmesi yoluyla denizaşırı tecrübe, halkın sürücüsüz demiryolu teknolojisini kabul edip kullanacağını göstermektedir. Bu durum, olumsuz kamu algısının, rayın başarılı bir uygulamanın uzun tarihi boyunca çoğunlukla üstesinden gelinen bir engel olduğu argümanını desteklemektedir [30].

Bir araştırmada, İngilizce konuşan üç ülkede (ABD, İngiltere ve Avustralya) kendi kendine sürüş aracı teknolojisine ilişkin kamuoyunu incelenmiştir. Uygulanan anket çalışmasında, 18 yaş ve üstü 1.533 kişiden kullanılabilir cevaplar alınmıştır. Kadınların, sürücüsüz metro sistemlerinde, erkeklerden daha yüksek oranda endişe duyduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, kadınların kendi araçlarını kullanmanın yararları ile ilgili beklentileri konusunda daha ihtiyatlı davrandığı tespit edilmiştir [31]. Sydney'de yapılan

bir araştırmada, insanların sürücüsüz trene yönelik algısı ve tutumlarına ilişkin analizlerin sonuçları sunulmuştur. Aynı zamanda, ortalama bir pazarlamanın, belirli seyahat tutumu olan vatandaşların farklı ihtiyaçlarını anlamadan daha az etkili ve daha pahalı olabileceğini göstermektedir. Bu anketin sonuçları, insan hataları departmanında halkın neyin yanlış gidebileceği konusunda net olmadığı ve sürücü olmayan bir tren sistemi çalışırken bu sorunların üstesinden gelmek için ne yapılacağı konusunda daha fazla araştırmanın gerekli olduğunu göstermiştir. Bu bilgi ve genel taşımacılık tutumları hakkında daha ayrıştırılmış verilerle, operatörlerin sistemin nasıl çalıştığını ve insan hatalarıyla nasıl baş edebileceklerini açıklayarak kamuya yardımcı olabilecekleri vurgulanmıştır [32].

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

Sürücüsüz metro sistemleri, yarım asırdan beri özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu ülkeler için ulaşım sektöründe bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu sistemin en büyük avantajlarından birisi insan hatalarından kaynaklanabilecek çeşitli olumsuzlukların sistem tarafından engellenmesidir. Bununla birlikte, ATO, ATP ve ATC'den oluşan yüksek otomasyon seviyesi sayesinde arıza ve acil durumlar ile ilişkili risklerin minimize edildiği belirtilmektedir. Ancak, bu otomasyon seviyelerinin uygulama maliyetlerinin yüksek olması ve ilgili alanda yüksek nitelikte bakım personeli gerektirmesi sürücüsüz metro sistemlerinin en büyük dezavantajı olarak görülmektedir. Çeşitli araştırmalar neticesinde tren/metro işletme maliyetlerinin azaldığı ve bu sistemin avantajlı olduğu kanıtlanmış olup, eski sürücülü raylı sistemlerin modernizasyonunun yapılarak yeni sistemlere dönüşümün yapılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, otomasyon sistemlerinde kullanılan optimizasyon teknikleri ile sistemin kendini verimli bir şekilde kullanması sağlanmakta ve böylece enerji tüketimi azaltılarak önemli miktarda ekonomik kazanç elde edileceği vurgulanmıştır.

Teknolojik gelişmeler açısından sürücüsüz metro sistemlerinin avantajları geniş ölçüde anlaşılmıştır. Ancak, çeşitli araştırmalardan bu sistemlerin bireyler üzerinde güvensizlik algısı oluşturduğu ve özellikle kadınların bu konuda daha temkinli davrandıkları anlaşılmıştır. Bu bağlamda, sürücüsüz metro sistemleri hakkında bireylerin bilinçlendirilmesine dayalı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Ülkemiz açısından değerlendirilecek olursa, öncelikle başlangıç maliyetlerini azaltabilmek açısından mevcut raylı sistemlerin sürücüsüz metro sistemlerine adaptasyonu yapılmalıdır. Bu sürecin, raylı sistemlerin altyapı ve üst yapısının iyileştirilmesini kapsayacağı düşünöldüğünde, birçok istihdam imkanının ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Bu sürecin uzun vadede ekonomimize büyük katkı sağlayacağı düşünölmekte olup, raylı sistemler alanında nitelikli mühendis, uzman, teknisyen vb. personelin yetiştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

## Kaynaklar

1. Transportation Safety Advancement Group, Shaping the 30-year rail technical strategy, 2010.
2. Wang, Y., Tang, T., Ning, B., van den Boom, T.J.J., Schutter, B., Passenger-demands-oriented train scheduling for an urban rail transit network. *Transp. Res. Part C*, 60, 1–23, 2015.
3. Dong, H., Ning, B., Cai, B., Hou, Z., Automatic train control system development and simulation for high-speed railways. *IEEE Circuits Syst. Mag.*, 6-18, 2010.
4. Miyatake, M., Ko, H., Optimization of train speed profile for minimum energy consumption. *IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.* 5 (3), 263–269, 2010.
5. UITP, Observatory of automated metros world Atlas report, Brussels, 2013.
6. Payre W, Cestac J, Delhomme P., Intention to use a fully automated car: attitudes and a priori acceptability. *Transp Res Part F* 27:252–263, 2014.
7. Powell J., Fraszczyk A., Cheong C., Yeung H., Potential benefits and obstacles of implementing driverless train operation on the Tyne and Wear Metro: A Simulation Exercise *Urban Rail Transit*, 2(3–4):114–127, 2016.
8. [http://rail.nridigital.com/future\\_rail\\_aug18/around\\_the\\_world\\_in\\_1000km\\_of\\_fully\\_automated\\_metros](http://rail.nridigital.com/future_rail_aug18/around_the_world_in_1000km_of_fully_automated_metros), 2018.
9. Yin, J., Tang, T., Yang, L., Xun, J., Huang, Y., Gao, Z., Research and development of automatic train operation for railway transportation systems: A survey, *Transportation Research Part C*, 85, 548–572, 2017.
10. UITP, World Report on Metro Automation, Brussels, 2016.
11. Brenna M., Foidelli M., Longo M., Application of genetic algorithms for driverless subway train energy optimization, *International Journal of Vehicular Technology*, 1-14, 2016.

12. <http://www.railwayturkey.com/haberler/teknoloji/surucusuz-metro-rayli-sistemde-yeni-donem>, 2017.
13. Berglund E., Törnqvist J., Alakulju P., Uppsala Universitet, Driverless train, 1654-7616, 2017.
14. KOBELCO Automatic Train Control: Efficient unmanned train operation, [http://www.kobelco.co.jp/english/engineering/products/traffic/automatic\\_train\\_control.html](http://www.kobelco.co.jp/english/engineering/products/traffic/automatic_train_control.html).
15. Arlı V., Demiryolu mühendisliği kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul 2015.
16. IRSE International Technical Committee, Semi-automatic, driverless, and unattended operation of trains, Issue 150, 2009.
17. Fernandez-Rodriguez A., Fernandez-Cardador A., Cucala AP., Dominguez M., Gonsalves T., Design of robust and energyefficient ATO speed profiles of metropolitan lines considering train load variations and delays. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 16(4):2061–2071, 2015.
18. Long T., Research on metro energy management system. *Urban Mass Transit* 2:77–79, 2010.
19. Siemens, Fact sheet. Corporate Communications and Government Affairs, Siemens AG, Munchen, 2012.
20. BC Transit, BC transit fact sheet—sky train performance. BC transit, Victoria, British Columbia, 1991.
21. Thong M., Cheong A., Energy efficiency in Singapore’s rapid transit system. *Journeys* 38–47, 2012.
22. Oremland, M., Laubenbacher, R., Optimization of agentbased models: scaling methods and Heuristic algorithms,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17, 2, 2014.
23. Dominguez, M., Fernandez, A., Cucala, AP., Lukaszewicz, P., Optimal design of metro automatic train operation speed profiles for reducing energy consumption, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 225 (5), 463–473, 2011.
24. UIC, Automatic train control. Energy efficiency technologies for railways. [http://www.railway-energy.org/static/Automatic\\_train\\_control\\_79.php](http://www.railway-energy.org/static/Automatic_train_control_79.php). 2014.
25. Karvonen H, Aaltonen I, Wahlstrom M, Salo L, Savioja P, Norros L., Hidden roles of the train driver: a challenge for metro automation. *Interact Comput* 23:289–298, 2011.
26. Frasczyk, A., Brown P., Duan S., Public perception of driverless trains, *Urban Rail Transit*, 1(2):78–86, 2015.
27. Thomas P., The feasibility case for converting existing heavy metro systems to driverless operation, *WIT Transactions on The Built Environment*, 88, 363-372, 2006.
28. Wang, Y., Zhang, M., Ma, J., Zhou, X., Survey on Driverless Train Operation for Urban Rail Transit Systems, *Urban Rail Transit*, 2(3–4):106–113, 2016.
29. Wang Y., Automatic unmanned driving system a brand new mode for urban mass transit. *Urban Mass Transit*, 2006.
30. Australian Government, Submission to the House of Representatives Standing Committee on Industry, Innovation, Science and Resources, *Social Impacts of Automation in Transport*, 2017.
31. Schoettle, B., Sivak, M. A Survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the U.S., the U.K., and AUSTRALIA, The University of Michigan Transportation Research Institute, 2014.
32. Frasczyk, A., Mulley, C., Public perception of and attitude to driverless train: A case study of Sydney, Australia, *Urban Rail Transit*, 3(2):100–111, 2017.

# PIEZOELECTRIC ENERGY GENERATION FROM TRAIN VIBRATION

**Çağatay YILMAZ<sup>1\*</sup>, Harun ÇUĞ<sup>2</sup>, and Furkan BAYSAL<sup>3</sup>**

<sup>1\*</sup> ISERSE 2018, Karabük, TÜRKİYE, e-mail:  
cagatayyilmaz@outlook.com

<sup>2\*</sup> ISERSE 2018, Karabük, TÜRKİYE, e-mail: hcug@karabuk.edu.tr

<sup>3\*</sup> ISERSE 2018, Karabük, TÜRKİYE, e-mail: bysl.frkn@gmail.com

## **Abstract**

The importance and necessity of renewable energy sources more are felt day by day. The reason for the search for renewable energy sources is one of the major causes of global warming and the rapid depletion of fossil resources.

The fact that piezoelectric materials, which are one of the renewable energy sources, are used very little in the field of energy production and there is not enough work in this field has inspired this study. These magical crystals, which are still unknown in the production of electricity and which you have not even heard of, are a candidate to have a share in the electricity production of our future.

It is called the electricity generation feature in proportion to the amount of pressure applied externally to the objects of piezoelectric crystal structure. The potential difference (voltage) between these two ends can also be measured.

Since the energy needs of trains are known to be high, the energy that can be obtained from the load weight of trains is analyzed and the piezoelectric materials are aimed to produce energy in this area. The aim of this study is; It is used to assemble a group of disc formed by parallel linking from piezoelectric discs to the rail pad and generate electricity with the help of vibration and load pressure generated during the passage of trains.

**Keywords:** Piezoelectric, Renewable Energy, Rail Pad, Piezoelectric Disk

## 1. Elementary

The first operation in rail systems started working in England in 1825. In these years, rail vehicles were used in public transportation. After the 1860s, its use has increased in other cities of the world.

The first railway line in our country started on September 23, in 1856 in the 130-km distance between İzmir and Aydın. In the Ottoman Empire, railways were built for British, French and German railways with a specific social and economic profit.

After the Republic, the construction of the railway continued until the Second World War. Due to the Second World War, railway investments decreased after 1940. 3.208 km of the 3,578 km rail between 1923-1950 was completed until 1940 [1].

Rail pad is an interconnection element used to absorb the vibration between the rail and the sleepers. There are rail pads according to structure and usage areas.

Rail pads create a protection between the rail and sleepers and destroy a certain part of the vertical forces coming into the system. One of the most important tasks is to absorb sound and vibration.

Piezoelectric phenomena; It was discovered in 1880 by French physicists Pierre Curie and Jacques. The piezoelectric property converts mechanical energy into electricity and electrical energy into mechanical energy.

Piezoelectric is caused by the occurrence of (+ q) and (- q) loads on either side of the crystal structure in the material during the load (compression or drawing) applied in the same direction from the polymers or ceramics.

Piezoelectric disc + pole is formed by friction of piezo crystals. The piezoelectric disc - the pole, takes it from the substrate. These two + - poles are connected in parallel and in series to generate electricity. The energy produced can be stored and can cover some of the electricity used.

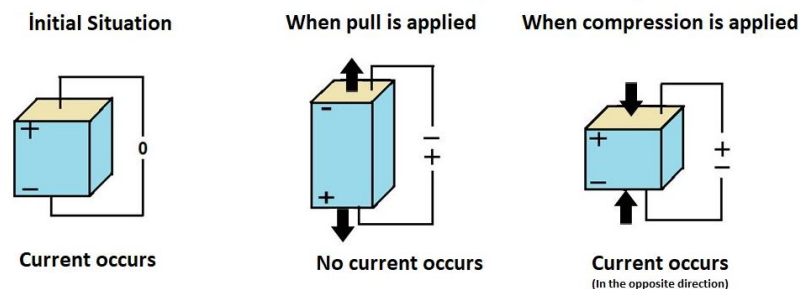
Within the scope of the thesis, our aim is to produce renewable energy with the help of the vibration and pressure caused by the movement and weight of the trains with the piezoelectric discs that we will place in the rail pads.[2]



## 2. Piezoelectric

The origin of the word piezo is derived from Greek. Piezo means "compressing, applying pressure". Piezoelectricity is the ability of the material to change the electric field or electric potential of a material as a result of the mechanical pressure of crystalline materials. If the material is not short circuit, electricity is generated by generating a voltage in the material under the influence of pressure. Crystals of this type produce voltage when compressed with vertical or other types of pressure. The opposite of this event is also possible. Electrical energy can turn into mechanical energy in the same way.

The opposite of piezoelectric effect is seen in quartz and some ceramics. Since there are electrical charges between two different faces of such materials, a potential difference can be measured between the two electrodes on these faces. The surface density of the electrical charge produced by the applied pressure is directly proportional. As a result, the piezoelectric effect and vice versa allow the mechanical force to be rapidly converted directly into electrical energy.



**Figure 2.1. Diagram of working principle of piezoelectric.**

Piezoelectric is now used in many technology fields. The main areas used are; It is used in medical field, engineering field, automotive sector and semiconductor technologies. In our daily life, piezoelectric materials are used in ultrasonic vibration generators used in areas such as glasses, jewellery cleaning and tooth stone cleaning [3].

## 3. Railway Superstructure Elements

The railway vehicles make a rolling motion on two rows of tracks aligned next to each other. The sleepers act as a bed for the rails. The body of the superstructure formed by the breaking of stones of big and small which make the sleepers are called ballast. The ballast layer is laid on the infrastructure. There are also materials called "connecting material" for connecting rails.

**Thus, the elements of the superstructure;**

- Rails,
- Sleepers,
- Ballasts,

- Connection material can be grouped.

### **3.1. Rails**

The rails provide a rolling surface with little resistance to the wheels of rail cars and guide the wheels. In addition, they transmit the effects transferred from the axles to the ground via the sleepers that act as supporters[4].

### **3.2. Sleepers**

Sleepers; It is one of the most important parts of the superstructure supporting the rails, bearing the rails and protecting the gauge. The sleeper also has an important role in conveying the axle load from rail vehicles to the ballast. Due to the various features, sleepers can be manufactured from different materials[1-2]. Sleepers are the elements that are installed perpendicular to the rails on which the rails are mounted and fixed. They are used to transfer the incoming loads to the rail and infrastructure [3]. The distance between the two sleepers is generally 60-63 cm.

### **3.3. Ballast**

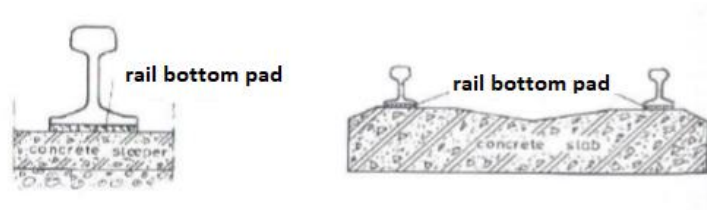
The ballast consists of small and large stone grains with a diameter of 20-70 mm. Ballast material is mostly obtained by granite, basalt-like volcanic rocks and siliceous limestone, hard sandstone and hard limestone stones in certain proportions. It is convenient to use coarse pebble stones, but the use of stones with oval surfaces is inconvenient. Stones must be resistant to pressure.

### **3.4. Connection Elements**

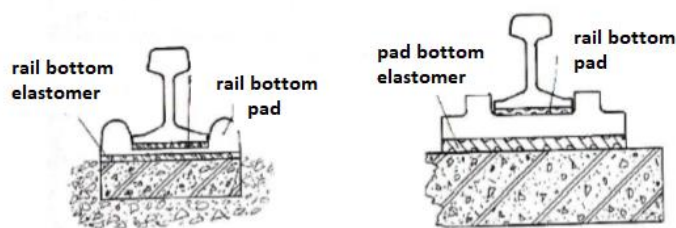
There are two types of fasteners: rails connecting elements and sleeper connecting elements. The first one is the rail connection elements. The dynamic effects from the railway vehicles can be collected in three directions: one in the vertical direction, the other two in the horizontal and parallel to the road axis.

### **3.5. Elastic Rail Pads**

Elastic pads are used between rail sleepers or between rail and concrete. For ballast and non-ballasted lines, the pads used between rail pad-sleepers or rail pad-concrete are called "under selet pads"[5].



Şekil 3.1. Ballast (a) ve Non-Ballast (b) Rail Pad on Track



Şekil 3.2. Rail Pad and Under Rail Pad Elastomer

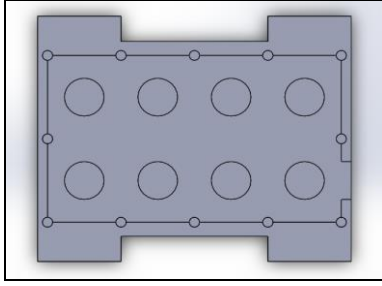
The rail pads must have the following features.

- **Load Distribution:** The rail pads provide the load distribution between the rail base and sleepers. Creates an elastic layer that reduces the roughness between the rail and sleepers.
- **Vibration Reduction:** : Transmit by reducing vibrations from the line and wheel during the passage of the vehicle.
- **Flexibility:** The rail pads must be designed in such a way as to provide the average displacement with the total elastic rail fasteners of the superstructure.
- **Electrical Insulation:** The rail pads must have good insulation properties to ensure that the current in the line circuit for the signaling and control is through the track.
- **Durability:** The life of the rail pad should be at least near the life of the rail. It is ideal to change the tracks together with the rails at the same time. In addition, the rail pads must have optimum stability to the environmental conditions. According to the surveys of Japanese railways, high-speed Shinkansen trains are running, and even after 10 years, they lose their elasticity by 66% [5].

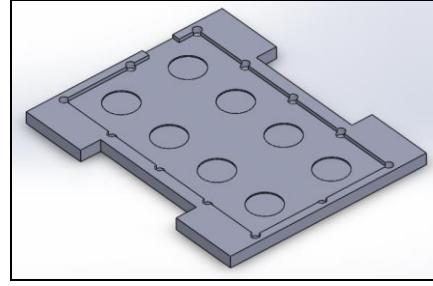
## 4. Piezoelectric Rail Pad

### 4.1. Modeling with 3D Printer

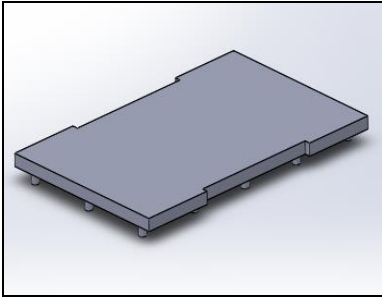
The aim of the modeling we have done with the 3D printer is to obtain data close to the reality We used 8 piezoelectric disc slots and made parallel connections. Solidworks drawings can be found below.



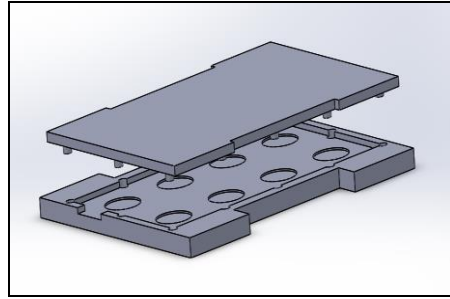
Şekil 4.1. Modeling Bottom View



Şekil 4.2. Modeling Perspective View



Şekil 4.3. Modeling Top Perspective View

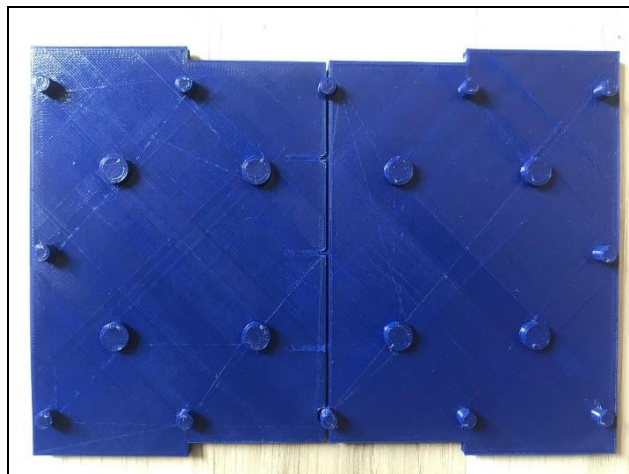


Şekil 4.4. Modeling Perspective Installation View

## 4.2. Electric Modeling of 3D Printer and Modeling

### 4.2.1. 3D Printer Modeling Top Printing Part Making

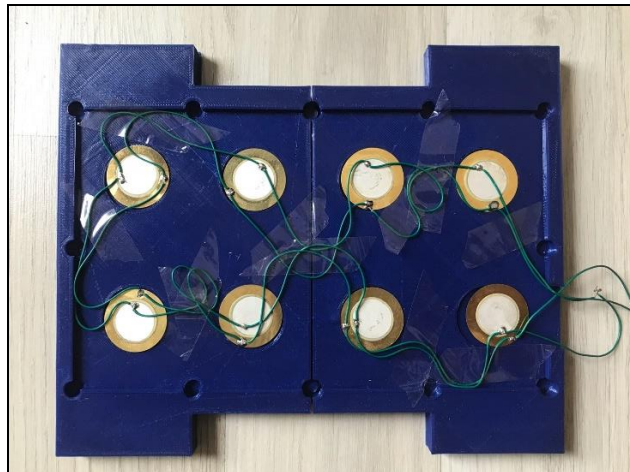
In order to create a pressure on piezoelectric discs, we used the pattern we prepared with a 3D printer. We will be able to make the measurements in a comfortable way thanks to this printing mold designed to create the pressure simultaneously. PLA plastic is the construction material of the printing plate.



#### Şekil 4.5. Top Main Part of Modeling

#### 4.2.2. Parallel Connection of Piezoelectric Discs in 3D Printer Modeling

In order to be able to measure piezoelectric discs, we connected the disks with parallel connection. We connected all of the disks in parallel with the solder, and then placed eight disks into the mold we printed with the piezoelectric disks 3D printer. After inserting the discs, an electrical isolating tape was used to protect the solder connections in the open. The purpose of this method is to prevent the wires from touching and damaging each other, short circuit. We also measured the connection by connecting to the computer with arduino to test if there are any disconnections/failures.



Şekil 4.6. Lower Main Part of Modeling

#### 4.3. Study of Piezoelectric Disk Modeling in 3D Modeling

We successfully performed piezoelectric disk modeling by parallel and serial clamping. In the measurements we made from 8 piezoelectric disks, we measured 53V as the highest value and 1V as the lowest value. Of course, since these measured values are instantaneous, change can be observed. On average, the results between 10V and 30V will be more likely. We have obtained very small values as amps. For example: 0.01 and 0.02 mA.

#### 4.4. How Did We Take This 3D Modeling Test?

First, we placed the print section perpendicular to the section where the piezo discs are. Then we just put pressure on the discs first, and then we put pressure on the discs with instant punch strokes. As a

result of these trial and error methods, as the weight and instantaneous pressure increases, the voltage value increases.



Şekil 4.7. We Produce Rail Pad and Connection Elements

## 5. Discussion and Suggestions

Nowadays, the use of fossil fuels and some energy sources that pollute nature is more common. Fossil sources are combusted for use and release gases that are harmful to the environment when burned. These harmful gases disrupt the entire ecological balance. It causes respiratory diseases in countries where fossil fuels are heavily used. Therefore, this situation cannot be regarded as the right behavior for a sustainable environment and ecological balance.

The need for energy, which has become the world's biggest problem, renewable energy sources and clean energy resources without damaging the environment is possible. The world is facing more and more energy needs. The largest energy sources currently used are fossil fuels. That is to say, non-renewable energy sources are used extensively.

Since there is still no importance required for renewable energy sources, many problems, especially in air, water and environmental pollution, arise with the energy needs. In order to meet the energy needs of future generations and to minimize the harm to the environment, we need to focus on sustainable energy sources.

Sustainable energy sources are called energy produced to meet the need for energy resources without risking them. Renewable energy sources also play the most important role in meeting the need for continuity.

Renewable energy to summarize briefly; natural processes for energy production, utilized in the rate of depletion of the resources used in a much faster time to renew itself in the energy resources come before us.

Piezoelectric discs we use are \$0.50 per grain price, while the price of those who are better quality is around \$5 per grain. So if we use a \$5 quality piezoelectric disk, the amount of electricity produced by the rail pad will increase more. We'd like to make modeling better, but we didn't realize it would cost more.

## **6. Result**

In parallel with the development of technology as in many areas there have been some innovations and developments in the field of railway systems. This development in railway systems has a railway infrastructure, the railway superstructure and all the vehicles of the railway had a positive effect. The rail pad is one of the elements affected by this situation in the railway superstructure.

As a result, the piezoelectric disk modeling produces an average of 10V and 20V in parallel. There was no problem in the operation under 100kg pressure. We can also produce electricity as vibrations. We can illuminate the led lamp very easily in the videos we take. If we can integrate the system we have created into the metro system or tram systems, can meet the electrical needs of the station or the stops in a very easy way.

Example: Ankara Metro is 55,831 km and When we calculate a sleepers at 60 cm, it is seen that there are 93052 pieces of sleepers. This means that when the 186104 rail pads are installed, an average of 1674,936 kV electricity can be generated. Of course, these are estimated values and electrical losses can be observed in these results.

## Resource

- [1] Kirby, Maurice W. (4 July 2002). *The Origins of Railway Enterprise: The Stockton and Darlington Railway 1821–1863*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-89280-3
- [2] Katzir (January 2003),, *Archive for History of Exact Sciences* Vol. 57, No. 1, pp. 61-91 (31 pages)
- [3] Gatschi, G. (2002). *Piezoelectric Sensorics: Force, Strain, Pressure, Acceleration and Acoustic Emission Sensors, Materials and Amplifiers*. Springer. doi:10.1007/978-3-662-04732-3. ISBN 978-3-662-04732-3.
- [4] S. Trolier-McKinstry (2008). "Chapter3: Crystal Chemistry of Piezoelectric Materials". In A. Safari; E.K. Akdoğan. *Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications*. New York: Springer. ISBN 978-0-387-76538-9.
- [5] Allik, H. and Hughes, T. J. (1970), Finite element method for piezoelectric vibration. *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, 2: 151-157. doi:10.1002/nme.1620020202



# INVESTIGATION OF WELDING RESIDUAL STRESS IN FLASH-BUTT JOINT OF R260 GRADE RAIL

\*Cug Harun, Dursunlar Mustafa, Turan Muhammet Emre,  
\* Karabük University, Karabük, Türkiye e-mail: hcug@karabuk.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada yakma kaynağı kullanılarak R260 kalite raylarda birleştirme işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi neticesinde mantar, ağ ve ayak kısmından sertlik ve mikroyapı ölçümleri yapılmıştır. EN 13674-1 standardına göre bir metrelik raylara (hem orijinal hem de kaynak yapılmış) kalıntı gerilme ölçümü uygulanmıştır. Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda bazı bölgelerde tamamen perlitik mikroyapı elde edilirken ısı tesiri altında kalan bölgelerde kaba östenit yapısı görülmüştür. Kaynak bölgesinin ağ kısmında sertlik daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak ise kaynak sonrası gerçekleşen kesit alanından kaynaklı hızlı soğumanın etkili olduğu öne sürülmüştür. Kalıntı gerilme olarak çekme kalıntı gerilmeleri mevcut olmakla beraber kaynak sonrasında elde edilen gerilme dağılımında artış görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** R260, Kaynak, Sertlik, Kalıntı Gerilme

## Abstract

In this study, R260 quality rails were used for the joining process. As a result of the welding, hardness and microstructure measurements were performed from the head, web and foot parts. According to EN 13674-1, residual stress measurement was applied to one meter rails (both original and welded). Considering the results, in some regions, completely perlitic microstructure was obtained and rough austenite structure was observed in the regions under the influence of heat. Hardness was higher in the web part of the weld zone. The reason for this is that fast cooling caused by the lower cross-sectional area after welding has been suggested to be effective. Although tensile residual stresses are present as residual stresses, there is an increase in the stress distribution obtained after welding process.

**Keywords:** R260, Welding, Hardness, Residual Stress

## 1. Introduction

It is called a rail made of cast steel, which makes it possible to move on railway vehicles, guide the wheels, transmit the forces coming from the axles to the traverse. R260 in the chemical compositions and the S60 rail profile with Turkey railways are used extensively. The reason for using this type of rail in this study.

Some important advantages of S60 rail profiled rails are suitable for high speeds and heavy load transportation due to their structure. Some disadvantages are maintenance and repair costs. The rail steel composition includes iron, carbon, silica, manganese, phosphorus and sulfur.

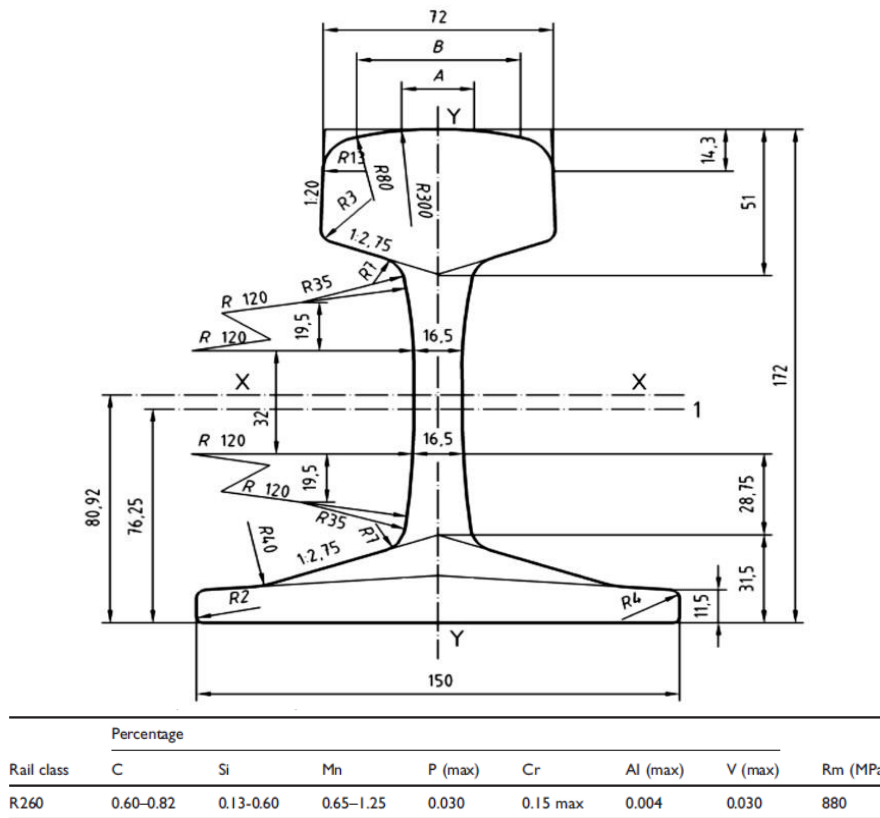


Figure 1: S60 Rail Profile [1] and Chemical Composition of R260 Rail [2]

Since the beginning of the railways, several problems have occurred in the rail surface and on the rail. Although different methods were developed for the solution of these problems, they were not sufficient. Finally, the idea of welding the rails has been put forward and the problems have been solved by rail welds [3].

The rails are combined with various methods. The most common methods used in rail welding are aluminotermite and the flash butt welding. From these methods, the flash butt welding has the highest welding efficiency among the rail-welding methods used in most countries and is also an excellent method for quality stability and control. In the method of application of the flash butt welding, two rail ends are combined with heat, pressure and temperature without using any additional materials. The welding time is approximately 1.5-4 minutes [4-5].

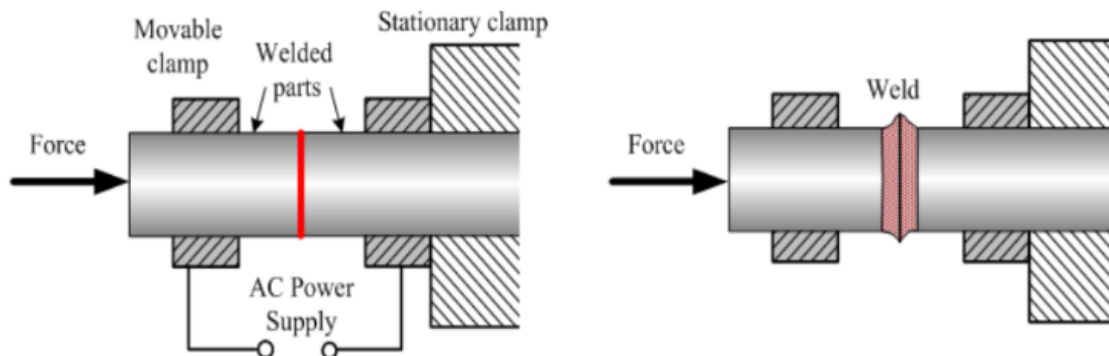


Figure 2: Schematic of the Rail Flash Butt Welding Process [6].

The elastic stresses found in the material after different production methods and processes are called residual stress. Residual stress can occur in manufacturing as well as in use. Residual stresses on rails result from disproportionate cooling and straightening after rolling [7].

Residual stress significantly affects material hardness and fatigue life. One of the factors that cause fatigue of the material is the residual stress. The material can be cracked and cracked in time due to its effect on the load during use. The cracks in the material due to fatigue generally begin on the surface of the material. Due to the internal stresses caused by the compression or tensile forces due to the effect of cracks seen [8].

The residual stress in the rails can be divided into two experiences: external stresses (bending, shearing, contact and dynamic) and residual stresses during service. The residual stress can also be caused by service, welding, and ambient temperatures, as well as during the production and as a result of rolling operations [9]. Skyttebol [10] investigated the effect of welding residual stress on fatigue crack growth in rail sources, and their results showed that the weld-induced residual stress had a major impact on fatigue life.

## 2. Experimental Study

In this study, 1 m long rails having S60 profile with R260 chemical composition were welded in "TCDD Çankırı Makas Factory". The flash butt welding consists of the following stages [11]:

**Initial burn off:** In this stage, voltage is applied and one of the two rails being welded is slowly moved towards the other with flashing until contact is made. Controls should be adjusted according to the specifications of rail and welding machine, so that at the end of this stage rail end surfaces generally have a good contact for preheating stage.

**Preheating:** The movable rail end is then moved forward and backward to produce a series of short term electrical contacts with the stationary one. The objective of this stage is to heat the rail end surfaces uniformly by flashing up to the red hot phase. The rail ends are resistively preheated using a low voltage high amperage current for short time intervals (typically about 3.4 seconds) a number of times (typically 4-10 times) according to the grade and profile of the rail, and specifications of the welding machine. Once the parameters are specified, the preheating cycle is performed by a fully controlled automatic mode.

**Flashing:** At the end of preheating stage, the rails are separated for the final time then the movable platen advances continuously toward the stationary one, firstly at a slow and steady speed but within the latest few seconds, acceleration is applied. Contact is made within few seconds and maintained for the rest of this stage. Flashing speeds are set so the rail ends are burned off without short circuiting or raising an open circuit condition.

**Upsetting (Forging):** Instantly after flashing, the movable platen is accelerated so that the rail ends are butted against each other with a large force depending on the welding plant standards (typically about 5-7 kg/mm<sup>2</sup> is recommended according to the rail grade). The welding current is automatically cut during the last part of the upsetting stage, and the weld joint must be left steady in clamps for few seconds after completion of the welding process. Welding of rails have higher UTS or larger sections on low upsetting force plants by increasing the number of preheating cycles, results in wider HAZ's which may shorten the service life time of the weld joints (Indian Railways 1996).

**Stripping:** The object of the stripping is to remove the hot upset metal around the rail profile, so that minimum grinding is needed for smooth finishing to reduce the opportunity of stress risers which could minimize the service life of the welded rail joints. There are two types of stripping; one of them includes the use an automatic hydraulic stripper that may be integrated with the welding plant or set up either very close to the welding machine or at some meters distance away.

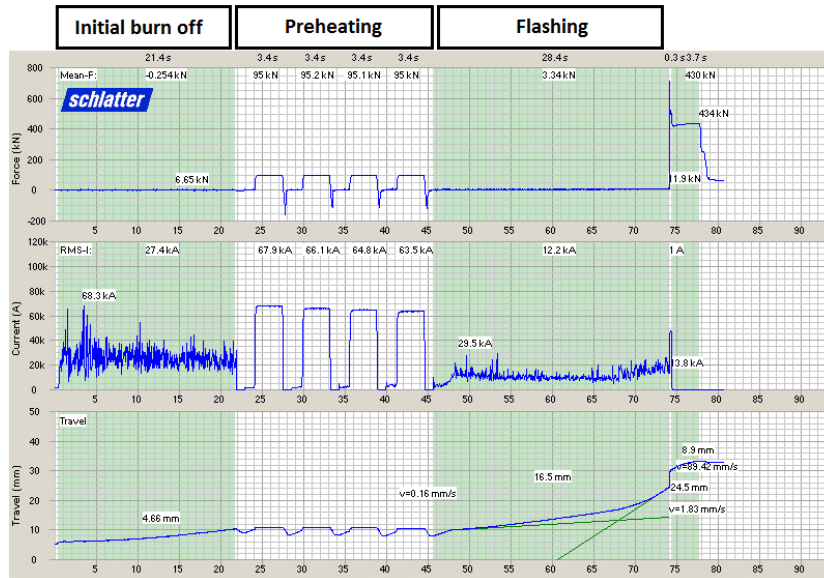


Figure 3: Welding Data of Flash Butt Welding Machine [11-12-13-14]

Residual stress measurement was performed by cutting method. Firstly, surface preparing process was conducted to rail foot parts. The chemical solutions and strain gauge are shown in Figure 4. Then, strain gauges were bonded on the rail foot surface and special coating material was used to protect gages from cooling water and environmental conditions. The location and properties of strain gauge are presented in Figure 5 and Table 1 respectively. After the bonding process, the cables of the strain gages were attached to the data collector test device (Vishay System 7000). When the rail tied up to the saw table, the rail cut from 10 mm away from both sides of the gauge.



Figure 4: Raw materials used for surface preparation

Table 1. Properties of used strain gauges for measurement

Strain gauge long	3 mm
Strain gauge resistance	350 $\Omega$
Gauge factor	2.11

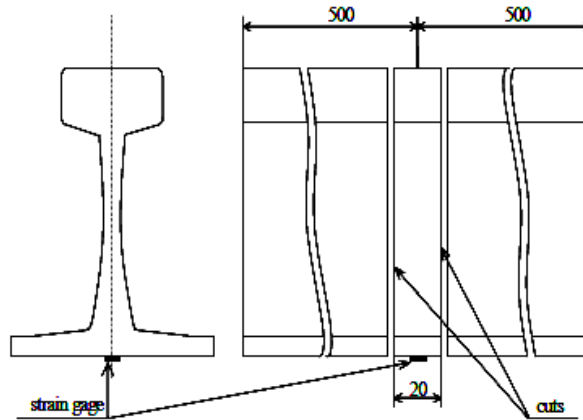


Figure 5: Strain gauge location defined in rail

### 3. Results and Discussions

The first test after welding is the visual inspection of the source for visible defects such as geometry and is usually performed by the welding personnel during the sight. Laboratory tests include hardness testing, slow bending test, fracture surface inspection, micro and macrostructure inspection [15].

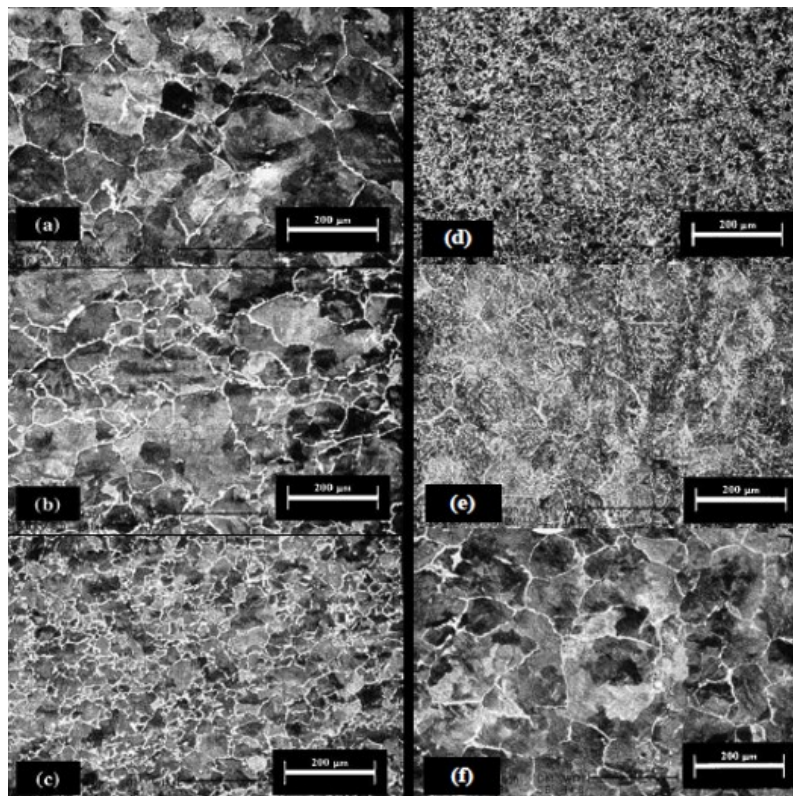
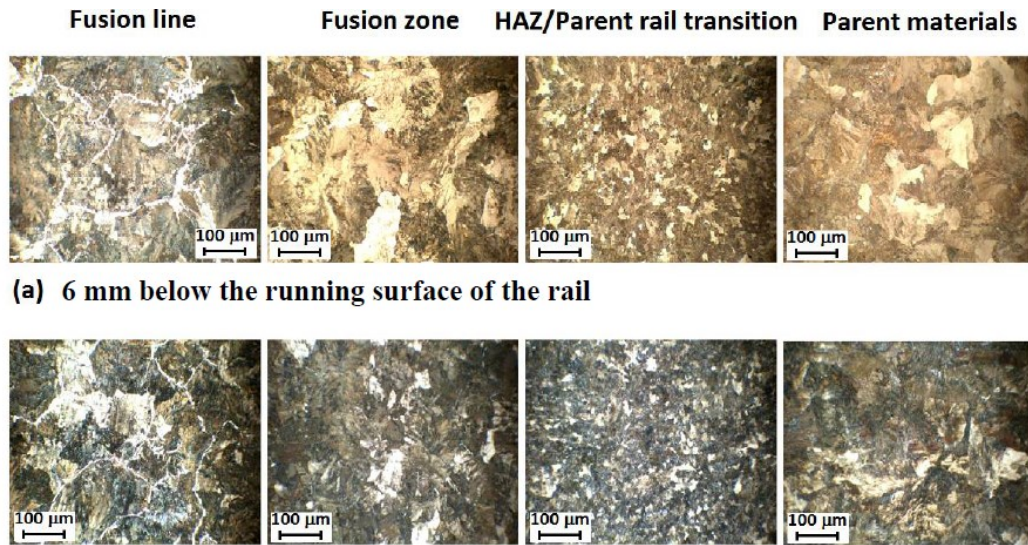


Figure 6: Microstructures of a Flash Butt Welding joint of the UIC 60 steel rail, (a) weld centre, (b) region 1 at point 6 mm from the weld centre, (c) region 1 at point 9 mm from the weld centre, (d) recrystallised region (region 2), (e) partially transformed region (region 3), (f) base metal [16]

As a result of the upsetting, the two plastic zones created at the rail ends are crushed against each other. Consequently, plastic deformation occurs, and recrystallization starts immediately after joining [16]. The parts that are adjacent to the weld centre are exposed to larger deformation and higher temperature compared to other parts of the welded joint. Therefore, these parts have coarse

recrystallized grains (Figure 6-a). Moving away from the weld centre of the joint, the temperature is reduced, and thus the grain size is decreased (Figure 6, b and c).



(b) 6 mm above the rail foot

Figure 7: Microstructures of a flash butt welded joint of the AS60 steel rail [17]

Flash butt welds showed pro-eutectoid ferrite at the prior austenite grain boundaries at the fusion line (Figure 7). This is considered a typical structure in flash butt welds, and the only region in which the grain size of the prior austenite can be determined, as delineated by the pro-eutectoid ferrite [17]. While the rest of the fusion zone exhibited a fully pearlitic microstructure, the pearlite in the HAZ/parent rail transition was partially spheroidised. However, the microstructure of the parent rail material was fully pearlitic [11].

The HAZ width depends on the preheating cycle and upsetting conditions, and varies between 30 and 60 mm, depending on the size and the grade of the rail, in addition to the type of the welding machine (stationary or mobile) (Figure 8) [11].

Generally, rail welds produced using the stationary FBW machine, compared to those produced by the mobile one, have narrower HAZ's (Figure 8). This is because preheating cycles may be faster and more material is ejected from the rail ends during the upsetting stage [17]. The HAZ width, and thus the hardness distribution across the weld, varies over the height of the rail section. However, the hardness distribution is affected by a range of FBW parameters; including preheating, upsetting and post weld cooling conditions [17]. (Figure 9) illustrates the hardness distribution measured across the S60 rail flash butt weld, joined using a mobile FBW machine, along three specified lines over the height of the longitudinal section of the rail [11].

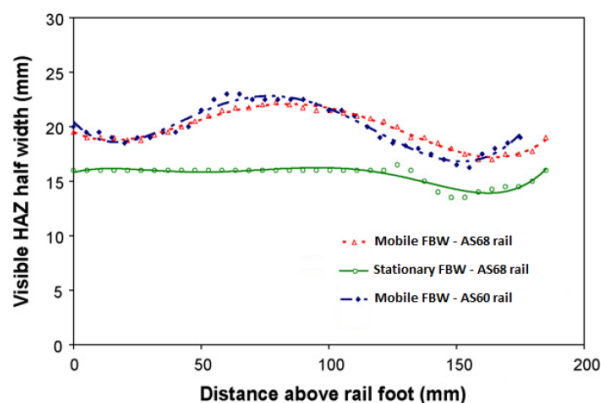


Figure 8: HAZ half width measured in flash butt welds of AS60 and AS68 rails [17]

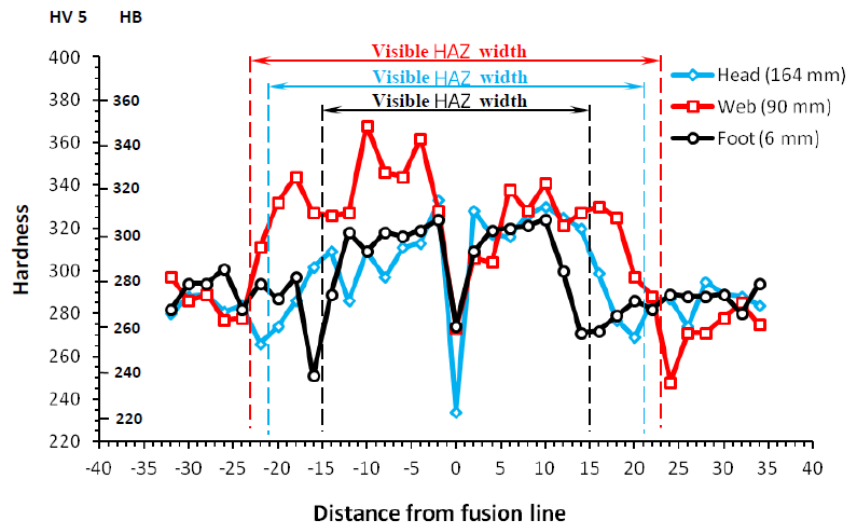


Figure 9: Longitudinal hardness distributions measured in the AS60 rail flash butt weld produced using a mobile FBW machine: head (164 mm above rail foot; 6 mm below the running surface of the rail head), web (90 mm above the rail foot), foot (6 mm above the rail foot) [17]

The average hardness of the weld centreline in the web region is slightly higher compared to that in the head and foot regions (Figure 10). This is because the ratio of lateral surface area to volume of the web is higher than that in the head and foot, consequently after welding, the cooling rate of the weld centreline in the web region is higher than that in the head and foot regions [16].

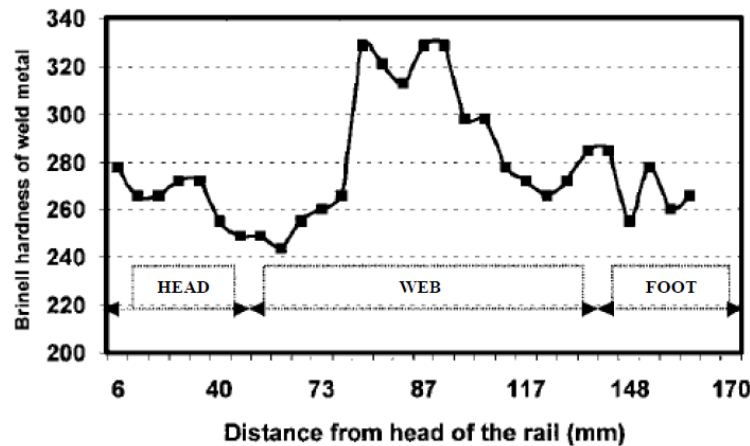


Figure 10: Hardness distribution along the weld centreline of the UIC 60 rail flash butt weld [16]

Two cutting process was applied and strain values in specimens were obtained using Strain Smart software programme. Figure 11 illustrates the strain measurement results versus cutting time of R260 quality specimens before welding process. The red line shows a first cutting and blue line shows a second cutting for specimens. The residual stress was calculated by multiplying the difference between the before first and after second cutting values of the process by  $2,07 \times 10^5$  MPa according to the Hooke Law.

Residual stress result indicates that rail has net  $600 \mu\text{m/m}$  strain and 124 MPa tensile stress values. The formation of stress can be occurred the difference of cooling rate between head, web and foot regions of rails. Foot part cools down faster than head part so the shrinkage might be effective for the occurrence of residual stress. According to the railway standard, rails must have lower than 250 MPa residual stress. So, the used rail in this study provides the conditions of standard.

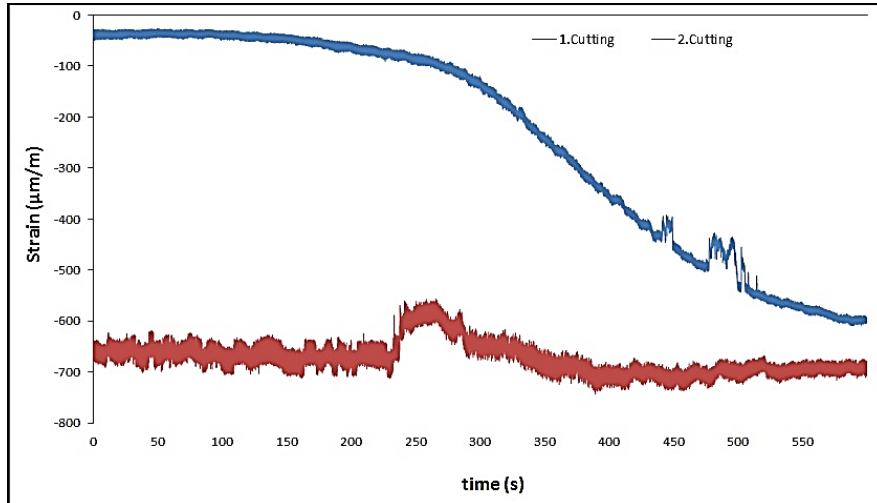


Figure 11: Strain measurement analysis of R260 quality rail.

Welding process was applied same quality R260 rail. Then residual stress measurement was performed using same method. Figure 4 shows the strain graphic of welded rail specimen. The specimen has 160 MPa stress value. The welding process can lead to extra stress formation because of the heating and cooling stages.

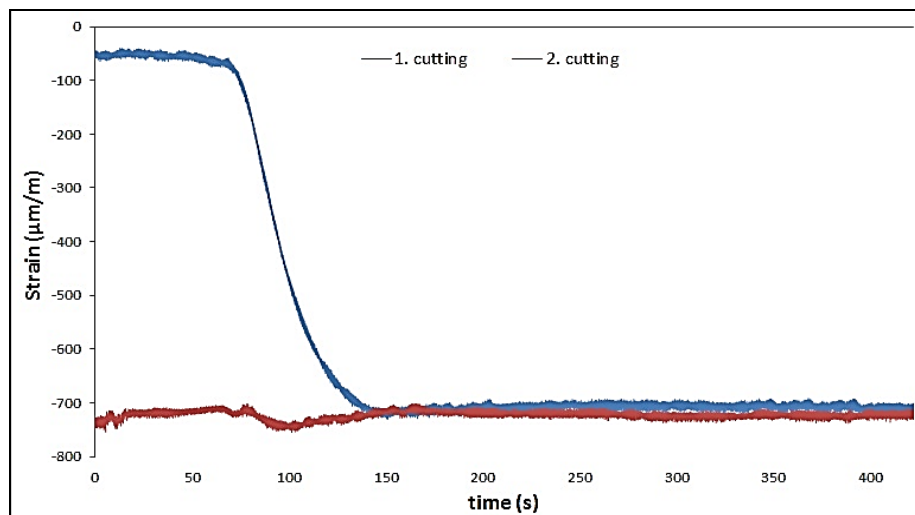


Figure 12: Strain measurement analysis of R260 quality rail after welding

## References

- [1] TURAN, Ş., "Rayların Yakma Alın Kaynağı", Kaynak Kongresi Ix. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı.
- [2] Honeycombe RWK and Bhadeshia HKDH. Steels, microstructure & properties. 2nd ed. London: Edward Arnold, 1995.
- [3] Jun, H., Seo, J., Jeon, S., Lee, S., and Chang, Y., "Fracture and fatigue crack growth analyses on a weld-repaired railway rail", Engineering Failure Analysis, Engineering Failure Analysis 59 (2016) 478–492.



- [4] Tawfik, D., Chiu, W.K., and Mutton, P., “Modifying residual stress levels in rail flash-butt welds using localised rapid post-weld heat treatment and accelerated cooling”, *International Heat Treatment & Surface Engineering*, December 2008.
- [5] FUJII, M., NAKANOWATARI, H., NARIAI, K., “Rail Flash-Butt Welding Technology”, JFE TECHNICAL REPORT, No. 20 (Mar. 2015).
- [6] SubsTech-substances and technologies (2009), *Metals-Metal joining technologies (welding, brazing, soldering)-Resistance Welding (RW)*.
- [7] Turan, M. E., “R260 kalite tren raylarında kalıntı gerilmenin belirlenmesi ve bunun mekanik özelliklere etkisinin”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015.
- [8] Yang, D., Zhe, L., Jia-Bao Y., and Liang, Z., “Experimental and numerical studies on residual stress in wide butt welds”, *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2017*.
- [9] Jilabi, A., S., J., A., Z., “Welding of Rail Steels”, University of Manchester for the degree of PhD in the Faculty of Engineering and Physical Sciences, School of Materials, 2015.
- [10]A. Skyttebol, B.L. Josefson, and J.W. Ringsberg, “Fatigue crack growth in a welded rail under the influence of residual stresses”, *Eng. Fract. Mech.* 72 (2005) 271–285.
- [11]Abdul, S., J., A., Z., J., “Welding of Rail Steels”, PhD Thesis, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Manchester, 2015.
- [12]Voestalpine Schienen GmbH. Competence Center Welding (CCW). Leoben/Donawitz, AUSTRIA. 2015.
- [13] FUJII, M., NAKANOWATARI, H., NARIAI, K., “Rail Flash-Butt Welding Technology”, JFE TECHNICAL REPORT, No. 20 (Mar. 2015).
- [14] Federal Railroad Administration, “Linear Friction Welding for Constructing and Repairing Rail for High Speed and Intercity Passenger Service Rail”, U.S. Department of Transportation, Office of Research, Development, and Technology Washington, D.C.
- [15] M. Saarna, A. Laansoo, “RAIL AND RAIL WELD TESTING”, 4th International DAAAM Conference “INDUSTRIAL ENGINEERING – INNOVATION AS COMPETITIVE EDGE FOR SME” 29-30th April 2004, Tallinn, Estonia.
- [16] Mansouri H. and Monshi A. (2004), *Microstructure and residual stress variations in weld zone of flash-butt welded railroads*, *Science and Technology of Welding and Joining*, 9(3):237-245.
- [17] Tawfik D., Mutton P. J. and Chiu W. K. (2008a), Experimental and numerical investigations: Alleviating tensile residual stresses in flash-butt welds by localized rapid post weld heat treatment, *J. of Materials Processing Technology*, 196(1-3):279-291.
- [18]Mansouri H. and Monshi A. (2004), *Microstructure and residual stress variations in weld zone of flash-butt welded railroads*, *Science and Technology of Welding and Joining*, 9(3):237-245.
- [19]Tawfik D., Mutton P. J. and Chiu W. K. (2008a), Experimental and numerical investigations: Alleviating tensile residual stresses in flash-butt welds by localized rapid post weld heat treatment, *J. of Materials Processing Technology*, 196(1-3):279-291.

# ANKARA-SİVAS YÜKSEK HIZLI TREN PROJESİ ENERJİ TÜKETİMİ ANALİZİ

M. Emin Akay, Gülüstan Tuğçe Alvalı, M. Hüseyin Çetin

*Department of Rail System Engineering, Karabuk University Engineering Faculty,  
Demir Celik Campus, 78050, Karabuk, Turkey.*

## Özet

Yüksek hızlı trenlerin (YHT) elektrik enerjisi kullanmaları sonucunda, diğer taşıma araçlarına göre; daha temiz, daha sessiz ve daha hızlı gerçekleştirdiği bilinmektedir. Avrupa birliğinde birçok ülke, daha az enerji tüketimi, daha az çevre kirliliği için ulaştırma politikalarını değiştirip YHT'lere önem vermektedirler. YHT'ler, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olup, yüksek nüfuslu kentler arasında hızla taşımacılıkta tercih edilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise YHT'lere verilen önem günden güne artmaktadır. Artan kullanım sonucu ülkelerde YHT'ler de kullanılan enerji azımsanmayacak boyuttadır.

Bu çalışmada, Sivas-Yerköy yüksek hızlı tren hattı “enerji tüketimi bağlamında” incelenmiştir. Bu hat için harcanan enerji için parametler belirlenmiş ve ortalama ihtiyaç duyulan enerji miktarı hesaplanmıştır.

Hesaplanan değerler mevcut YHT hatları için harcanan enerjilerle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ankara-Sivas yüksek hızlı tren projesi, enerji tüketimi

## 1) Giriş

Cumhuriyet'in kuruluşunda sonra ilk sırada yer alan demiryolu, daha sonraki yıllarda hızla gerilemiş ve karayoluna verilen önem artmıştır. Daha önceki yıllarda ulaşımında çok düşük paya sahip olan demiryolu yeni yatırımlar ile beraber artması hedeflenmektedir. Özellikle teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte YHT'lere verilen önem artmıştır. YHT'ler diğer taşıma sistemlerine göre daha temiz, daha konforlu ve daha hızlı olması sebebiyle en çok tercih edilen ulaşım araçları olmuştur. Türkiye'de değişen ulaşım politikaları sonucu YHT'lere verilen önem artmaktadır.

Tablo 1' de TCDD yüksek hızlı tren işletmeciliğine ait bilgiler verilmiştir (TCDD 2012,2016 istatistik yıllığı). Tablodan da anlaşılacağı üzere hat uzunluğu ve kullanan yolcu sayısı yıllara göre artmaktadır. Bu değer 2023'e geldiğinde çok daha büyük olacaktır.

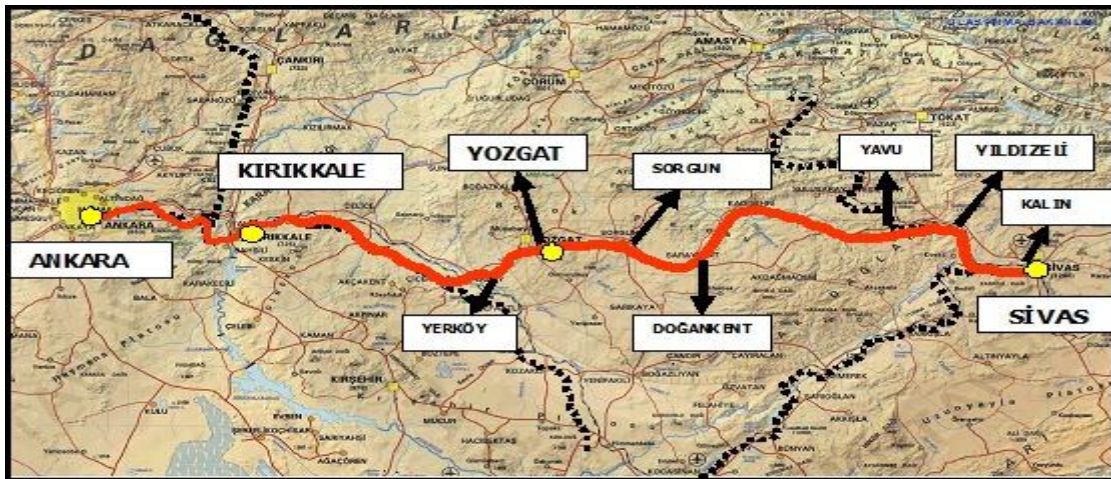
Tablo 1. Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği (TCDD 2012,2016)

	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Hat Uzunluğu (km)</b>	888	888	1,213	1,213	1,213
<b>Tren Seti Mevcudu</b>	12	12	12	13	19
<b>Toplam Kapasite</b>	4,908	4,908	4,908	5,352	8,238
<b>Tren-km</b>	3.460.766	4.012.220	4.092.395	4.320.069	7.549.480
<b>Koltuk-km</b>	1.422.375	1.649.022	1.163.376	1.366.377	1.371.923
<b>Yolcu Sayısı</b>	3.349.524	4.207.324	5.085.697	5.693.286	5.898.387
<b>Yolcu-km</b>	914.019	1.185.377	1.554.731	1.846.997	1.871.398

Artan YHT kullanımı sonucu harcanan enerji miktarı da artacaktır. İhtiyaç duyulan enerji miktarı iyi analiz edilmeli ve enerjideki talep-üretim raporu oluşturulmalıdır. Yeni ulaşım politikaları da bu raporlara göre hazırlanmalıdır.

## 2. Ankara –Sivas YHT Projesi

Küçük Asya ile İpek yolu güzergâhındaki Asya ülkelerini birleştiren Ankara-Sivas yüksek hızlı tren hattının yapımı devam etmektedir. Mevcut karayolu 603 km olup, 12 saat sürmektedir. İki kent arası seyahat süresini kısaltacak olan projeyle maksimum hız 250 km/h, hat uzunluğu ise 405 km olması planlanmaktadır. Böylece yapılacak olan YHT ile seyahat süresi 2 saat olacaktır. Proje 2019 yılında hayata geçirilecektir (TCDD).



Şekil 1. Ankara – Sivas YHT hattı haritası (Employees 2012).

Şekil 1’de Ankara-Sivas YHT hattının yol güzergâhı gösterilmiştir. Ankara – Sivas YHT hattı, Ankara-Yerkoy ve Yerkoy - Sivas olmak üzere iki kademe yapılmaktadır (TCDD).

### 3. Metaryal ve Method

Mevcut Ankara-Sivas demiryolu hattı 602 km'dir. YHT projesiyle mesafe 141 km azalarak ve 461 km'ye düşecek, 411 yolcu kapasiteli trenin çalışmasıyla yolculuk, 2 saate düşecektir. Aynı parkurda çalışan bir otobüs 50 yolcu kapasite ile 6 saatte taşımacılık yapmaktadır. Taşımacılık modunun otobüsten YHT'ye değişmesiyle büyük oranda zaman tasarrufu sağlanacak ve gerçek anlamda şehirlerarası toplu taşımacılık yapılmış olacaktır (TCDD).

Ankara-Sivas hattındaki ihtiyaç duyulan enerji miktarı iyi analiz edilmeli ve enerjideki talep-üretim raporunun oluşturulabilmesi için güç tüketim parametreleri belirlenmelidir. Bu parametreler; aerodinamik hava direnci, tekerlek – ray yuvarlanma direnci ve araç içi konfora yönelik tüketim olarak belirlenmiştir (Alvalı, Çetin ve Akay, 2018). Bu parametreler hesaplandıktan sonra diğer YHT'ler ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bulunan sonuçlar Türkiye'de tüketilen enerji miktarı ile de karşılaştırılıp, Ankara-Sivas YHT hattının Türkiye'deki enerji tüketimindeki yeri belirlenmiştir.

#### 3.1. Modelleme

Bu parametrelerin hesaplanması ve modelleme yapılabilmesi için bazı kabuller yapılmıştır.

#### 3.1. Kabuller

- Hattın hızı 250km/h'tir yani bu değer 69,44 m/s hıza karşılık gelmektedir.
- Aerodinamik sürtünme katsayısı ( $C_d$ ) 0,03 ile 0,05 arasındadır (Urlu, 2014)
- Yüksek hızlı tren hattında kullanılan araç ön yüzey alanı  $12,8 m^2$  olarak alınmıştır (Siemens Volera teknik özellikler).
- Aracın boş kütlesi 439 ton (Siemens Volera teknik özellikler) ve ortalama insan kütlesi 75 kilogram olarak alınmıştır (TÜİK, 2010).
- Bir YHT dizisi 411 yolcu taşımaktadır ve doluluk oranı ortalama %50 olarak hesaplanır.
- Çelik raylardaki demiryolu çelik jantlar arasında ki katsayı ( $c_w$ ) 0,001 ile 0,002 arasındadır (Köstek,2015)
- Kışın buz çözme prosesleri dikkate alınmadan gereken soğutma veya ısıtma yükü 2,5 kW olarak varsayılabilir (Jiang, Wang, Li etc., 2017).
- Ankara-Sivas arası YHT ile yaklaşık 2 saat sürmektedir.
- Bir tren setinde yaklaşık 400 tane led aydınlatma kullanılmaktadır.
- Bu hat kullanılmaya başladığı an günde 10 sefer yapacağı varsayılmıştır.

### 3.2. Matematiksel Modelleme

#### a) Aerodinamik hava direnci

Aerodinamik hava direnci formülasyonu aşağıdaki gibidir (Bacak, Gökoğlu, Tekir, Gedik, 2016).

$$F_1 = \frac{\rho \times A \times C_d \times V^2}{2}$$

Bu işlemin sonucu Ankara-Sivas YHT hattının tek seferi için oluşan aerodinamik hava direnç kuvveti 15.121,52 N olarak hesaplanır.

Elde edilen kuvvet hız ile çarpıldığında harcama gücü bulunabilir. Tek sefer için harcanan aerodinamik hava direnç gücü 1.050.038 W olarak hesaplanır.

#### b) Ray – teker etkileşim hesabı

$F_2 = m \times g \times c_w$  olarak ifade edilmiştir (Özdalyan).

Bu işlem sonucu Ankara-Sivas YHT hattının ray – teker etkileşim sonucu harcadığı kuvvet 6.680,61 N olarak hesaplanır.

Tek seferi için harcanan ray- teker etkileşim gücü ise 463.901,6 W olarak bulunur.

#### c) İç konfor unsurları hesabı

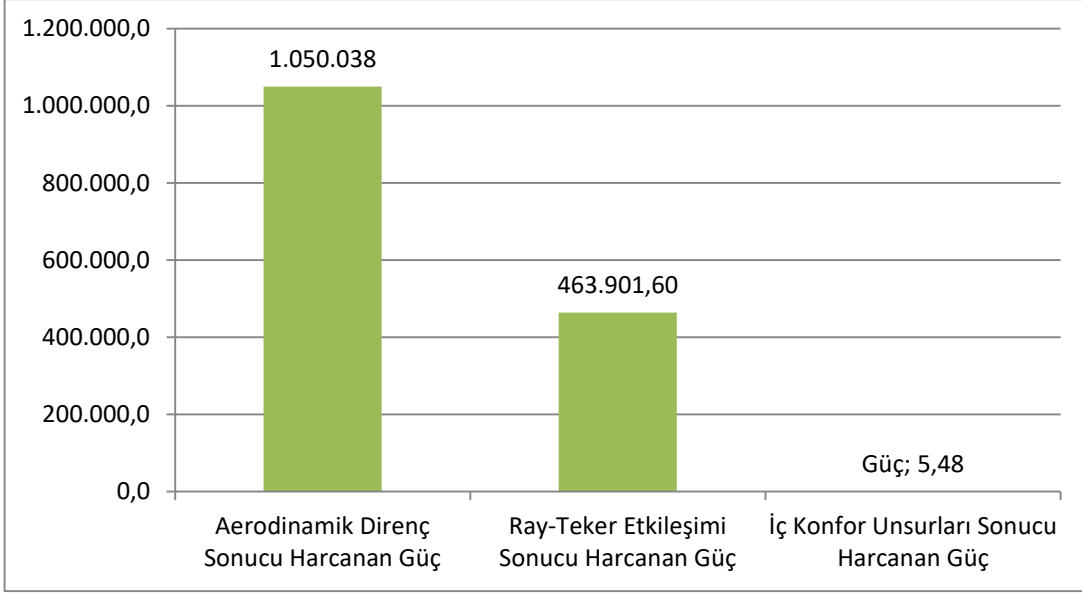
$F_3 = (2,5 \times t) + (1,2 \times 10^{-3} \times n)$  olarak ifade edilir (Alvalı, Çetin ve Akay, 2018).

Bu işlem sonucu Ankara-Sivas YHT hattının iç konfor unsurlarına harcadığı güç 5,48 W olarak hesaplanır.

### 3.3. Modelleme Sonuçları

Tüm bu değerler göz önüne alındığında en fazla harcanan gücün aerodinamik hava direnci için harcandığı görülmüştür. Tren hızı arttıkça, aerodinamik hava direnci belirgin şekilde artar; tren hızı 300 km/h e ulaştığında, aerodinamik hava direnci toplam gücün % 85 'ini harcar (Yang, Du, Li etc., 2017).

Şekil 2 'de harcanan güçler birbirleriyle daha rahat karşılaştırılabilmesi için grafiksel olarak gösterilmiştir.

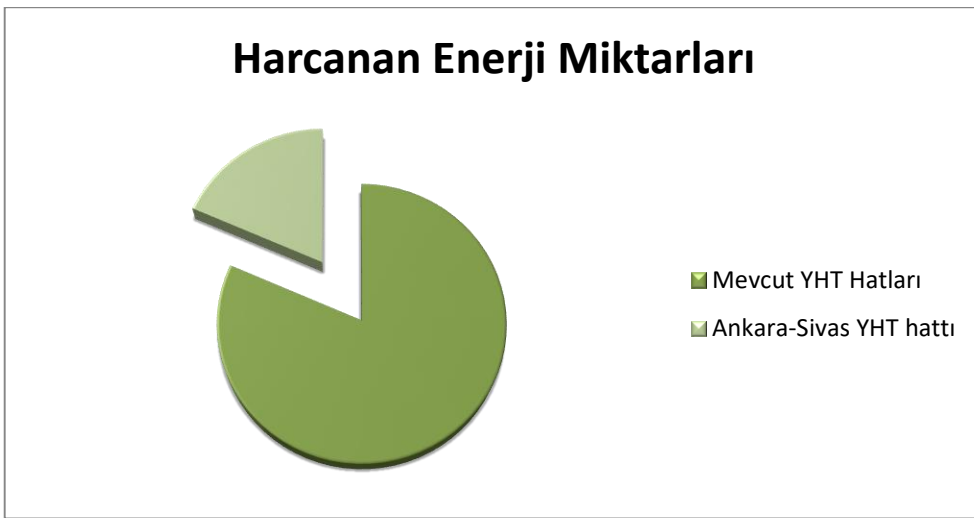


Şekil 2. Harcanan Güçlerin Grafikselsel Gösterimi

#### 4. SONUÇLAR

Tüm bu parametler trenin tek seferine aittir. Yani Ankara-Sivas YHT hattı tek seferinde toplamda 1.513,94546 kW enerji harcar. Tren günlük 10 sefer yaptığı varsayımı sonucu, Ankara-Sivas YHT hattında günlük 15.139,4546 kW enerji harcanacaktır.

Mevcut kullanımında olan YHT'lerin günlük enerji 66.744,48 kW'tır (Alvalı, Çetin ve Akay, 2018). Ankara-Sivas YHT hattı mevcut hatlar için harcanan enerjinin %22'sine denk gelmektedir. Şekil 3'te harcanan enerji oranları gösterilmiştir.



Şekil 3. Mevcut Hatlar ve Ankara-Sivas YHT Hattının Harcanan Enerji Karşılaştırılması

## **Kaynaklar**

Akay, M. Emin, The Role Of Energy Saving Training On Diesel - Electric Locomotives; A Case Study At Turkish State Railways - TCDD, *11th International Combustion Symposium, June 24th - 27th 2010, Sarajevo* (in Turkish).

Alvalı, G. Tuğçe, Çetin, M. Hüseyin, Akay M. Emin, “Yüksek Hızlı Trenlerin Enerji Tüketiminin Analizi” 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı, 2018

Bacak, S., Gökoğlu, M., Tekir, M., Gedik, E. “Yüksek Hızlı Bir Trenin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Aerodinamik Analizi”, Iserse 2016

Employees, 2012, “Ankara-Sivas Hızlı Tren Projesi Yerkoş-Yozgat-Sivas Kesimi”, *Web page of TCDD's Employees*, URL: <http://tcdd.net/ankara-sivas-hizli-tren-projesi-yerky-yozgat-sivas-kesimi> Retrieved 30 July 2012, (in Turkish).

Jiang, L., Wang, R.Z., Li, J.B., Wang, L.W., Roskilly A.P., Roskilly “Performance Analysis On A Novel Sorption Air Conditioner For Electric Vehicles”, 2017.

Köstek, M. “Araç Şanzıman Modellemesi” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bitirme Tezi*, Haziran-2015, s 4.

TCDD, *web sayfası TCDD (Türkiye Devlet Demiryolları)*

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2010.

Urlu, C., “Raylı Sistemler Dinamiği” *Ders Notları*, 2014.

Özdalyan, B., “Motorlu Taşıtlar Mekaniği” *Ders Notları*, s 6.

Siemens Valero Teknik Özellikler

Yang M., Du, J., Li, Z., Huang, S., Zhou, D., “Moving Model Test of High Speed Train Aerodynamic Drag Based on Stagnation Pressure Measurements”, 2017.

# WEAR BEHAVIORS OF FLASH BUTT WELDED R260 GRADE RAILWAY RAILS

\*Cug Harun, Turan Muhammet Emre,  
\*Karabük University, Karabük, Türkiye e-mail: hcug@karabuk.edu.tr

## Özet

Demiryolunun en önemli alt yapısı olan raylarda kaynak ve aşınma olgusu, yük taşıma ve yolcu güvenliği açısından en önemli parametrelerdir. Bu çalışmada yakma kaynağı yöntemiyle demir yolunda yaygın olarak kullanılan R260 kalite raylara kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminin ardından ileri geri aşınma yöntemi uygulanarak aşınma dayanımı incelenmiş ve kaynaklı aynı kalite rayla kıyaslanmıştır. 2 farklı yük uygulanması neticesinde aşınma performansları değerlendirilmiş, mantar, ağ ve ayak kısımlarının aşınma sonuçları kayıt altına alınmıştır. Ağ kısmında aşınma hızının kaynak sonrası yüksek soğuma hızından dolayı daha düşük olduğu, mantar ve ayak kısmında ise rayların birbirlerine yakın aşınma performansları sergilediği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** R260, Kaynak, Aşınma

## Abstract

The most important substructure of the railway is the welding and wear phenomenon on rails are the most important parameters in terms of cargo transportation and passenger safety. In this study, welding process was applied to R260 quality rails which are commonly used in the railway using the method of flash butt welding. After welding process, the abrasion resistance was investigated by applying reciprocating wear technique and compared with the same quality rail without welding. Wear performance was evaluated as a result of the applied two different loads and the wear results of head, web and foot parts were recorded. It has been determined that the wear rate in the web is lower due to the high cooling rate after welding, while in the head and foot part of the rails show close wear performances.

**Keywords:** R260, Welding, Wear

## 1. Introduction

C-Mn rail steels (0.7-0.8 wt. pct. carbon) are conventional and they are called as pearlitic rails [1]. Pearlitic rails are generally preferred because of their good mechanical performances such as tensile, hardness and wear performance [2]. R260 quality rails have 260 HBW hardness values and rough perlitic micro structure in head zones [3].

Welding is an important issue for combining produced rails. Some methods are applied for welding of railway rails. In general, alumino termite and the flash butt welding techniques can be used. The flash butt welding has the excellent welding efficiency among the rail-combining methods used in most countries and this method is important to observe quality stability and take control. In the method of application of the flash butt welding, two rail ends come together with heat, pressure and temperature without using any additional materials. The welding time is approximately 1.5-4 minutes [4-5].

Wear performance of welded or original samples in railway applications has vital importance for safety and usage life. In this report, flash butt welding process was applied to R260 quality rails. Wear and hardness behaviors of welded and original rails were compared.



## 2. Experimental Studies

Flash Butt Welded (FBW) R260 rail were cut from the welding points. Hardness test was conducted to head, web and foot parts of rail. Brinell (HBW 2.5/187.5) method was used during 15 seconds. Three measurements were taken and average values were taken account. Reciprocating test was applied using Tribometer test machine under applied 20 and 40N loads. Schematic of wear apparatus is presented in Figure 1.

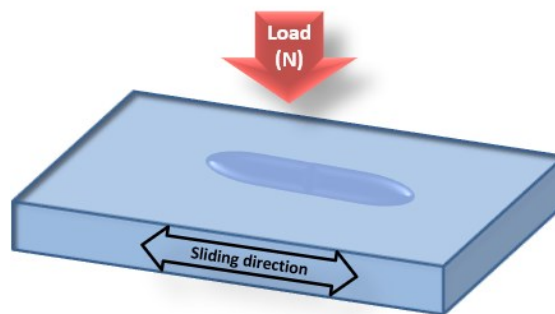


Figure 1. Schematic of wear test of prepared specimens

Rectangular shaped samples were extracted from the base head, web and foot regions. Stroke, sliding distance and frequency were set as 20 mm., 1000 m and 4Hz. respectively.

## 3. Results

Table 1 indicates the hardness test results of FBW R260 rail and original R260 quality rails. There is only difference in web section of rails. FBW R260 in web region has about 320 HBW while the other parts have 260-300 HBW hardness. The reason might be different sectional area of head, web and foot parts. Web part has lowest sectional area so cooling can be faster than other region. So hardness is higher due to cooling rate after welding process.

Table 1. Hardness results of rails

Region	R260	FBW R260
Head	276	272
Web	280	323
Foot	270	291

Wear phenomenon has big importance for railway rails because tons of loads are passing on rails everyday [6]. Figure 1 shows the coefficient friction (COF) values of rail samples. These values were obtained from the software belonging to the tribometer machine. Results show that COF value slightly decreases in FBW rail which can be attributed that heat effect during welding and then different cooling rate. When applied load increases COF value increases. This might be a result of formation of friction heat under higher reapplied loads during the sliding.

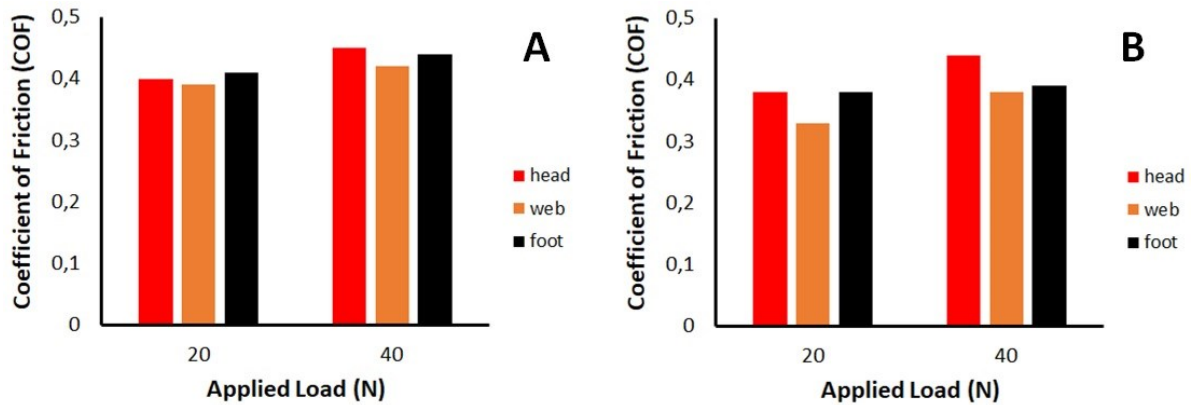


Figure 1. Coefficient of friction values of Original R260 (A) and FBW R260 (B) rail samples

Figure 2 illustrates the calculated wear rate of rail samples according to the ASTM G133 standard. Wear depth values were obtained from the tribometer device and wear depth was measured by profile projector. According to the obtained results, wear volume loss increases when applied load increases from 20N to 40N. Both of two rails exhibited similar performance except web and foot region because of the fact that they have lower sectional area than head parts. During the cooling process, these regions cool down faster and some shrinkages may be occurred. So, residual stress can be formed. This formation might effect the mechanical performance such as fatigue and hardness behaviors [7]. Once the Table 1 is considered, hardness value is the highest in web regions. Furthermore, wear rate is lower in this part. This indicates that the direct relationship between hardness and wear behaviors which is constituent with Archards rule [8].

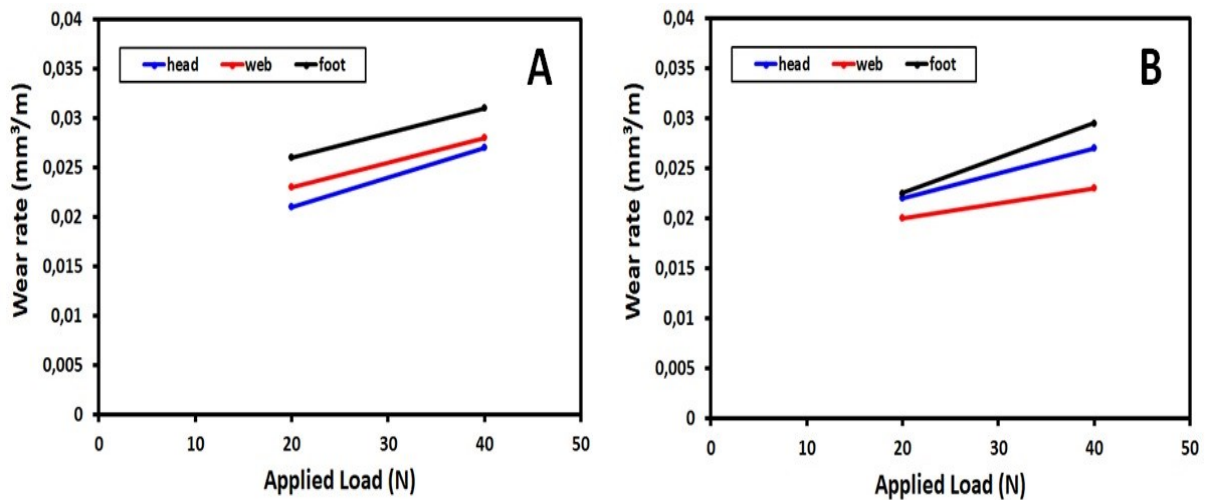


Figure 2. Calculated wear rate values of Original R260 (A) and FBW R260 (B) rail samples

## Conclusions

Based on the results, flash butt welding was successfully conducted to R260 quality rails. Hardness and wear performance were evaluated. Hardness and wear performance are closer for original and welded samples. However, web part is significantly effected by heat and cooling process. Some martensite formation might be occurred because of faster cooling

so, hardness is highest in this region. COF decreases in web point when welding is applied. Wear rate is also lower than other parts for FBW rail specimens.

## References

- [1] B. Panda, R. Balasubramaniam, and G. Dwivedi, "On the corrosion behaviour of novel high carbon rail steels in simulated cyclic wet-dry salt fog conditions," *Corros. Sci.*, vol. 50, no. 6, pp. 1684–1692, 2008.2.A.
- [2] M. Elwazri, P. Wanjara, and S. Yue, "The effect of microstructural characteristics of pearlite on the mechanical properties of hypereutectoid steel," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 404, no. 1, pp. 91–98, 2005.
- [3] Özçelik, S., (2014). Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Tawfik, D., Chiu, W.K., and Mutton, P., "Modifying residual stress levels in rail flash-butt welds using localised rapid post-weld heat treatment and accelerated cooling", *International Heat Treatment & Surface Engineering*, December 2008.
- [5] FUJII, M., NAKANOWATARI, H., NARIAI, K., "Rail Flash-Butt Welding Technology", *JFE TECHNICAL REPORT*, No. 20 (Mar. 2015).
- [6] Pointner P. High strength rail steels—The importance of material properties in contact mechanics problems. *Wear* 2008; 265: 1373–1379
- [7] M. E. Turan, S. Ozcelik, F. Husem, H. Ahlatci, Y. Sun, I. Tozlu, The effect of head hardening process on the residual stress of rails, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 232(2) (2018) 589-595.
- [8] L. Dai, V. Sorkin, and Y.-W. Zhang, "Effect of surface chemistry on the mechanisms and governing laws of friction and wear," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 8, no. 13, pp. 8765–8772, 2016.

## A METALLURGICAL PERSPECTIVE ON THE DEVELOPMENT AND FUTURE OF RAILWAY STEEL

### DEMİRYOLU ÇELİĞİNİN GELİŞİMİ VE GELECEĞİ ÜZERİNE METALURJİK BİR PERSPEKTİFLE BAKIŞ

Bilge Demir

Karabuk University, Engineering faculty Mech. eng. dept Karabük , Turkey, e-mail: bdemir@karabuk.edu.tr

#### Özet

Demiryolları batı ülkelerinin 19 ve 20 yüzyılda gelişmesinde çok önemli bir rol oynamıştır. Özellikle demiryolu ray çeliği bu gelişimde önemli bir yere sahiptir. İlk ticari demiryolu rayı Dünyadaki ilk çelik demiryolu 1850'lerin ortalarında İngiltere'de yapıldı ve 1862'de bir demiryolunda deneme kurulumu yapıldı. 1867 de ise Amerika'da Bessemer çeliği olarak üretildi ve kullanılmaya başlandı. 20. Yüzyıla gelindiğinde çelik üretimi ve proseslerindeki gelişmeler demiryolu raylarında da önemli gelişmeleri beraberinde getirdi. Bu gelişmeler kimyasal kompozisyon ve mikroyapıya bağlı olarak: yüksek dayanım, güvenlik, aşınma direnci, katar yüklerinin artması şeklinde özetlenebilir. Bu gelişmedeki anahtar rol ötekoit ince perlit yapısından ileri gelmekteydi. Günümüzde özellikler daha da optimize edilerek demiryolu raylarının servis ömrü ve kapasiteleri oldukça arttırılmıştır. Yeni olarak perlitik raylar yerine beynitik rayların özellikle yüksek mukavemet istenen yerlerde kullanılması önemli bir alandır. Bu çalışmada dünyadaki ve demiryollarındaki bu gelişmeler kritize edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** En fazla 5 kelime

#### Abstract

Railways played a very important role in the development of western countries in the 19th and 20th centuries. Especially railway rail steel has an important place in this development. The first commercial railroad rail The world's first steel rail was built in the mid-1850s in the UK, and in 1862, a railroad was set up. In 1867, Bessemer steel was produced in America and started to be used. In the 20th century, the developments in steel production and processes brought about important developments in railway tracks. Depending on the chemical composition and microstructure, these developments can be summarized as: high strength, safety, abrasion resistance and increased string loads. The key role in this development was the structure of the autoctoite fine perlite. Nowadays, the features are further optimized, and the service life and capacity of the railway rails have been greatly increased. In this study, these developments in the world and railroads are categorized

**Keywords:** Up to 5 words

#### 1. Giriş

1845 yılında Montour Demir yolları tarafından geliştirilen, şekillendirilmiş demir raylar, ilk trenlerin çalıştığı kompozit ahşap ve askılı demir parçaların üzerinde gerçek muazzam bir olay ve gelişmeydi. Fakat yaklaşık yirmi yıl içinde, kusurları da ortaya çıkmaya başladı. Çelik raylar nispeten kırılğan bir yapıya sahipti ve kendilerinden beklenen daha ağır, daha büyük ve daha hızlı büyüyen tren katarlarının ağırlığını taşıyamadılar. Ayrıca, her üç ayda bir değiştirme ihtiyacı sadece pahalı değil; ayrıca işleyişi ciddi manada aksatıyordu. Demiryolunun aşınmış rayları değiştirmek için operasyonları durdurması gerektiğinde hiçbir tren çalışmıyor ve hizmet dışı kalan bir tren para da kazanamıyordu. Özellikle savaş yaşanan bölgelerde ise yoğun trafiğin yarattığı stresle, rayların daha sık değiştirilmesi

gerekiyordu. Pennsylvania Demiryolları (PRR) yetkilileri, 1864'te bu trend hakkında hissedarlarına şunları yazdı Dünyadaki ilk çelik demiryolu 1850'lerin ortalarında İngiltere'de yapıldı ve 1862'de bir demiryolunda deneme kurulumu yapıldı. İki yıl sonra yetkililer, bitişik demir rayların yerini aldığını gördüler. 1864 yılında PRR, Amerika'da birincisi olan 150 ton çelik raydan oluşan bir deney için bir sipariş verdi ve kendi çelik işlerini kurabileceğini ima etti. 1866 yılında şirket demir rayların iki katı olan bir fiyata rağmen çelik ray alımlarını hızlandırdığını açıkladı. Zamanla, PRR Pennsylvania Steel Co'yu Pennsylvania'da organize ve finanse etmiştir, bu şirket özellikle demiryolu rayları üretimi için inşa edilecek ilk tesisi inşa etmiştir [1-4].

PRR, 1854 yılında ilk demir raylarını haddelemiş olan Johnstown'daki Cambria Demir İşleri'ne de yatırım yaptı. 1866'da Kuzey Chicago Haddehanesi, aynı zamanda deneysel bir çelik ray üretmişti, ancak 1873 yılında, 150 tonluk çelik ray için deneysel siparişini verdikten on yıl sonra, PRR 73,542 ton çelik ray üzerinde tren kullandı. "Demiryollarının kapasitesini arttırmak ve işletme demirlerini demir raylar için bu ikame olarak azaltmak için başka hiçbir teknolojik gelişme çok fazla bir şey yapmadı," diye yazıldı. "Bu gerçekleşmeden önce, lokomotiflerin ve arabaların müsaade edilen tekerlek yükleri, demir raylarda meydana gelen bozulma ve aşınma nedeniyle kesinlikle sınırlandı." 1877 yılında, PRR'nin New York-Chicago çift hatlı ana hattının tamamı çelik raylıydı [4-6].



Şekil 1. Demiryollarının ilk yılları ve ray döşeyen çalışanlar [6]

İngiltere'deki Bessemer çelik üretim sürecinin buluşu, ray alanında çok önemli bir aşamadır. 1880'de Amerika'daki 115.000 kilometrelik yolun sadece yüzde 29'u çelik raylıydı. Rakam 1890'daki 200.000 kilometrelik pistin yüzde 50'sine ve 1900'deki 258.000 kilometrelik yolun yüzde 93'üne yükseldi. 1872'den 1882'ye kadar, ABD tarafından üretilen çelik demiryolunun fiyatı 140 \$ tondan 35 \$ tona düştü. ve üretim 90.000 tondan 1.5 milyon tona yükseldi [1-2].

Steeltown, Johnstown ve Bethlehem Steel fabrikaları, Braddock'daki Carnegie Steel Co. tesisinin (Edgar Thomson Works) çelik ray üreticileri olarak tarihe geçtiler.. Şu anda Amerika'da; 1980'lerde Big Steel'in çöküşüyle, ithal demiryolu bir kez daha Amerikan yapımı çeliği geçti. Yirmi birinci yüzyılın başlangıcında, şu anda sadece Steeltown fabrikası- şimdi International Steel Group, Inc. adı altında - Pennsylvania'da raylar yaptı. Colorado'da bulunan sadece bir başka iç demiryolu üreticisi mevcuttur [5,6].

Geçmişten günümüze İlk Bessemer çelik rayları 1867'de ABD'de ticari olarak piyasaya sürüldüğünden beri, çelik üreticileri demiryolu özelliklerini karşılamak için en yüksek kalitede raylar üretmek için sürekli iyileştirmeler yaptılar. Bu çalışma, günümüzde 400 Brinelden (HB) daha sert olabilen ray üretimlerine yol açan süreçleri ve üretimleri tanıtmayı amaçlamıştır. Metalürjisiler, yaşam döngüsünü uzatmak güvenli bir şekilde tasarlanan rayları geliştirmek için temel prensipleri uygulamayı öğrendi. Perlitli bir mikroyapıya sahip rayların, ağır taşıt uygulamalarında ciddi tekerlek-ray etkileşimi altında en iyi aşınma direncini sağladıkları kanıtlanmıştır. Yumuşak demir (ferrit) fazına gömülmüş olan perlitli

mikroyapının sert demir karbür (sementit) fazı, bu özelliğin sebebidir. Bununla birlikte, demirin sertliği ve sünekliliği (güvenlik) arasındaki dengeyi korumak için, perlitli lamellar mikroyapı içindeki demir karbür fazının aralıklarının kontrol edilmesi ve hem ferritin hem de fazla seimentitin tanecikli ağlarının oluşumunu en aza indirmek çok önemlidir [5-6].

## 2. Ray Çeliklerinin Gelişimi

Günümüz demiryolu çeliği ile Bessemer döneminde demiryolu çeliğinin özelliklerini karşılaştırsak, bazı önemli farklılıklar görürüz. Her şeyden önce, 1800'lerde karbon seviyeleri bugün olduğundan daha düşüktü. Aşağıdaki Çizelge 1. , erken ve modern çelik raya tipik birer kimyasal analiz göstermektedir.

Çizelge 1 Erken ve modern çelik raya tipik birer kimyasal analiz örneği [4]

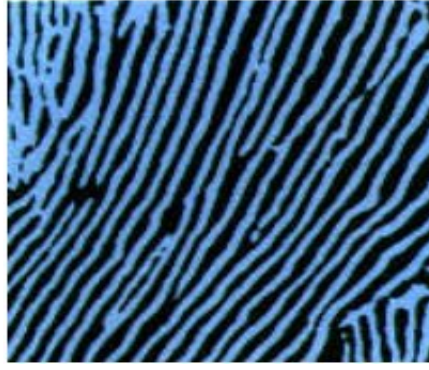
Çelik Kimyasal kompozisyon % ağırlık					
Çeliğin yapıldığı süreç	C	Mn	P	S	Si
1890 Bessemer Konverter	0,58	1,33	0,074	0,072	0,08
2013 (Elektrik Ark ocağı)	0,84	1,00	0,010	0,008	0,040

İkinci dikkat çekici fark, yüksek seviyede fosfor ve sülfürdür. Bu iki elementin rayda istenmediği ve zayıf sünekliliğe sebep olduğu bilinmektedir. Bu safsızlık elementleri, Bessemer dönüştürücüsü tarafından pik demirden etkili bir şekilde uzaklaştırılmamıştır. Esasen, açık ocak fırını, daha uzun bir rafinasyon süresi ve kireç bazlı bir cüruf uygulaması ile hem kükürt hem de fosforu düşürmek mümkün değildi. Diğer bir fark min. silikon seviyesidir. Bugün, silikon sıvı çeliğin deoksidasyonu için gerekli bir elementtir. Silikon ayrıca sertlik ve dayanımı arttırmak için de kullanılmaktadır. Bessemer çeliğindeki manganez seviyesi, modern ray çeliklerine kıyasla daha yüksekti. Bessemer işlemi aşamalı hale getirilirken, çeliğin rafine edilmesi açık ocak fırınının avantajı olmuştur. Bu işlem sırasında safsızlık elemanlarının çıkarılması ve ferroalyaj yapan eklerin doğru bir ray çelik bileşimi elde etmesine izin vermek için birkaç saat gerekmiştir. Demiryolları raylarının standart ve spesifikasyonları 1907 yılından itibaren yapılmaya başlanmıştır [ 2]

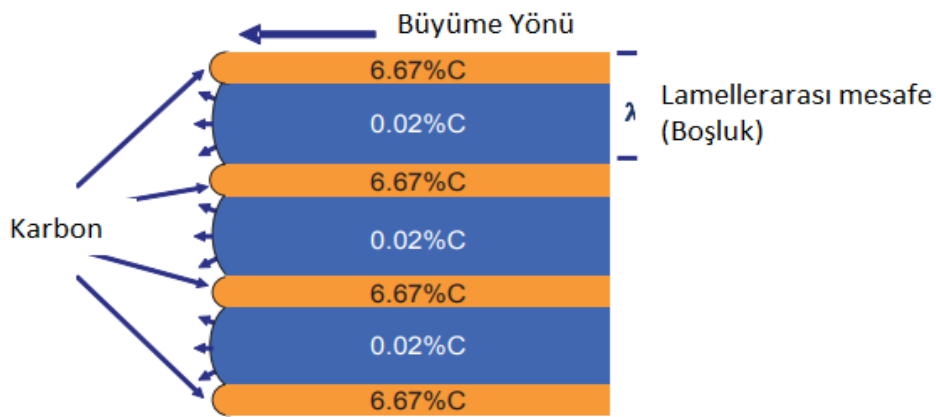
### 2.1. Yüksek mukavemetli rayların geliştirilmesi

Rayların bozulmasının ve erken değiştirilmesinin başlıca nedenleri, çeşitli hasar mekanizmalarını etkileyen mekanik ve metalürjik faktörlerdir. Demiryolu hasarı esas olarak aşınmanın bir sonucudur; haddeleme temas yorulması, diğer yorulma kusurları; oluklanma plastik akış ve kafa kırma; martensitik tabakalar, özellikle de tekerlek burçlarından; ve derzlerin ve kaynakların meyili gibi sayılabilir [7]. Dolayısıyla bütün bu sebepler ile mantar sertleştirme ve diğer dayanım artırıcı çalışmalar oldukça ilgi çekici bir şekilde yapılmaktadır. Son 50 yıldaki en önemli gelişmelerden bir tanesidir. Mantar sertleştirme işlemlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, ray üreticileri yeterli sünekliliği korurken, rayın sertliğini ve dayanımını arttırabilmektedir. Östenitin öncesinde ve sırasında seimentite dönüşümüne kadar soğutma hızını arttırmak oldukça büyük faydalar sağlamıştır (5). Amaç, ferrit ve seimentit (demir karbür) lamelleri arasında mümkün olan en iyi aralıklı perlit üretmektir. Şekil 3, Mantar ile sertleştirilmiş bir ray kafasında tipik bir "lameller" perlitli mikroyapıyı göstermektedir (Şekil 2) [5,6]. Mantar sertleştirilmiş rayda, interlamellar boşluklar, Optik mikroskop kullanılarak görülemez ve bir SEM daha yüksek büyütme elde etmek için gereklidir. Şekil 3, östenitten dönüşen yayılımın şematik gösterimi.

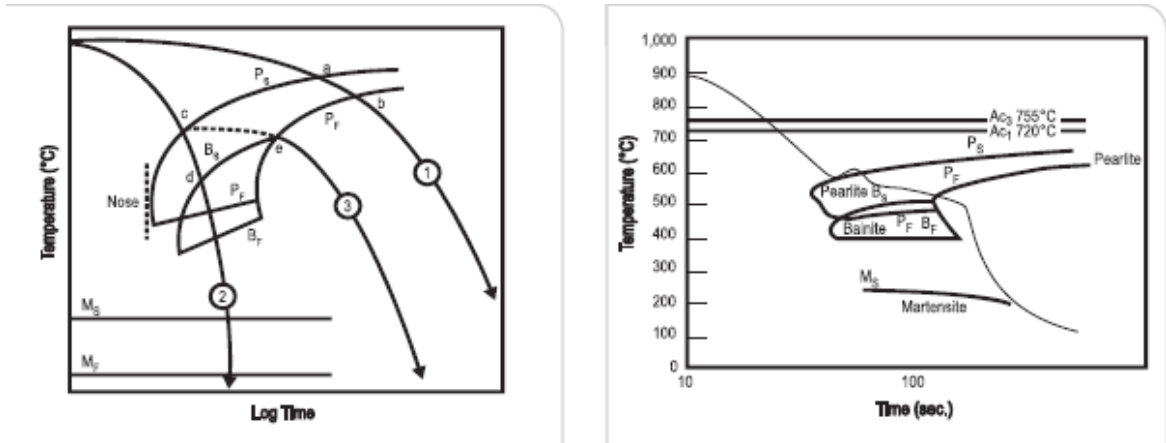
Şekil 4'de bir ötektit üstü çelik için gösterilmiş muhtemel soğuma rotalarına ilave olarak esasen önemi çok fazla olan dilatometre ile belirlenmiş bir soğuma paterni de gösterilmiştir. Bu şekilde östenit yaklaşık 600°C de dönüşmeye başlamaktadır. Bundan hemen sonra soğumada bir kamburluk sonra soğuma penceresinden soğuma devam etmektedir. Bu soğuma moderate soğuma olarak isimlendirilebilir. Bu soğuma ile ince perlit elde edilir ki beynit veya martensit oluşmadan bunu sağlamak gerçekten önemli bir iştir. Martensit veya beynit oluşumu beraberinde olumsuz kalıntı gerilmeleri de getirebilir. İnce perlit yapı ile rölatif yüksek sert ray elde edilebilmektedir [9].



Şekil 2. Mantar sertleştirilmiş bir rayda perlit kolonileri [5]

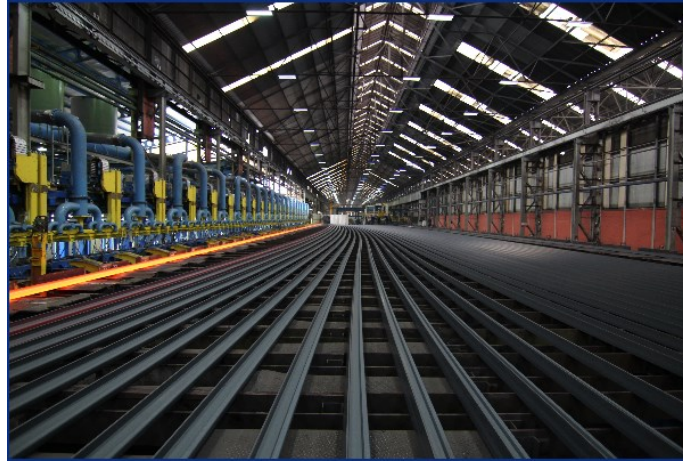


Şekil 3. %0,80 karbonlu bir çelikte perlit oluşumu ve lameller arası mesafenin şematik gösterimi [5]



Şekil 4. a) Ötektoit üstü bir ray çeliği için soğuma rotası, b) dilatometre ile belirlenmiş bir soğuma paterni [6]

Örnek olarak söylemek gerekirse Şekil 4'de gösterildiği gibi ince perlitik yapı elde edecek ve şekilde gösterilen soğuma paternini sağlamak için belki 100 metre uzunluğunda sulu soğutma spreyi kurulabilmektedir. Böyle bir soğutma sprej sistemi de şekilde gösterilmiştir [5,6]. Optimum soğuma rotası-paterni ancak belirli kimyasal kompozisyonlar ve prosesler ile sağlanabilir. Çalışmaların can alıcı noktası bu konulardır.

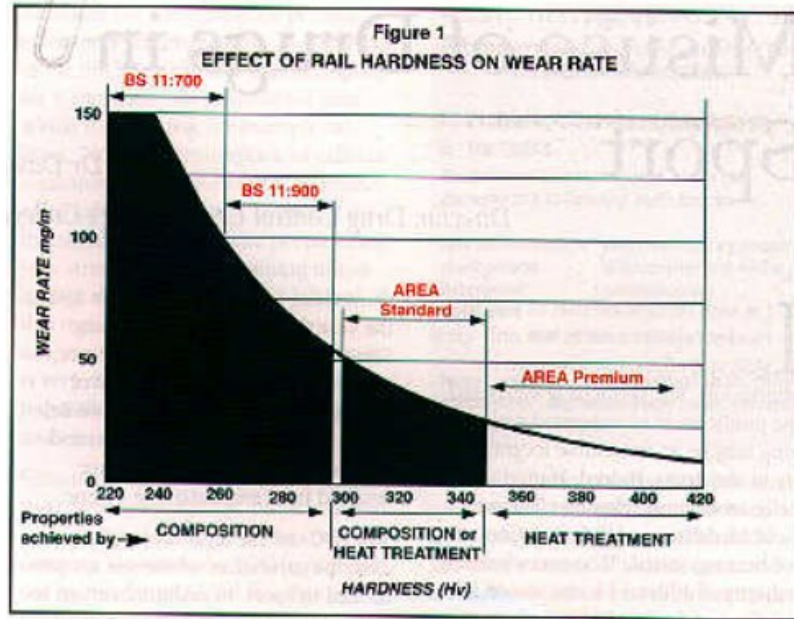


Şekil 5. Ray mantar sertleştirme - ArcelorMittal (a) ray hadde çıkış b) spreyle soğutma c) KARDEMİR

### 2.1. 1. Ray sertliğinin arttırmak ne anlama gelmektedir?

Araştırmacılar ray sertliğini arttırmanın ray aşınma direnci ve dayanımını arttırmanın birinci yolu olduğunu bilmektedirler. Ray sertliği ince perlit yapısı ile yani sementit ve ferrit lamelleri arasındaki boşluğun azalması ile artmaktadır. Bu amaçla günümüzde Mn ve C miktarının artırılması tercih edilmektedir. Si ve Cr miktarının bir miktar daha fazladır. Bununla birlikte alaşım elementlerinin ötekoit karbon miktarını düşürerek protektoit ve ağ şeklinde sementit yol açmaması da çok dikkat edilmesi gereken bir konudur. Şayet protektoit sementit oluşursa düşük süneklige sebep olduğu için birçok tokluk sorunları ve çatlaklara sebep olabilmektedir. Artık günümüzde hızlı soğuma ile alaşıma bağlı olarak oluşabilecek sementit önlenmektedir. Ötekoit üstü ray çeliklerinde yüzey sertliği 400 HB civarında iken iç kısımda 390 HB civarındadır (Şekil 6). Bu sertlikler belkide perlitik ray çelikleri için sınır değerlerdir. Bundan sonraki süreçlerde artan dayanım isteği ve düşen süneklik daha fazla dayanımla birlikte daha sünek mikroyapıların araştırılmasına gereksinim duymaktadır. Alaşımlama ve ısıtma işlem kombinasyonları mümkündür ve bu nedenle çeşitli sınıflar üretilebilir. Şekil 6, bunları sertlik özellikleri ve aşınmaya karşı direnç bakımından göstermektedir. Demiryolunun demiryolu sınıfı seçimi trafik ve yol koşulları açısından yapılmakta ve özellikle modern raylı kafa yağlama ve öğütme uygulamaları kullanıldığında mükemmel hizmet ömrü elde edilebilmektedir.

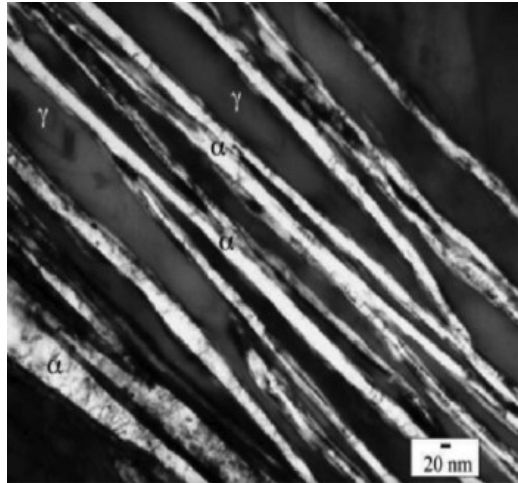




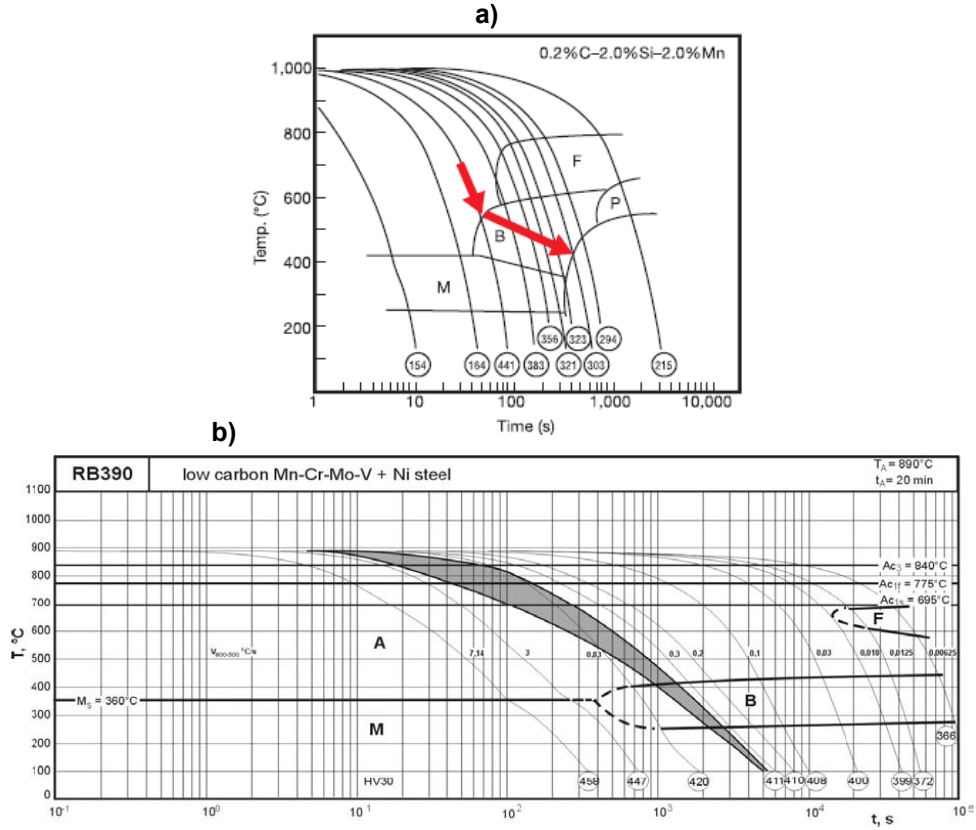
Şekil 6 Ray çeliğinin sertliğine (HV) karşı aşınma oranının (mg m<sup>-1</sup>) çizimi [9]

## 2.2. Alternatif Ray Çelik Yapısı:

Beynitik ray çeliklerine bir ihtiyaç vardır fakat bu beynitik yapı alt ve üst beynitik yapı değildir. Araştırmalar karbür içermeyen beynitik ray çeliklerinin perlitik rayların yerini alabileceğini göstermektedir. Özel alaşımlanmış bu ray çelikleri %0,20-0,25 miktarında daha az karbon içermektedirler. Daha az karbon klasik üst beynite nazaran beynitik süreçte lath arası demir karbürlerin daha az ve yetersiz oluşmasını sağlamaktadır. Bunun yerine karbon ve diğer alaşım elementlerince zengin östenit kararlı kalmaktadır. Şekil 7'da görüldüğü gibi beyaz görünen kısımlar ferrit ve koyu görünen kısımlar kalıntı östenittir. Alaşım elementleri (Mn, Si, Cr, Mo, B) ferrit ve perlit oluşumunu geciktirirken beynit oluşumuna sebep olmaktadır bu durum ayrıca Şekil 8'deki CCT diyagramında soğuma haritası-yolu-rotası olarak gösterilmiştir.

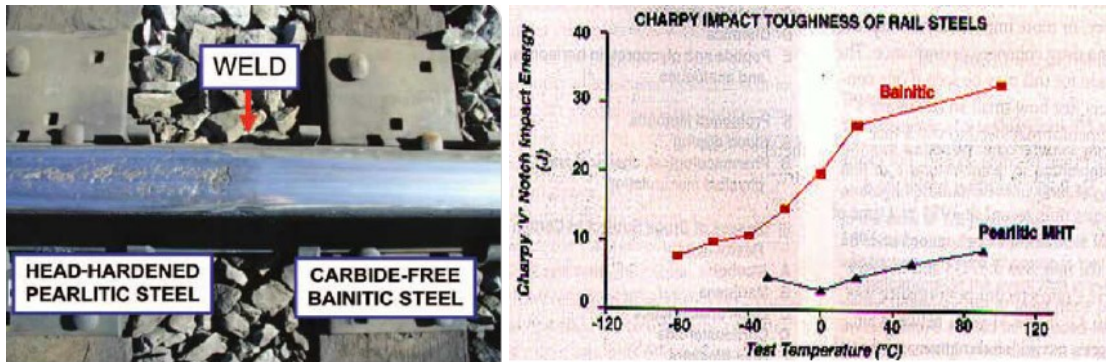


Şekil 7 Beynitik rayın TEM görünüşü [5]



Şekil 8 a) Beynitik ray üretim haritası ve rotası CCT [6] Düşük karbonlu Mn-Cr-Mo-V + Ni bainitik ray çeliğinin CCT diyagramı. Gölge alan UIC60 rayının bir kesitinde gerçekleştirilen hava soğutma eğrilerinin aralığını içerir[10]

Yapılan çalışmalar karbür-free beynitik rayların aşınma direncinin perlitik raylardan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Beynitik ray çeliklerinin bu seviyesi için 500 HB den daha yüksek sertliğe sahip olması gereklidir. Bununla birlikte Perlitik çeliklerde 400 HB civarındadır. Beynitik ray çeliklerinin en önemli avantajı Rolling kontak yorulmanın min. seviyede olmasıdır. Perlitin klasik ray çeliklerinde ise tren tekerinin soğuk deformasyon etkisi kontak yorulmaya sebep olmaktadır. Şekil 9'de beynitik ve perlitik rayların kaynak edilmiş bir örneğini görülmektedir. Karbür free beynitik ray kontak yorulma göstermez iken ısıl sertleştirilmiş perlitik çelik ciddi bir hasara uğramıştır. Bu durum belki sementinin varlığının kontak yorulmaya yol açtığı ile yorumlanabilir. Amerika'da kontak yorulmadan kaçınmak ve önlemek için raylar düzenli olarak kontrol edilir ve ihtiyaca göyeni bir yüzey-çatlak free elde etmek için hassas taşlama yapılmaktadır. Avrupa'da ise bunun yanında beynitik raylar ticari olarak kullanılmaktadır. Esasen Avrupa'da, Amerika'dan farklı olarak yolcu için kullanım çoğunluktadır ve Amerika gibi yüksek yükler mevcut değildir. Amerikan yollarında aşınma daha da önemlidir [6].



Şekil 9 Beynitik ve mantar sertleştirilmiş iki farklı tipte rayın kaynak ve kullanım sonrası görüntüleri ve darbe dayanımları [5]

Mevcut durumda demir yolu raylarının gelişimi için ayrı kritik bir yerde olduğumuzu söyleyebiliriz. Perlitik ray çelikleri için de yeni proses ve yapı gelişimi ile özelliklerinin aha da geliştirilmesi mümkün olabilir. Bununla birlikte fiyatı yüksek olmayacak beynitik ray çelikleri özellikle yük ağırlığı fazla ve aşınma direncinin daha da önemli olduğu Amerika'da kullanıma geçebilir [8-14]. Ayrıca 23.07.1996 European Parlemantosu da 1692/96 nolu kararı ile trans-European conventional rail network u 200 km/s hız ve 230 kN, den nfazla aks yükleri ile özel ray döşenmesi durumunda hızın 250 km/s'den fazla olabileceğini deklere etmiştir [14].

### 3. GENEL DEĞERLENDİRME

Hiç şüphe yok ki bessemer'in çelik üretim metodu demiryollarının tüm dünyada gelişimine önemli bir katkı sağlamıştır. Ray çeliği zamanla daha sert ve aşınmaya daha da dirençli hale gelmiştir. Diğer bir ifade ile çelik üretim metotları, karbon seviyesindeki artışlar, seçilen alaşım ilaveleri ve gelişmiş hızlandırılmış soğutma prosesleri ile, geçtiğimiz yüzyılda perlitik ray çeliklerinin ve diğer rayların sertliği ve aşınma direnci giderek artmıştır. Martens in 250 HB rayı yerine bugün 400 HB'yi geçen ray sertlikleri mevcuttur. Bu yüksek sertlik değerleri için 1) mümkün olduğu kadar lameller arası boşluğun ince olması, 2) mevcut ise ferriti yapının alaşım ve çökeltiler ile dayanımının artırılması ve 3) sementit miktarının karbon miktarının ötekoit üstüne artırılması ile artırılması. Ray üreticilerinin ise ince perlitik ray üretimini mevcut limitlerinde bıraktıkları görülmektedir. Beynitik çelik rayları bu manada yeni bir çıkış yolu sunuyor olabilir. Demiryolları (periyodik taşlama, seçilen yağlama, vb.) tarafından yapılabilecek uygun bakım ile modern gün hipereötektoid raylar birçok yıl sürmelidir [1-14].

### Kaynaklar

- [1] **Anthony A. Bianculli**, *Trains and Technology: The American Railroad in the Nineteenth Century* (Newark, DE: University of Delaware Press), 2003.
- [2] **George H. Burgess and Miles C. Kennedy**, *Centennial History of the Pennsylvania Railroad Company, 1846-1946* (Philadelphia, PA: Pennsylvania Railroad Company), 1949. **Douglas Allen Fisher**, *Epic of Steel* (New York: Harper and Row), 1963.
- [3] **John E. Gable**, *History of Cambria County, PA* (Topeka, KS: Historical Publishing Co.), 1926.
- [4] A Perspective on the Manufacture of Modern-Day High-Strength Steel Rail Bruce Bramfitt, PhD AIST, 2011
- [5] A Perspective on the Manufacture of Modern-Day High-Strength Steel Rail, AREMA 2013
- [6] <http://explorepahistory.com/displayimage.php?imgId=1-2-5F9>
- [7] **Thomas J. Misa**, *A Nation of Steel: The Making of Modern America, 1865-1925* (Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press), 1995.
- [8] <http://bilgiac.blogspot.com/2017/03/ilk-demiryolu-ve-trenin-gelisimi.html>
- [9] Innovation in Rail Steel, <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/parliament.html>
- [10] J. Pacyna . The microstructure and properties of the new bainitic rail steels, VOLUME 28, ISSUE 1 May 2008
- [11] **U.P. Singh, B. Roy, S. Jha & S.K. Bhattacharyya**, Microstructure and mechanical properties of as rolled high strength bainitic rail steels, *Materials Science and Technology* Volume 17, 11, 2001 –
- [12] K. Sawley, M. Scholl, The development of bainitic steels for rails, 39th Mechanical Working and Steel Processing Conference USA, 19-22 1997,
- [13] Hiroyasu Yokoyama\*, Shinji Mitao, Sadahiro Yamamoto Yuzuru Kataoka and Toru Sugiyama NKK High Strength Bainitic Steel Rails for Heavy Haul Railways with Superior Damage Resistance TECHNICAL REVIEW No. 84(2001
- [14] Kageyama, H., Ueda, M., and Sugino, K. Process for manufacturing high-strength bainitic steel rails with excellent rolling-contact fatigue resistance. US patent 5 382 307. 1995.
- [15] Masahisa, F., Kazutaka, K., and Sadahiro. Y. High-strength, bainitic steel rail having excellent damage-resistance. US patent 5676772. 1997
- [16] Joseph Kalousek and Eric Magel, ,Perspectives on Metallurgy and Contact Mechanisms National Research Council Canada Stuart Grassie, Consulting Engineer, Glasgow, UK International Heavy Haul Association STS Conference Wheel/Rail Interface June, Moscow, Russia 1999,

# THE EFFECT OF ANNEALING TEMPERATURE AND STEP COOLING ON MECHANICAL PROPERTIES OF RAILWAY STEEL IN MANUFACTURING PROCESSES

## TAVLAMA VE AŞAMALI SOĞUTMANIN DEMİRYOLU RAY ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bilge Demir

\* Karabuk University, Engineering faculty Mech. eng. dept Karabük , Turkey, e-mail: bdemir@karabuk.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada, ticari ray üretimi proses sıcaklığının ve kademeli soğutma işleminin ray mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Esasen ray çelikleri gibi kritik bir malzemenin özelliklerine etkiyen her türlü parametre çok önemlidir. Bu faktörlerinden en önemlilerinden bir tanesi önceki östenit tane boyutudur (PAG). Sıcak haddeleme sırasındaki sıcaklık ve deformasyon kombinasyonu ile sağlanan PAG üretim ve servis şartlarında oluşabilecek hasarlar açısından önemi Ray çelikleri için oldukça fazladır. Bununla birlikte yeterince somut bilgiler mevcut değildir. Bu çalışmanın araştırma içeriği, deneysel çalışmalarda oluşturulan yüksek sıcaklık tavlama ile haddeleme tavlama işlemlerinin benzeri model yapıların oluşturulmasını sağlayan ısı işlemler ve devamında bütün ray çelik numunelerinin karakterizasyonu, yani ısı işlemler, metalografi ve mekanik testlerden oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda, farklı östenitleme sıcaklıklarında tavlamanın ( $A_3$  sıcaklığı üzerinde  $900^{\circ}\text{C}$  - $1200^{\circ}\text{C}$ ) ardından çekme test numuneleri hadde sonrası soğuma şartlarını benzeştirmek için havada ve PAG analizlerinin yapılacağı numuneler suda soğutulmuştur. İlave olarak, PAG numuneleri, önceki-tavlama sırasındaki östenit yapılarının ortaya çıkarılması ve analizi için temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonuçları, östenit tane boyutunun bu çalışmada tercih edilen ısı işlem-kimyasal dağlama kombinasyonu ile sağlıklı bir şekilde ortaya çıkarılabildiğini ve sıcaklığa göre östenit tane boyutunun ve östenit tane boyuna bağlı olarak da çekme özelliklerinin önemli oranda değiştiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ray çelikleri, Isıl İşlemler, Kademeli soğutma, Önceki östenit tane boyutu, ray çeliklerinin üretimi

### Abstract

In this study, the effect of commercial rail production process temperature and step cooling process on rail mechanical properties is investigated. Essentially, any kind of parameter that affects the properties of a critical material such as rail steels is very important. One of the most important of these factors is the austenite grain size (PAG). Owing to the combination of temperature and deformation during hot rolling, the importance of PAG in terms of damage to production and service conditions is quite high for rail steels. However, not enough information is available in literature. The research content of this study consists of heat treatments, which provide the formation of similar model structures for high temperature annealing and rolling annealing processes in experimental studies, followed by characterization of all rail steel samples, ie heat treatment, metallography and mechanical tests. In experimental studies, the samples of annealing at different austenitizing temperatures ( $900^{\circ}\text{C}$  - $1200^{\circ}\text{C}$  above  $A_3$  temperature) and in the air and PAG analyzes to simulate the post-roll cooling conditions were cooled in water. In addition, PAG samples were subjected to tempering to reveal and analyze austenitic structures during prior-annealing. The results of the experimental study show that the austenite grain size can be revealed in a healthy way with the preferred heat treatment-chemical etching combination in this study and that the austenite grain size and the austenite grain size vary significantly according to the temperature

**Keywords:** Rail steel, Heat treatment, Step cooling, Prior austenite Grain size, Manufacturing of rail steel

## 1. Giriş

Geçmişten günümüze İlk Bessemer çelik rayları 1867'de ABD'de ticari olarak piyasaya sürüldüğünden beri, çelik üreticileri demiryolu özelliklerini karşılamak için en yüksek kalitede raylar üretmek için sürekli iyileştirmeler yaptılar. Bu çalışma, günümüzde 400 Brinelden (HB) daha sert olabilen ray üretimlerine yol açan süreçleri ve üretimleri tanıtmayı amaçlamıştır. Metalürjisiler, yaşam döngüsünü uzatmak güvenli bir şekilde tasarlanan rayları geliştirmek için temel prensipleri uygulamayı öğrendi. Perlitli bir mikroyapıya sahip rayların, ağır taşıt uygulamalarında ciddi tekerlek-ray etkileşimi altında en iyi aşınma direncini sağladıkları kanıtlanmıştır. Yumuşak demir (ferrit) fazına gömülmüş olan perlitli mikroyapının sert demir karbür (sementit) fazı, bu özelliğin sebebidir. Bununla birlikte, demirin sertliği ve sünekliği (güvenlik) arasındaki dengeyi korumak için, perlitli lamellar mikroyapı içindeki demir karbür fazının aralıklarının kontrol edilmesi ve hem ferritin hem de fazla sementitin tanecikli ağlarının oluşumunu en aza indirmek çok önemlidir [1-3]. Bütün bunlar için de Metallerin özellikleri kimyasal bileşim, mekanik işlemler ve ısıl işlemlerin bir kombinasyonu olarak ifade edilmektedir. Bu üçlemede etkin ve değişerek etkinliğini gösteren faktörlerin en önemlilerinden bir tanesi sonuç yapısının morfolojisi üzerinde etkin olan önceki östenit tane boyutudur (PAG) [4].

Önceki östenit tane büyüklüğünün (PAGS) doğru belirlenmesi ve hesaplanması, metalürjik çalışmalar ve demir-çelik sanayi sektöründe özellikle **RAY** için büyük önem taşır. Oldukça uzun ve büyük bir kütle olarak üretilen **RAY** için ısıl profil ve östenitten faz dönüşümleri ile gerçekleşen tane boyutu çok önemlidir. Faz dönüşümleri üzerine östenit tane boyutunun etkisinin tespiti ve östenit tane boyutunun doğru olarak tespiti, incelenmesi gereklidir. Burada en dikkat çekici durumlar kalıntı gerilmelerin seyri ve imalat ve performans açısından olabilecek etkileri olarak ifade edilebilir. Bundan mütevellit bahis konusu çeliklerin sıcak haddeleme, doğrultma ve kullanımları sırasında hasarlar söz konusu olabilmektedir. Bu planlanan çalışmaların yapılması söz konusu edilen bu ve benzeri hataların önlenmesi ve bu çerçevedeki şartların geliştirilmesi ve buna ilave olarak mekanik özelliklerin geliştirilmesinin parametrik olarak yapılmasına ihtiyaç vardır. Genel olarak aşağıdaki yöntemler ile PAG belirlenmektedir;

1. PAG'ı ortaya çıkarmak için yaygın olarak kullanılan diğer bir dolaylı yöntem, tane sınırlarında homojen bir şekilde çökeltmiş protektit ferrit veya sementit oluşumunu teşvik etmek için gereken post östenitleme koşullarının ayarlanmasıdır.
2. Ötektit çeliklerinde PAG'yi ortaya çıkarmak için benzer bir teknik kullanılır. Bu durumda, östenit tanecik sınırlarının perlit ile ana hatları çizilmiştir.
3. Oksitleyici atmosfer.

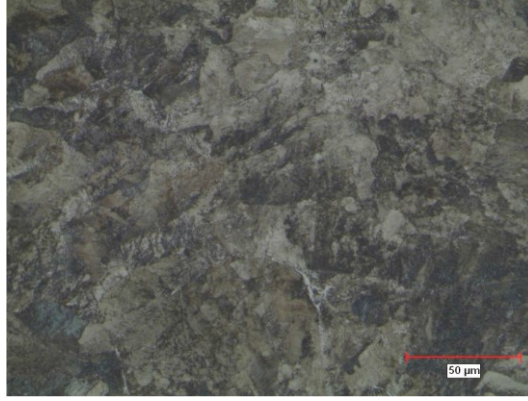
Ayrıca, McQuaid ve Ehn [4-8] tarafından yapılan karbonlaştırma metodu, ötektit sementit ağının çökeltilmesiyle östenit tanecik sınırlarının tanımlanmasından oluşur. Bu ve benzeri metotlar mevcuttur. Bunlarda en elverişli ve kolay olanı belki de suverme devamında temperleme ile önceki östenit tane sınırlarında karbür çökeltilmesidir. Bu çalışmanın araştırma amacı, deneysel çalışmalarda oluşturulan yüksek sıcaklık tavlama ile haddeleme tavlama işlemlerinin benzeri model yapıların oluşturulmasını sağlayan ısıl işlemler ve devamında bütün ray çelik numunelerinin karakterizasyonu, yani ısıl işlemler, metalografi ve mekanik testlerden oluşmaktadır.

## 2. Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada R260 demiryolu rayının en önemli profilini oluşturan mantar kısmından keserek çıkarılan çelik numuneler kullanılmıştır. Bu ticari R260 kalite demiryolu rayının kimyasal kompozisyonu (%ağr.) Çizelge 1.'de verilmiştir. Ayrıca mikroyapı fotoğrafı Şekil 1 de ve mekanik özellikleri Çizelge 2. De verilmiştir. Raydan 30'cm'lik uzunluğunda dilimler çıkartmak ve ısıl işlem sonrası ray diliminin uzunlamasına dik kesitinin ortasından numune çıkartmak için ısı artışına sebep olmayacak şartlarda çalışan şerit testere kesme makinesi kullanılmıştır. Daha sonra 30 cm'lik uzunluğundaki bu dilimler diskaton kesme cihazı ile kesilerek 30x30mm'lik numuneler haline getirilmiştir. Bu 30x30 mm boyutundaki numuneler kaba zımparalama yapıldıktan sonra ısıl işleme tabi tutulmuştur. Östenitleme ısıl işlemleri, Çelikler için Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramında östenitleme bölgesi olarak adlandırılan A3 sıcaklığı üzerinde 900°C-1200°C aralığında ki bu sıcaklıklar aralığı sıcak şekillendirme sıcaklık aralığıdır, yapılmıştır. İki farklı metot uygulanmıştır. Birinci grup numuneler östenitleme neticesinde direkt suda soğutulmuş, ikinci grup ise östenitleme neticesinde 900°C'ye soğutulup beklemenin ardından suda soğutulmuştur. Bu şekilde ray üretim hadde sıcaklığından soğutma temsil edilmeye çalışılmıştır.

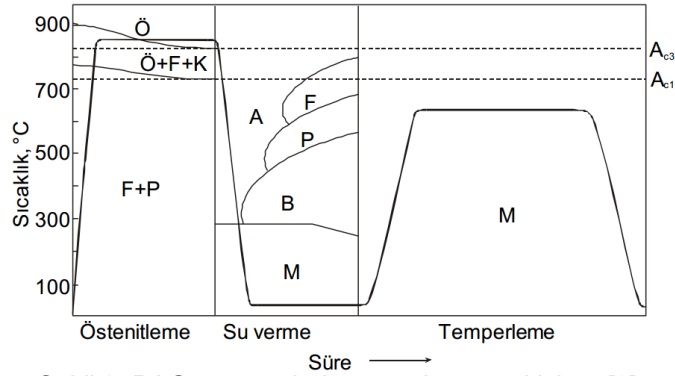
Çizelge 1. R260 kalite demiryolu rayının kimyasal kompozisyonu (%ağr.)

C	Mn	Si	S	P	N	Al
0,72	1,06	0,38	0,008	0,02	53	0,0015
Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Sn
0,65	0,37	0,65	0,0041	0,0044	0,038	0,001

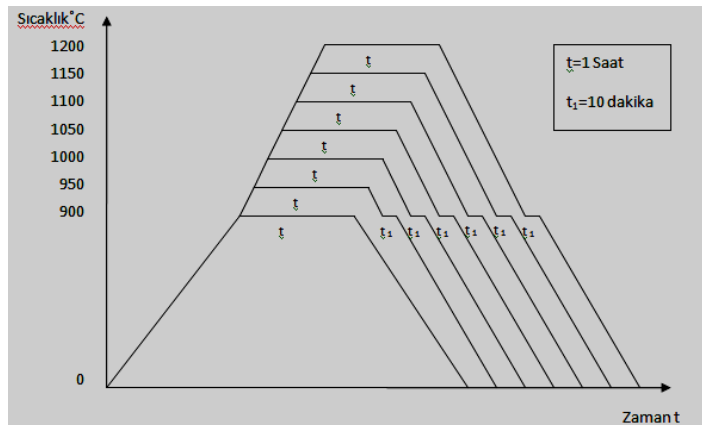


Şekil 1 R260 demiryolu rayının mikroyapısı [9]

PAG numunelerine uygulanan ısıtım işlem Şekil 3 ve Çekme numunelerine Uygulanan ısıtım işlem ise Şekil 4. 'te verilmiştir.



Şekil 3. PAG numunelerine uygulanan ısıtım işlem [9].



Şekil 4. Çekme numunelerine Uygulanan ısıtım işlem.

### 3. Deneysel çalışma sonuçları ve tartışma

Metalurjik yapı-ısıtım işlem elde edilen nicel değerler ile çekme testi neticesinde elde edilen nicelikler Çizelge 2. Detaylı olarak verilmiştir. Bu sonuçlar kademeli ısıtım işlemlerin metalürjik ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Tavlama sıcaklığının artması süneklikte çok az düşme ile dayanım değerlerinde daha fazla etkili olarak önemli bir düşme eğilimi göstermiştir. Literatürde Önceki östenit tane boyutunun (PAG) çeliklerin mekanik özellikler ve diğer özellikler üzerinde etkisi; Mikro-yapı özellikler, Mekanik özellikler, Elektrik ve manyetik özellikler üzerindeki önemli etkisi bulunmaktadır [7,8]. Demiryolu ray çelikleri için önemi çok daha fazladır.

Çizelge 2. Çekme testi ve PAG test sonuçları

Isıtım işlem sıcaklığı	SO mm <sup>2</sup>	LO mm	R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup>	R <sub>m</sub> N	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> mm	A(m) %	Bekleme Süresi (Saat)	Soğutma Şartı	ASTM tane boyutu
900°C	75,54	50	714	84477	1118	55,4	10,8	1	Hava	8
950°C	74,16	50	660	78917	1064	55,6	11,2	1	Hava	7-8
1000°C	73,86	50	640	75093	1017	55,6	11,2	1	Hava	7
1050°C	7493	50	617	74707	997	55,1	10,2	1	Hava	6-7
1100°C	70,84	50	641	69957	988	55,3	10,6	1	Hava	6
1150°C	70,99	50	608	68759	969	55,3	10,6	1	Hava	5-6
1200°C	69,95	50	599	66077	940	55,3	10,6	1	Hava	5

Şekil 3. %0,80 karbonlu bir çelikte perlit oluşumu ve lameller arası mesafenin şematik gösterimi [5]

### 4. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışma ile aşağıdaki önemli yargıların altı çizilmiştir;

1. Östenit tane boyutu metalürjik yapı ve mekanik özellikler üzerinde etkilidir.
2. Tavlama sıcaklığının artması ile dayanım düşerken, süneklikte aşırı bir düşme/artış olmamıştır.
3. PAG kontrol edilebilir ve muhakkak ölçülmesi ve farkındalık olması gereken bir parametredir.

### Teşekkür

Bu çalışma KARDEMİR AŞ katkıları ile yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılması için resmi izin ve desteklerinden dolayı KARDEMİR yönetimine ve gerçekleştirilmesine katkılarından dolayı Kalite kontrol personeli Tuncay Çelebi'nin şahıslarında tüm kalite kontrol yönetici ve çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz. Bu çalışmada desteklerinden dolayı Halit AYMAS'a ayrıca sonsuz teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- [1] A Perspective on the Manufacture of Modern-Day High-Strength Steel Rail, AREMA 2013
- [2] <http://explorepahistory.com/displayimage.php?imgId=1-2-5F9>
- [3] Bilge DEMİR, A Metalurgical Perspective On Rail Steel Development In Turkey And Future, Symposium on Railway System Engineering , ISERSE, 2018 Karabük
- [4] Vander Voort GF. Metallography: principles and practice. New York: McGraw-Hill Book, 1984.pp. 219–23.
- [5] ASM, Metals Handbook, metallography, Vol:8, 8<sup>th</sup> Edition, 1993.
- [6] Zhang L, Guo D.C. A general etchant for revealing prior-austenite grain boundaries in steels. Mater Charact. 30 299–305. 1993.
- [7] Krauss G. Steels: heat treatment and processing principles. Materials Park, OH: ASM International, pp. 188-93, 1988.
- [8] Bilge DEMİR ve Halit AYMAS, Investigation Of The Prior Austenite Grains (PAG) Of The Rail Way Steel, The Second International Iron and Steel Symposium (IISS'15) Karabük University, Iron and Steel Institute, 1-3 April 2015 Karabük, Turkey