



# 2<sup>nd</sup> International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences

**23-25  
September  
2020**

[ieaces.karabuk.edu.tr](http://ieaces.karabuk.edu.tr)  
[ieaces@karabuk.edu.tr](mailto:ieaces@karabuk.edu.tr)

# PROCEEDING BOOK

Editör: Dr. İnan KESKİN



**GÖKSA**  
YAZILIM

# IEACES2020

e-ISBN: 978-605-9554-52-7

The Proceedings of The 2<sup>nd</sup> International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020) September 23-25, 2020, Karabuk University, Karabuk, Turkey.

## Edited by

Dr. İnan KESKİN (Chairman)

## Copyright

© 2020, IEACES2020, Karabuk University  
Karabuk, Turkey  
<https://ieaces.karabuk.edu.tr/#>  
[ieaces@karabuk.edu.tr](mailto:ieaces@karabuk.edu.tr)

The symposium papers to be cited can be referenced by using the following expression:

***The 2<sup>nd</sup> International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)***

This proceeding includes the original papers submitted to IEACES2020. It is accessed in free of charge. All scientific and linguistic responsibilities of the published articles belong to their authors.

All rights of the book belong to Karabük University  
Karabuk University Publications

*The Proceedings of 2nd International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering  
and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)*

Doç. Dr. İnan KESKİN  
Editor

ISBN: 978-605-9554-52-7

All rights of this work are reserved. The opinions and thoughts in the articles published in this work are the opinions of the authors. The language, style and scientific responsibility of the articles in the book belong to the authors.

Karabük 2020

## HONORARY CHAIRMEN / ONURSAL BAŐKAN

Prof. Dr. Refik Polat

Rector of Karabük University

## ORGANISING COMMITTE CHAIRMEN / DÜZENLEME KURULU BAŐKANI

Dr. İnan KESKİN

Karabük University

Dr. Gazanfer ERBAY

Director of Karabük AFAD

## ORGANISING COMMITTE / DÜZENLEME KURULU

Dr. Ayfer ERKEN

Doğuş University

Dr. Emrah DOĞAN

Sakarya University Disaster Management Application and  
Reserch Center

Dr. Haluk AKGÜN

Middle East Technical University

Dr. Ahmet Necati YELGİN

Karabük University

Dr. Tülay EKEMEN KESKİN

Karabük University

Dr. Şenol GÜRSOY

Karabük University

Dr. İlker TEKİN

Karabük University

Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ

Karabük University

Dr. Fatih SAKA

Karabük University

Dr. Ali ATEŐ

Düzce University

Dr. Veysel Harun ŞAHİN

Sakarya University

Bora BALUN

Karabük AFAD

## SCIENTIFIC COMMITTE / BİLİM KURULU

Dr. Abolfazl Nazari GİGLOU

University of Idaho, US

Dr. Abdullah Can ZÜLFİKAR

Gebze Teknik University, Turkey

Dr. Ahmet Necati YELGİN

Karabük University, Turkey

Dr. Ali ATEŐ

Düzce University, Turkey

Dr. Aliakbar GHOLAMPOUR

The University of Melbourne, Australia

Dr. Ali POLAT

AFAD, Turkey

Dr. Alias Abdul RAHMAN

Universiti Teknologi, Malaysia

Dr. Anne DEDERICH

Lund University, Sweden

Dr. Ayfer ERKEN

Doğuş University, Turkey

Dr. Ayşe ÇAĞLAYAN

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Turkey

Dr. Bagya PACKİALAKSHMİ

Sathyabama Institute of Science and Technology, India

Dr. Biswajeet PRADHAN

University of Technology Sydney, Australia

Dr. Cem KIRLANGİÇOĞLU

Sakarya University, Turkey

Dr. Derya DENİZ

Özyegin University, Turkey

Dr. Djillali BENOUAR

University of Bab Ezzouar (USTHB), Algeria

Dr. Emrah DOĞAN

Sakarya University, Turkey

Dr. Erkan ÇELEBİ

Sakarya University, Turkey

Dr. Ertuğrul ESMERAY

Karabük University, Turkey

Dr. Farrokh MAHNAMFAR

Sakarya University, Turkey

Dr. Fatih GÖKTEPE

Bartın University, Turkey

Dr. Fatih SAKA

Karabuk University, Turkey

Dr. Filip BİLJECKÍ	National Singapore University, Australia
Dr. Gonzalo Martinez BERREA	Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico
Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ	Karabuk University, Turkey
Dr. Halil KARADENİZ	Esenyurt University, Turkey
Dr. Hasan ÇETİN	Çukurova University, Turkey
Dr. Hassan RHİNANE	Université Hassan II de Casablanca, Morocco
Dr. Hamid Reza POURGHASEMI	Shiraz University, Iran
Dr. Ihab HİJAZİ	Najah University, Palestine
Dr. İlker KALKAN	Kırıkkale University, Turkey
Dr. İnan KESKİN	Karabuk University, Turkey
Dr. İsmail Rakıp KARAŞ	Karabuk University, Turkey
Dr. Işık YILMAZ	Cumhuriyet University, Turkey
Dr. Ivin Amri MUSLİMAN	Universiti Teknologi, Malaysia
Dr. Jong Han LEE	Inha University, Republic of Korea
Dr. Kalle RAJATIE	Lahti University, Finland (retired)
Dr. Mallikarjuna R. VEERABALLY	Gokaraju Rangaraju Institute of Eng. & Tech., İndia
Dr. Markiv TARAS	Lviv Polytechnic National University, Ukraine
Dr. Mehmet Emin ARSLAN	Düzce University, Turkey
Dr. Mehmet EMİROĞLU	Düzce University, Turkey
Dr. Mehmet İnanç ONUR	Eskişehir Technical University, Turkey
Dr. Mehmet Fatih DÖKER	Sakarya University, Turkey
Dr. Metin HÜSEM	Karadeniz Technical University, Turkey
Dr. Mohammad Manzoor NASERY	Kabul, Afghanistan
Dr. Moneeb GENEDY	University of New Mexico, USA
Dr. Muayad Mohammed KASSIM	Kirkuk University, Iraq
Dr. Muhammet ÇELİK	AFAD, Turkey
Dr. Muhammed Zeynel ÖZTÜRK	Niğde Ömer Halis Demir University, Turkey
Dr. Nazım NERİMAN	University of Ishik, Iraq
Dr. Osman GENÇEL	Bartın University, Turkey
Dr. Osman SÖNMEZ	Sakarya University, Turkey
Dr. Pedro Muñoz VELASCO	Autonomous University of Chile, Chile
Dr. Rahulreddy CHENNAREDDY	University of New Mexico, USA
Dr. Sabahattin AYKAÇ	Gazi University, Turkey)
Dr. Sakari HALMEMEİS	LAMK University, Finland (retired)
Dr. Salvatore SANTUCCIO	University of Camerino, Italy
Dr. Salim T. YOUSIF	University Of Mosul, Iraq
Dr. Serkan SUBAŞI	Düzce University, Turkey
Dr. Simo Hostikka	AALTO University, Finland)
Dr. Simon SCHNABL	University of Ljubljana, Slovenia
Dr. Shivam TRİPATHİ	Purdue University, USAM
Dr. Sohaib EBUJAYYAB	Karabuk University, Turkey
Dr. Şakir ŞAHİN	Süleyman Demirel University, Turkey
Dr. Şenol GÜRSOY	Karabuk University, Turkey
Dr. Şükrü ERSOY	Yıldız Teknik University, Turkey
Dr. Uznir UJANG	Universiti Teknologi, Malaysia
Dr. Tülay EKEMEN KESKİN	Karabuk University, Turkey
Dr. Vincenzo Michele SELLITTO	MSBIOTECH, Italy
Dr. Veysel İŞİK	Ankara University, Turkey
Dr. Wael M. ELSADEK	South Valley University, Egypt
Dr. Yasin DÖNMEZ	Karabuk University, Turkey
Dr. Zehra Şule GARİP	Karabuk University, Turkey
Dr. Züheyr KAMACI	Süleyman DEMİREL University, Turkey

## SECRETARIAT / SEMPOZYUM SEKRETERYASI

Res. Assist. Mehmet Fethi ERTENLİ  
(**Social Media Director & Web Designer**)

Karabuk University, Turkey

Instructor Muhammed TORUN

Karabuk University, Turkey

Res. Assist. Özlem BATTAL ŞAL

Karabuk University, Turkey

Res. Assist. Mehmet Haşim KISA

Karabuk University, Turkey

Res. Assist. Selman KAHRAMAN

Karabuk University, Turkey

Res. Assist. Hatice Betül UMARUSMAN

Karabuk University, Turkey

Res. Assist. Yusuf BAHÇACI

Karabuk University, Turkey

Res. Assist. Mahfuz PEKGÖZ

Karabuk University, Turkey

Hüseyin IRMAK

Karabuk University, Turkey

## PREFACE

*The 2nd International Symposium on Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)'' was held on 23-24-25 September 2020 at Karabük University. IEACES2020 had formed a global platform where engineering applications related to Civil Engineering and Earth Sciences will be discussed with researchers, engineers and decision makers. Symposium was covered the topics of Geotechnical Engineering, Earthquake Engineering, Structural Engineering, Building Materials, Transportation Systems and Engineering, Water Resources Engineering, Engineering Geology, Tectonic and Structural Geology, Seismology, Environmental Engineering, Disaster Reduction and Prevention, Geothermal Energy, Geomorphology, Geochemistry, Mineralogy, Petrology and Volcanology and Urban Planning. In today's world, disasters of different origin are causing major damages where people live. In today's world, disasters of different origin cause great damage to the places where people live and the reason for these is unfortunately due to faulty engineering services. I think that the topics discussed in the symposium are very important in this respect.*

I would like to thank everyone who contributed to the symposium, especially to Karabük University officials.

Assoc. Prof. Dr. İnan KESKİN  
Chair of Symposium  
September 2020

**TABLE OF CONTENT**

			<b>PAGE</b>
<b>COMMİTES</b>			<b>i</b>
<b>PREFACE</b>			<b>iv</b>
<b>TABLE OF CONTENT</b>			<b>v</b>
<b>IEACES2020 ID</b>	<b>AUTHORS</b>	<b>TITLE OF PROCEEDİNG</b>	<b>PAGE</b>
IEACES2020_3	Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Prof.Mehmet Fatih ALTAN, Yunus Emre AYÖZEN	Kentsel Ulaşım Ağı ve Çin Örneğinin İncelenmesi A Review of Urban Transport Network and Chinese Sample	1
IEACES2020_22	Onur ÖZTÜRK, Erkan BOZKURTOğLU	Yol Geçkisi Belirlemede Kullanılan Bazı Program ve Yöntemlerin İncelenmesi Examination of Some Programs and Methods Used in Determining Road Route	11
IEACES2020_4	Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Prof.Mehmet Fatih ALTAN, Yunus Emre AYÖZEN	Türkiye’de Kent ve Ulaşım Prosesi ve Küresel Bir Örnek İncelemesi A Review of Urban and Transport Process In Turkey and A Global Sample	22
IEACES2020_5	Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Prof.Mehmet Fatih ALTAN, Yunus Emre AYÖZEN	Ulaştırma, Kentleşme ve Hindistan Kentlerine Yönelik Bir İnceleme A Review of Transport, Urban and India Cities	31
IEACES2020_24	Oğuz ÖZTÜRK, Eda TURAN	Examination of the Impact of the Covid-19 Outbreak on Sea Freight Transportation Examination of the Impact of the Covid-19 Outbreak on Sea Freight Transportation	40
IEACES2020_41	Özlem BATTAL ŞAL, M. Kürşat ÇUBUK	Sürdürülebilir Kentsel Ulaşımında Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Önemi The Importance of Intelligent Transport Systems in Sustainable Urban Transportation	48
IEACES2020_6	Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Prof.Mehmet Fatih ALTAN, Yunus Emre AYÖZEN	Ulaştırmada Sürdürülebilirlik ve Demiryollarının İncelenmesi A Review of Sustainable Transport and Railways	57
IEACES2020_7	Mehmet Çağrı KIZILTAŞ, Prof.Mehmet Fatih ALTAN, Yunus Emre AYÖZEN	Yüksek Hızlı Demiryollarının Gelişim Süreci ve Mevcut Durumun İncelenmesi A Review of Development Period and Existing Case of High Speed Railways	65
IEACES2020_1	Mehmet Haşim KISA, Özlem BATTAL ŞAL, Mehmet Fethi ERTENLİ, Hatice Betül UMARUSMAN	Esnek Kaplamaların GFRP Donatılı Beton Kaplamalar ile Karşılaştırılması Comparison of Flexible Pavements with GFRP Reinforced Concrete Pavements	73
IEACES2020_23	Onur ÖZTÜRK, Erkan BOZKURTOğLU	Geçki Konusunda Farklı Eğilimler ve Jeolojik Yapının Önemi Different Trends in Transition and Importance of Geological Structure	83



IEACES2020_9	Mehmet Çağrı KIZILTAŞ	Otonom Araçlarda Trafik Akımı ve Veriminin İncelenmesi A Review of Traffic Flow and Efficiency on Autonomous Vehicles	94
IEACES2020_25	Oğuz ÖZTÜRK, Zübeyde ÖZTÜRK Eda TURAN	Deniz Ulaşımı Kaynaklı Hava Kirliliği ve Azaltma Amaçlı Düzenlemeler Sea Transport Air Pollution and Regulations for Mitigation	100
IEACES2020_39	Halil İbrahim YUMRUTAŞ, Şeyda ÇINAR SARISOY	Kullanıcı Gözüyle Altgeçit/Üstgeçit Mukayesesi Underpass/Overpass Comparison From User's Perspective	1008
IEACES2020_17	Furkan Abdurrahman SARI, Hakan GÜLER	Mikro Düzeyli Trafik Simülasyon Programlarının Karşılaştırmalı Analizi Sakarya İli Tunatan Kavşağı Örneği	
IEACES2020_18	Mehmet Hüseyin ÖZKAN, Mehmet İnanç ONUR, Eren BALABAN	Perlit Tozu Katkısı İle Zemin İyileştirme Çalışmaları Soil Improvement Study with Addition of Perlite Powder	126
IEACES2020_31	Selman KAHRAMAN, İnan KESKİN	Kalsiyum Karbit Atığının zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği ve etkisinin kireç ve ucucu kül ile karşılaştırılması Usability and Effect of Calcium Carbide Waste in Soil Improvement Compared with Lime and Fly Ash	132
IEACES2020_2	Ebru AKIŞ	Yoğrulmuş Yüksek Plastisiteli Killerde Pik Kayma Direncinin ve Kilin İndeks Özelliklerinin Rezidüel Kayma Direncinin Üzerindeki Etkisi The Effect of Peak Shear Strength and Index Properties on the Residual Shear Strength of High Plastic Remoulded Clays	142
IEACES2020_29	Selman KAHRAMAN, Ahmet NECİM, İnan KESKİN	Kum ve Kil Miktarının Casagrande ve Koni Batma Yöntemlerinden Elde Edilen Likit Limit Değerine Etkisinin Araştırılması Investigation of the Effect of Sand and Clay Amounts on the Liquid Limit Value Obtained from Casagrande and Fall Cone Methods	149
IEACES2020_21	Sibel BİLİCİ, Öznur KARACA	Evaluation of Liquefaction Potential of Lapseki (Canakkale) Settlement Area Evaluation of Liquefaction Potential of Lapseki (Canakkale) Settlement Area	157
IEACES2020_44	Eylem Özge ATAYŞEN, İnan KESKİN	Su İçeriği Değişiminin Kilinin Şişme Davranışına Etkisi The Effect of Water Content Change on Clay's Swelling Behavior	165
IEACES2020_32	Şeymanur TOPUKSAK, Tülay EKEMEN KESKİN	Yağış Verileri Kullanılarak Bilgisayar Yazılımlarından Elde Edilen Taşkın Debilerinin Karşılaştırılması: Bulak Deresi (Karabük) Örneği Comparison of Flood Discharges Obtained Through Computer Softwares Using Precipitation Data: Example of the Bulak River (Karabuk)	171
IEACES2020_33	Taha ORTAKÇI, Fatih SAKA	Beton ve Koruge Boruların Hidrolik Performanslarının Karşılaştırılması Comparison of Hydraulic Performance of Concrete and Corrugated Pipes	180
IEACES2020_46	Mehmet Fethi ERTENLİ, İlker KALKAN, Alper BÜYÜKKARAGÖZ	Yanal Buruşmalı Burkulmaya Maruz Kalan Çift Simetri Eksenli Çelik Kirişlerde Gövde Buruşmalarının İnelastik Bölgedeki Etkilerinin İncelenmesi Investigation of the Effects of Web Distortions on Inelastic Lateral Distortional Buckling of Doubly-Symmetric Steel I-Beams	190

IEACES2020_12	Asuman Işıl ÇARHOĞLU, Pınar USTA	Çelik Yapıların Deprem Davranışının İncelenmesi Investigation Earthquake Behavior of Steel Structures	198
IEACES2020_19	Umut ÇELİK, Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU	Basınç Etkisi Altındaki Çelik U Profillerin Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'e Göre Tasarımı Design of Steel Channels Subject to Compression Based on Turkish Specification for Design and Construction of Steel Structures	203
IEACES2020_14	Taner UÇAR, Onur MERTER	Energy Modification Factor of Single-Degree-of-Freedom Systems Based on Real Ground Motion Records Energy Modification Factor of Single-Degree-of-Freedom Systems Based on Real Ground Motion Records	213
IEACES2020_11	Hatice Tuğçe AKSAN, Zeki KARACA	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY- 2007) İle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nin Taban Kesme Kuvvetleri Açısından Karşılaştırılması Comparison Between the Turkish Seismic Code (DBYBHY, 2007) and Turkish Building Seismic Code (TBDY-2018) in Terms of Base Shear Forces	222
IEACES2020_26	Turgut ÖZTÜRK, Ahmet YILDIRIM	A Method for Determination of the Dimensions of Seismic Shear-Walls in Buildings According to TNC 2018 A Method for Determination of the Dimensions of Seismic Shear-Walls in Buildings According to TNC 2018	233
IEACES2020_13	Taner UÇAR, Onur MERTER	İkinci Mertebe Etkilerin Akma Dayanımı Azaltma Katsayısına Etkisi Influence of Second-order Effects on Yield Strength Reduction Factor	244
IEACES2020_20	İlhami DEMİR, Burak SİVRİKAYA	Tane Dağılımı Optimize Edilmiş Yüksek Fırın Cürufunun Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi Effect Of Granulated Blast Furnace Slag Having Optimized Particle Size Distribution on Alkali Silica Reaction	264
IEACES2020_10	Hasan Orhun KÖKSAL, Anıl IŞIK	Yüksek Dayanımlı Betonarme Kolonların Sargılı Beton Modelleri Confined Concrete Models of High Strength Concrete RC Columns	255
IEACES2020_15	Selin KARADİREK	Linyit yataklarında NTE'lerin zenginleşmesi: Batı Anadolu Bölgesi, Türkiye Enrichment of REEs in lignite deposits: A case study of Western Anatolian Region, Turkey	270
IEACES2020_16	Neslihan ÜNAL	Trakya-Orta Anadolu Linyitlerinde Skandiyum Scandium in Thrace-Central Anatolian Lignites	278



## Kentsel Ulaşım Ağı ve Çin Örneğinin İncelenmesi

### A Review of Urban Transport Network and Chinese Sample

Mehmet Fatih ALTAN<sup>1</sup>, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>2</sup>, Yunus Emre AYÖZEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Istanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mehmetaltan@aydin.edu.tr*

<sup>2</sup> *Istanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mckiziltas@ticaret.edu.tr*

<sup>3</sup> *DHMI Genel Müdürlüğü, yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr*

**Özet:** Kentleşme ve ulaştırma birbirini etkileyen disiplinlerdir. Kentsel ulaşım ağı ise her iki disiplinin ortak alt kümesini teşkil eder. Bu çalışmada ise ilk olarak bu bağlamda ulaştırma ve kent politikaları ele alınmıştır. Ardından kısmi analiz ile kentsel ağ incelemeleri yapılmış sonrasında ise de ulaşım ile ilişkisi incelenmiş ve Çin örneği üzerinden detaylandırılmıştır. Bu çerçevede ise ilgili bağlantılar verilmiş olup son olarak da sonuçlar paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaşım, kentsel ağ, kısmi analiz

**Abstract:** Urbanization and transport are interacted disciplines. Urban transport network constitute a cooperate subset of these two disciplines. In this paper on this context firstly transport and urban policies are evaluated. Then urban network reviews are done by partial analyse and transport rekations are examined, after these China sample is expressed in detail. In this frame related connections are given and lastly conclusions are shared.

**Keywords:** Transportation, urban network, partial analyse

## 1. Giriş

Ulaştırma politikası ve planlama kararları hemen hemen hayatın bütün aşamalarını etkilemektedir. Bu gibi kararlar birçok zaman, birbiriyle çelişen amaçlar arasında önem ve öncelik sırasına göre tercihi gerektirmektedir. Örneğin, araç seyahat hızlarını arttırmaya yönelik stratejiler, çarpışma risklerini arttırabilir ve yürüyüş standartlarını düşürebilir. Çeşitli emisyon azaltma stratejileri, araç fiyatlarını yükseltebilir yada toplam motorlu araç seyahatini düşürebilir. Otopark arzının arttırılması da konut fiyatlarını ve vergilerini arttırmaktadır. Bu gibi kararların değerlendirilmesi ve sayısallaştırılması için bir çatkının oluşturulması önemlidir. Araç işletim maliyetleri ve seyahat süresi değerleri gibi çeşitli ulaştırma etkileri, üzerinde yeterli çalışma yapıldığından ve büyüklüklerinin tahmini kolay olduğundan, bunlara bağlı değerlendirmeleri de kolaylıkla yapılabilir. Yaya yolu yürüme koşulları ya da sera gazı salımındaki değişim gibi diğer etkilerin sayısallaştırılması daha zordur ve karar alıcılar tarafından çoğu zaman soyut etkiler olarak adlandırılıp somut etkilerden daha önemsiz görülür ve değerlendirmelerden çıkartılır.

Bu kapsamda, geniş bir tercih aralığının değerlendirilmesinde rahat ve uyarlanabilir bir formatta fayda ve maliyet bilgilerinin sağlanmasında daha kapsamlı ulaştırma politika ve planlama analizlerine yoğunlaşılmalıdır. Bu çerçevede değişik ulaştırma türleri için bütün fayda ve maliyet hesaplarının

geliştirilmesi için en uygulanabilir veriler kullanılmalıdır. Yayalar ve bisikletliler için aktif ulaşım sağlık faydaları da hesaba dâhil edilmiştir. Bu kapsamda üç farklı seyahat koşulu için (kentsel alanda pik saatler, kentsel alanda pik dışı saatler ve kırsal alan) 11 farklı ulaşım türünde taşıt-mil ve yolcu-mil bazlı maliyet hesapları bulunmaktadır. Bu şekliyle kurulan analiz çatkısı, ulaşım aktivitelerinin ve planlama seçeneklerinin karşılaştırmalı değerlendirmesini kolaylaştırmaktadır.

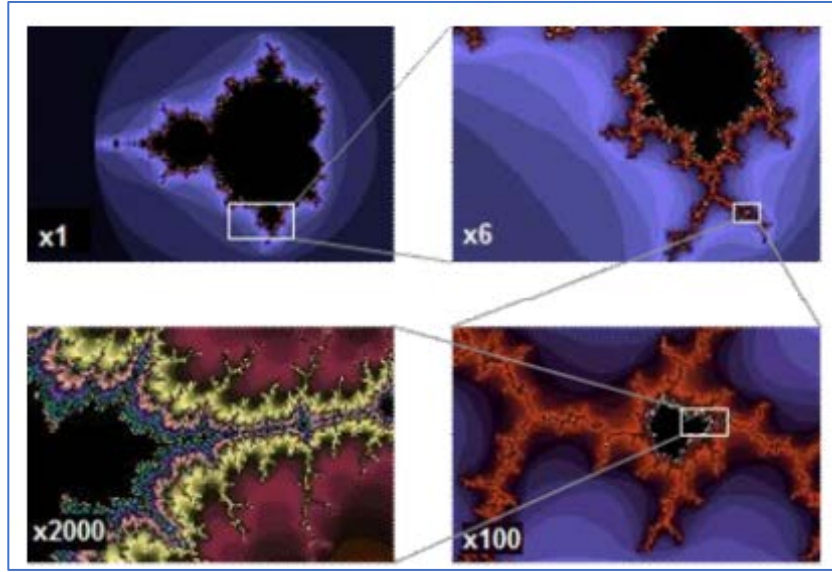
Bir kent oldukça karmaşık bir ulaşım ağına sahiptir. Kent planıcıları için hem mikro ve hem de makro ölçekte değerlendirme oldukça zor olduğundan bu çalışmaların çoğu ampirik olarak yapılmaktadır. Karayolu ağı değerlendirmesinde ilgili çalışmalar kapsamında yeni bir yöntem olarak Oransal Sürekli Kısmi Analiz ortaya konulmaktadır. Önceki araştırmalar kenti bir bütün olarak değerlendirmekte ve kentler arası kısmi analizler gerçekleştirmektedir. Söz konusu çalışmalarda ise kent, oranlı sürekli bir yüzey olarak ele alınmakta ve yüzeyin her bir parçasına kısmi analiz atamaktadır. Bilgisayarın çok uçlu yapısının gücü ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformu sayesinde bu analizler birkaç saat içerisinde tamamlanabilmekte ve planlılara görsel sonuçlar aktarılabilir. Diğer alt sistemlerle kıyas, planlılar ve politika yapıcılara kentlerin mevcut durumlarını sezgisel ve daha açık bir şekilde detaylı görüş imkânı sunmakta ve böylelikle çeşitli kararlar ve tahminleri kolaylıkla alabilmektedirler [1].

## **2. Kısmi Karakteristikler ve Kentler**

Çok sayıda kısmi yaklaşım olup temel kısmi karakteristikler aşağıdaki gibidir:

- Kısmi çözümler pürüzsüz değildir, her yerde kesikli çizgilerle ifade edilmektedir. Bu da bu çözümlerin Öklid geometrisinde bütünüyle ölçülendirilemeyeceği anlamına gelmektedir.
- Kısmi çözümler kendine özgüdür. Kısmi çözümlerlerin parçaları, bütününe benzemekte olup bir ölçekten diğerine benzer düzensizlikleri taşımaktadır. Bu yolla; kısmi çözümler, karakteristik parçalarının hiyerarşisine göre de tanımlanabilmektedir. Kısmi çözümlerde 3 tür kendine benzerlik bulunmaktadır: tam kendine benzerlik, yarı kendine benzerlik ve istatistiksel kendine benzerlik.
- Kısmi çözümler oldukça karmaşıktır. Bu; çizim büyütmelemlerinin git gide daha fazla detayı ortaya çıkaracağı anlamına gelmektedir. Bazı kısmi çözümler ise iterasyonlarla geliştirilmektedir. Şekil 2'de tipik bir kısmi çözümler olan Mandelbrot dizisi gösterilmektedir. Yukarıda belirtilen karakteristikler bu dizi üzerinde açıkça görülebilmektedir.
- Bir kısmi çözümler; kısmi ölçeklerle ölçülebilir. Bu tam sayılı olmayan parametre, bir kısmi çözümlerinin pürüzlülük derecesini sınamak için sıklıkla kullanılmaktadır. Bir sahil şeridi, verili 1 ve 2 noktaları arasındaki kısmi bir ölçüye sahip olabilmektedir. Eğer bir çizgi kadar pürüzsüzse kısmi ölçü 1'e yakınsayacaktır. Eğer her yere kıvrılabiliyor ve bir yüzeyi kaplayabilecek kadar karmaşıksa, 2'ye yakınsayacaktır.

Kısmi çözümler karakteristikleri aynı zamanda bulutlar, dağlar ve ağaçlar gibi doğal nesnelere de bulunabilir. Kısmi analizler; doğadaki bağlantıların ortaya çıkarılması için de şekillendirilebilirler. Bir kent; insan eliyle planlanıp yapılabilir ve aynı zamanda insan etkinlikleri ve doğadan da derin bir şekilde etkilenebilir. Araştırmalar; boru hatları ağı, karayolu ağları, arazi kullanımı ve insan yerleşimleri gibi birçok alt sistemler ile bunların kısmi karakteristiklerini birbiri ile uyumla barındıran bir kenti ortaya çıkarmaktadır.



**Şekil 1.** Mandelbrot Dizisinin 2000 Kez Büyütülmüş Hali (Ortaya Çıkan İnce Detaylar Bütün Diziye Benzemektedir) [2]

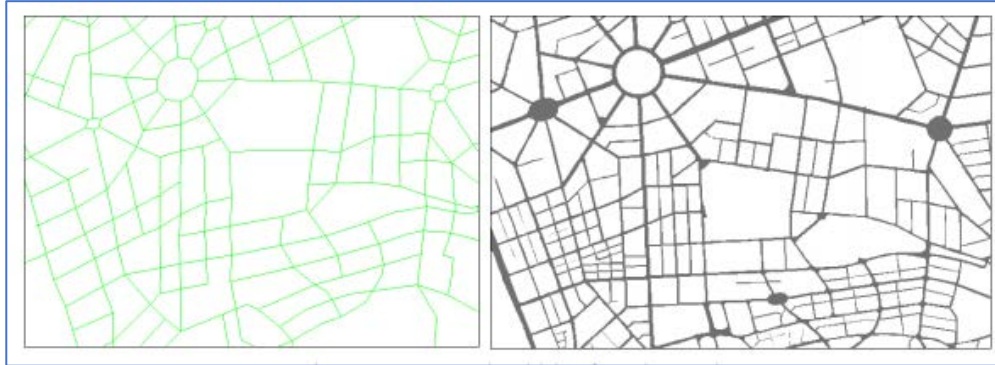
### **2.1. Kentlerin Kısmi Analizleri ve Ulaştırma Ağları**

Bir kent; nüfus, arazi kullanımı ve ulaşırma ağı gibi oldukça karmaşık alt sistemlere sahiptir. Politika yapıcı ya da kent plancısı bir kentte çeşitli plan ya da projeler yürütmek istediğinde, söz konusu alt sistemler arasındaki uyumu dikkate almak durumundadır. Mevcut durumun hem mikro ve hem de makro ölçekte birlikte değerlendirilmesi zor bir iş olup, bugüne kadar bu nevi niceliksel analizlerde etkin bir yöntem bulunamamıştır. Söz konusu işin çoğu ampirik olarak yapılmaktadır. Bir kentteki ulaşırma ağı ve diğer alt sistemler; düzensizlik, sabit ölçek büyüklüğü ve kendine benzerlik gibi kısmi analiz karakteristiklerini göstermektedir. Ayrıca kısmi analiz, değerlendirme ve sunumda etkin bir araç olma yolundadır. Bununla beraber bir kentte kısmi analizin yürütülebilmesi, büyük oranda veri çokluğuna ve bilgisayar gücüne bağlı olup son on yıllarda modern bilgisayar teknolojilerinde kaydedilen gelişme ile kısmi analiz oldukça hızlandırılmış bir hal almaya başlamıştır. Kentler ve ulaşırma ağları; lineer olmayan yapıları ve organik gelişimleri nedeniyle birçok tarafın ilgisini çekmekte ve sınanmaktadır. Bazı araştırmacılar kısmi özellikleri kent gelişimi için kullanmışlardır. Kimileri ise daha büyük bir yersel ölçeğe odaklanmış olup kentsel sistemler ve insan yerleşimlerinin bileşenlerinin kısmi çözümlemeli yapısı üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Kentin mevcut alt sistemleri söz konusu olduğunda; arazi kullanım öğeleri, nüfus dağılımı ya da ulaşırma ağları gibi çeşitli araştırmalar belli bir olgunluğa ulaşmış durumdadır. Kentsel ulaşırma ağlarının kısmi analizi, iki gruba ayrılmış olup bunlar, karayolu sistemlerinin düzenliliği ve kendine benzerliğini ortaya koymayı amaçlamakta olanlar ile kentlerin özellikleri ve işlevleriyle ulaşırma ağlarının kısmi analiz özelliklerine bağlı olarak adım adım ilerleyenler olarak değerlendirilmektedir. Mevcut durum çalışmaları ikinci gruptakilerin mantığını takip etmekte ve insan yerleşimlerinde karayolu sistemlerinin kısmi çözümleme özelliklerini tanımlamaktan öteye geçmektedir.

Kenti tamamıyla bir bütün olarak değerlendiren ya da kentte ayrık kısmi analizler yürüten çalışmalara kıyasla bu tarz çalışmalar, yersel bir görüş açısından bir kentin karayolu ağının değerlendirilmesinde, yeni bir dağılımlı sürekli kısmi analiz geliştirmeye çalışmaktadır. Bu çerçevede de uygulama esnasından teoriden ve metodolojiden çıkartılanlar ele alınmaktadır. Takibinde de bu bağlamda bir mevcut durum değerlendirmesi yapılmaktadır.

Kentlerin karmaşıklığı; politika yapımı ve kent planlamasını oldukça zorlaştırmaktadır. Kentler uzun yıllardan bu yana inşa edilmeye devam etmektedir. Çoğu politika yapıcılar ve kent plancılar; kentler üzerinde çok sayıda proje yürütmektedirler. Aynı zamanda yerleşimler ve doğa da kenti zaman içerisinde değiştirmektedir. Bu özelleşmiş hiyerarşik alt sistemlerle karşılaşıldığında birkaç istisnai analiz dışında alınan kararların çoğu ampirik olmaktadır. Politik yapıcılar ve kent plancıların söz konusu alt sistemler arasındaki uyumu sınamaya ve hesaplamaya ihtiyaçları bulunmaktadır. Maalesef yersel analizlere dayalı mevcut yöntemler, sadece belirli bir ölçekteki çeşitli sonuçları sağlayabilmektedir. Kısmi analizlerde olduğu şekliyle makrodan mikroya bütün bir sistemi değerlendirememektedirler [2].

Bu tarz çalışmalarda, ilk olarak bir karayolu ağı ızgara haritası üzerinde Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) haritaları bazlı olarak yapılandırılır. Karayollarının sisteme aktarımındaki en önemli nokta hassasiyettir. Bu; yol aktarım adımlarının olabildiğince küçük düzenlenmesi gerekliliği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda her bir yolun genişliğinin de hassasiyetle aktarılması gerekmektedir. Izgara haritada her bir yolu genişliği hassasiyetle ölçülememektedir böylelikle gerçek arazi verileri çalışma kapsamında kullanılabilir. Aşağıda Şekil 2’de genişlik ölçüsüz karayolu ağı (solda) ve genişlik ölçülü karayolu ağı (sağda) gösterilmektedir [3]. Görüldüğü üzere Şekil 2’de bahsi edilen genişlik hassasiyet farkı algıyı da etkilemektedir. Izgara tipte hassasiyet düzeyleri yeterli ya da yetersiz ölçeklerde olabilmektedir.



**Şekil 2.** Her Bir Yolda Gerçek Genişlik Kullanımı [3]

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) haritalarında görüntülenen bir kentteki alt sistemler, lineer (doğrusal) özelliktedir. Lineer özelliklere sahip üç tür analiz yöntemi bulunmaktadır: çizgi yürütme yöntemi, uzunluk-alan bağıntısı yöntemi, kutu-sayım yöntemi. Çizgi yürütme yöntemi; farklı adım uzunluklarıyla bir başlangıç noktasından hareketle bir nesne boyunca lineer bir özelliği ölçmektedir. Uzunluk-alan bağıntısı yöntemi bir nesnede bir merkez nokta kabulüyle nesnenin uzunluğu ve kapladığı alan arasında bir bağıntı ortaya çıkarmaktadır. Bu iki yöntem; sürekli olmayan, katı hiyerarşik ve bütünüyle kendine benzer yapıdaki modern kentlerde pratik olmaktan uzaktır. Bir kentteki karmaşık alt sistemler bir kısmi çözümleme karakteristiği olarak istatistiki kendine benzerlik göstermektedir. Bu gibi durumlar için kutu-sayım yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak bir ağ oluşturularak çalışma alanı çevrelenir ve ardından nesnelere örtüşen kutular sayılır.

Konvansiyonel yöntemin yerine niye söz konusu modelin önerildiği de önemli bir husustur. Bunun nedeni, konvansiyonel yöntem kısmi çözümleme ölçekleri ile coğrafi bilgi arasındaki bağıntıyı ortaya çıkaramamaktadır. Doğadaki sistem üniform bir yersel dağılımda olmayabilir. Konvansiyonel yöntem sadece bütün kısmi ölçeklendirmeyi yapmaktadır. Önerilen yöntem ise coğrafi bilgiye dayalı olarak kısmi ölçeklendirmeyi sunabilmektedir. Önerilen yöntem konvansiyonel yöntemi ikili ölçülendirmeyi

yükseltmekte ve bir sistemle ilgili daha fazla bilgi sağlamaktadır. Bir kentin sürekli uzayında kısmi analizin uygulanmasından sonra, kısmi ölçekler arasında bir enterpolasyon (ara değer hesabı) yapılmalıdır. Ardından farklı kısmi ölçeklere göre farklı renkler alan bir renklendirilmiş harita oluşturulabilmektedir. Yüksek kısmi ölçüler, bu alandaki ulaştırma ağının yeterli gelişmişlikte olduğu anlamına gelirken, düşük kısmi ölçülerse bu gelişmişliğin yetersiz olduğunu göstermektedir. İnsan yerleşimi gibi diğer alt sistemlerle kısmi ölçek dağılımı kıyası yapıldığında, ilaveten bazı ilginç sonuçlar daha ortaya çıkabilmektedir. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) platformunun gücüyle, coğrafi bilgiyle ilgili bütün bu sonuçlar plancıya görsel olarak sunulabilir. Politika yapıcı ve kent plancı farklı alanlarda durum tespiti yapabilmekte ve uyum için yüksek kısmi ölçüleri düşürmek ya da düşük kısmi ölçüleri yükseltmekle ilgili çeşitli kaynakların transferini dikkate alıp değerlendirmektedirler.

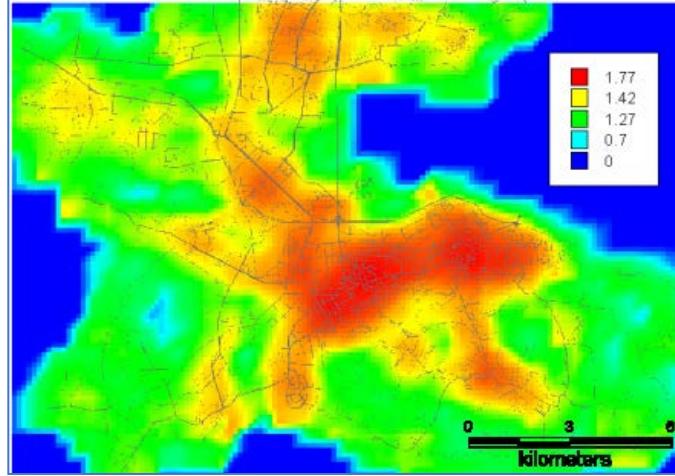
## **2.2. Dalyan Kentinin Profili**

Yapılan çalışmayla Dalyan kentinde Dağılımlı Sürekli Kısmi Analiz uygulanmaya çalışılmıştır. Dalyan; Kuzeydoğu Çin'in, Kuzey Çin'in, Doğu Çin'in denize ve bütün dünyaya açılan bir kapısıdır. Bu kent aynı zamanda önemli bir liman, ticaret, endüstri ve turizm kentidir. Dalyan kenti 12574 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamakta olup bunun 2415 km<sup>2</sup>'lik bölümünü eski kentsel alan oluşturmaktadır. Bu alan dağlar ve tepelerle kaplıyken az bir bölümü düzlük ve ovalıklardan oluşmaktadır. Arazi kuzeyde yüksek ve genişken, güneyde alçak ve dar olup merkezden güneydoğuya doğru Sarıdeniz'e, kuzeybatıya doğru ise Bohai Denizi'ne uzanmaktadır. Kentin yönetimi altında altı bölge, üç işçe düzeyinde kent ve bir ilçe bulunmaktadır. Kent merkezi; Ganjingzi, Zhongshan, Xigangve Shahekou'dan oluşmaktadır. Changhai ilçesi ise yarımadanın doğusundaki adaların tümünden meydana gelmektedir. Kent dâhilinde 74 alt bölge ve 127 kasaba (11'i etnik kasaba) bulunmaktadır. Dalyan; caddelerinde bisikletin az bulunduğu sayılı Çin kentlerinden birisidir ve araç sayısı yakı geçmişte çok ciddi oranda bir artış göstermiştir. Artık pik saatlerde trafik tıkanıklıkları genel bir hale dönüşmüştür. Kent kapsamlı ve verimli bir otobüs ve hafif raylı sistem toplu taşımasına sahiptir [4].

**Tablo 1.** Dalyan Kenti [4]

İdare Şekli	Alt Eyalet Kenti
Kentin Bağlı Olduğu Eyalet	Xigang Eyaleti
Yüzölçümü	13,237 km <sup>2</sup> (12574 km <sup>2</sup> kara)
Kıyı Şeridi	1906 km (adalar hariç)
Nüfus	6,200,000
Karayolu Sayısı	223
Karayolu Ağı Uzunluğu	585.8 km
Karayollarının Toplam Alanı	8.95 km <sup>2</sup>

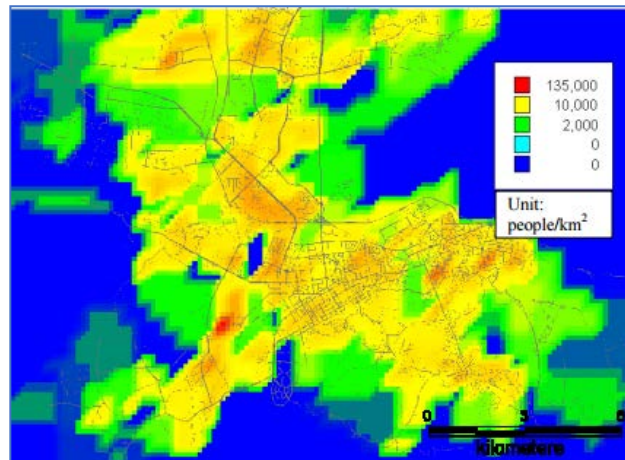
İlk olarak Dalyan kentinin karayolu ağı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) platformunda oluşturulmuştur. Ardından Dalyan kentinin bütün bir yüzölçümünü kaplayan bir ağ oluşturulur. Kutu-sayım yöntemi bu ağda uygulanır. Dalyan kentinin bütün bir ulaştırma ağının kısmi ölçüsü regresyon yöntemiyle elde edilir. Dalyan kentindeki bütün bir ulaştırma ağı kısmi çözümleme özelliğine sahiptir. Bu kısmi ölçek diğer araştırmalarda kullanıldığında, Dalyan kentindeki ulaştırma ağının iyi bir gelişim gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Fakat bu, nüfusa dengeli dağılım için bütünüyle yeterli değildir. Kent plancıları Dalyan kentinde daha fazla altyapı inşası için kısmi analiz yöntemlerini takip edebilirler. Buradaki kritik nokta; nerede ve ne kadar maliyetle sorularında düğümlenmektedir. Şekil 3'te kısmi ölçeklerin dağılımı gösterilmektedir [5].



Şekil 3. Kısmi Ölçeklerin Dağılımı [5]

Şekil 4'deki yüksek değerler bu alanın ulaştırma ağı tarafından iyi hizmetlendirildiğini göstermektedir. Kent plancılar aynı zamanda Şekil 8'deki bu düşük değerlere de özellikle kuzeydoğu ve kuzeybatı alanlarında odaklanabilirler. Bu alanlar meskûn mahal olarak planlanmış fakat bu alanlardaki karayolu ağı yeterince gelişmiş görülmemektedir. Dengeyi temin etmek için, kent plancılar daha fazla altyapı kurabilir ya da insanları yüksek değerli olan bu alanlara yönlendirebilirler. En kolay yol belki insanların hareketini yönlendirmek için düşük değerli alanlarda arazi değerlerini değiştirmeye yönelik politikalar olabilir [5].

Şekil 4'den elde edilebilecek bir diğer bilgi ise belirli yerlerde aynı zaman diliminde kaydedilen en yüksek ve en düşük değerlerdir. Bu; bazı zamanlar en yeterli karayolu ağı ile en yoğun nüfuslanmanın aynı alanda buluşamayabileceği anlamına gelmekte olup bu arazinin kısıtlarıyla ilgili bir durumdur. Eğer arazideki karayolu ağı çok karmaşıksa ve yerin çoğunu kaplıyorsa, yaşamak için yeterli iskân alanı olmadığı anlamına gelmektedir. İskân alanları arazinin çoğunu kapladığında da tersi durum ortaya çıkabilmektedir. Diğer etkinlikler analizlere dâhil edildiğinde benzer sonuçların alınacağını söylemek zor olmayacaktır. Tüketilmesi zor bir kaynağın bulunduğu anlaşılmaktadır. Kent plancılar için arazi kullanımını planlamak ve yoğunlaşmakta olan bir alanda gelecek eğilimlerini öngörmek daha elverişli olacaktır.

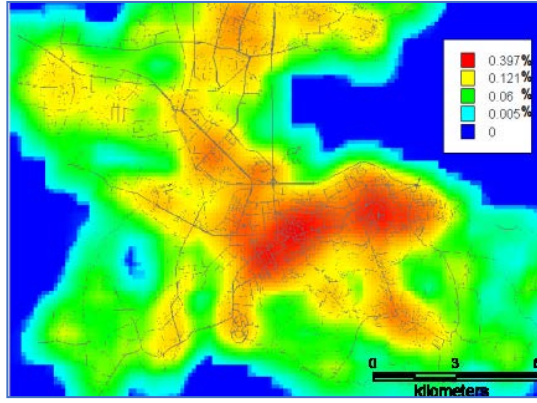


Şekil 4. Kısmi Ölçekten Nüfus Yoğunluğunun Çıkartılıp Birleştirilmesi [5]



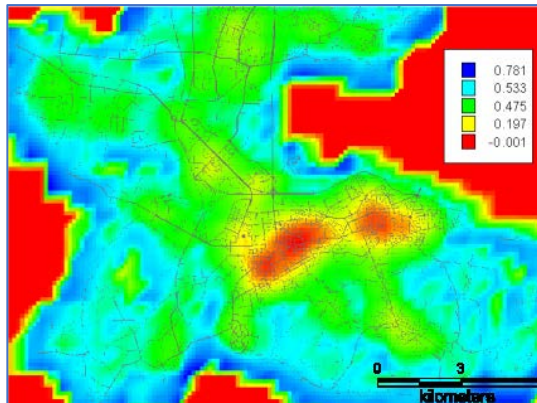
### 2.3. Karayolu Ağ Yoğunluğu ve Kısmi Ölçek Dağılımı Arasındaki Bağını

Kısmi ölçek dağılımını ulaştırma ağı yeterliliğini ortaya koyabilmesine rağmen, diğer göstergeler de bunu yapabilmektedir. Şekil 5 karayolu ağı yoğunluğunun dağılımını göstermektedir [6]. Karayolu ağının kısmi ölçeğiyle yoğunluk dağılımının ayırt edilmesi oldukça zordur. Eş zamanlı olarak artıp azalıyor gibi görünmektedirler. Bu birçok durumda doğrudur ancak değişimleri aynı hızda olmamaktadır. İlgili şekil gösterimlerinde bir yaklaşık üçgen ortaya koymaktadır. Üçgenin alt kenarında ekstrem bir durum olduğu kabulüyle, yol ağları genişliği olmayan teorik yollar olarak düşünülür çünkü hesaplanan alan hemen hemen sıfır düzeyindedir. Sadece topolojik yapısıyla sunulmak istenmesinden dolayı bu yalnızca karayolu ağlarında rastlanan bir durum olmaktadır. Karayolu yoğunluğu yaklaşık sıfırdır fakat kısmi ölçek ise yüksektir. Dahası kent planı bir binayı, daha fazla para kazanma amacının dışında hizmet için geniş değil ama yüksek kısmi ölçekli bir karayolu ağı olarak hesaba katabilir. Yoğunluk ile kısmi ölçek arasındaki bir diğer temel farklılık ise yoğunluğun kümeli bir gösterge olmasına karşın kısmi ölçeğin böyle olmamasıdır. Kısmi ölçek herhangi bir büyüklükte aynıdır ancak yoğunluk için aynı durum söz konusu değildir.



Şekil 5. Karayolu Ağ Yoğunluğu Dağılımı [6]

Şekil 6'da en düşük değer sıfır olup bu hem kısmi ölçeğin ve hem de ağ yoğunluğunun en yüksek değerine ulaştığı anlamına gelmektedir. Söz konusu iki alan sadece, diğerlerinden daha fazla karayolu ağına toplamamakta olup aynı zamanda diğerlerinden daha kapsamlı ve yeterli karayollarına da sahip olmaktadır. Aslında Dalyan kentinin iki iş merkezi bölgesi Şekil 6'da aydınlatılmış olan sağ bölgelerde yer almaktadır. Hatta şekilleri bile çok iyi bir örtüşme göstermektedir. Açık yeşil boyalı alanlar yükselmekte olan potansiyel iş merkezleridir. Bu, bir kentte iş merkezleri oluşturmanın yeni bir yoludur [6].



Şekil 6. Kısmi Ölçekle Toplanmış ve Çıkarılmış Karayolu Ağı [6]

### **3. Bulgular**

Kentsel düzenin temel bir yapısı olarak kentsel ulaştırma ağı kısmi özellikler göstermektedir. Bu tarz çalışmalarla yeni bir yöntem geliştirilmekte olup bu yolla kentin sürekli bir uzayında kısmi analiz uygulanabilmekte ve ulaştırma ağının değerlendirilmesi için kısmi ölçeğin yersel dağılımı elde edilmektedir. Dağılımlı Sürekli Kısmi Analiz, Dalyan kentinde kentsel yapının ortaya konulmasında bir mevcut durum çalışması olarak uygulanmaktadır. Bir kentteki ulaştırma ağının ister tamamı isterse de bir bölümü için kendine benzerlik özelliğinin olduğu sonucuna varılmıştır. Bu; bir kentteki ulaştırma ağı etkinliğinin rolünün daha iyi anlaşılması imkânını sağlamaktadır.

Dalyan kenti sonuçları, daha iyi ulaştırma ağı ve daha gelişmiş ekonomiye bağlı olarak daha yüksek kısmi ölçekler ortaya çıkarması bakımından oldukça ilginçtir. Kısmi ölçek dağılımı kentsel yapının ortaya konmasında önemli bir gösterge olarak uygun olup kentsel istihdam merkezinin belirlenmesinde de ümit verici bir yöntemdir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve kısmi analizin kombinasyonu bir alt sistemin işlevlerinin çalışılmasında birçok yol önermektedir. Kent plancıları ve politik karar alıcıları; konvansiyonel analizlerden daha fazla detay barındıran bilgiyi bu kombinasyondan alabilmekte ve kararlarını daha etkin ve görsele dayalı alabilmektedir. Bundan sonraki araştırmalar; arazi kullanımı, kentsel formun hesaplanması ve ulaştırma ağ tasarımı için dağılımlı sürekli kısmi analize odaklanabilir. Ayrıca; Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) teknolojilerinin kısmi analize daha fazla dâhil edilmesi yoluyla kısmi çözümlemelerin görünebilirlik ve yersel kabiliyetlerinin geliştirilmesi de hedeflenmektedir.

### **4. Değerlendirme**

Planlama ve alınan kararların etkileri ulaştırma üzerinden ölçülebilmektedir. Ulaştırma; seyahat mesafesi ve hızı ile ölçülen, insanların ve eşyaların hareketi olarak tanımlandığından, sıklıkla mobilite (hareketlilik) ile eş anlamlı kullanılmaktadır. Fakat hareket nadiren kendiliğinden bir bitişe sahiptir. Eğlence-dinlence seyahatleri genellikle bir varış noktansa sahiptir. Çoğu ulaştırma faaliyetinin nihai hedefi erişilebilirliktir, bu da talep edilen mallara, hizmetlere, aktiviteler ve varış noktalarına ulaşabilme kabiliyetidir [6].

Planlamacılar sıklıkla ulaştırma sistem performansını taşıt trafik koşulları (ortalama taşıt hızı, otoyol hizmet düzeyi, tıkanıklık kaynaklı gecikme) bazlı olarak ölçmektedirler. Bu da planlama kararlarını otomobil odaklı seyahate yönlendirmektedir. Örneğin, daha geniş yollar, daha yüksek trafik hızları ve daha geniş otopark tesisleri olarak zikredilebilir. Fakat diğer taraftan arazi kullanımlarındaki yaya yolu, bisiklet yolu ve toplu taşıma paylarını ise azaltma eğilimindedir. Eğer motorlu taşıt sürücüsüne dair faydalar ölçülüp de diğer ulaştırma türlerine olan zararları ölçülmez ise ulaştırma planlaması kararları diğer ulaştırma türlerinden ziyade otomobil odaklı bir yaklaşımla alınacaktır.

Ulaşım problemlerinin çözümünde genel yaklaşım olan yol kapasitesinin artırılmasında, yeni yolların inşa edilmesinden ziyade mevcut ulaşım sistemlerinin daha verimli ve etkin bir şekilde kullanılması yönteminin tercih edilmesi kentin geleceği için daha önem arz etmektedir. Verimliliği artırma çalışmaları ulaşım mühendisliğinde kısa vadeli uygulamalar içerisine girmektedir. Yerel bir toplu taşıma sisteminin kurulduğunda; gerekli olan ulaştırma kapasiteleri ana faktördür. Gerçekçi koşullar altında; belediye otobüsleri bir yönde ve 1 saatte 1500 ila 3500 yolcu taşımaktadır. Tramvaylar; daha geniş araçlara sahiptirler ve bir yönde 1 saatte 10000' e varan kapasitede yolcu taşıyabilmektedir. Tramvayların modern bir çeşidi olan hafif raylı sistemler bu kapasitenin iki katına kadar

çıkabilmektedirler. Yüksek frekanslarda işletilen yüksek performanslı metrolar bir saatte 60.000 insan taşıyabilme kapasitelerine ulaşabilmektedir. Bununla beraber; havaraylarda saatlik kapasite 5000-8000 bandındadır ve bu; otobüslerle tramvayların performansının arasına düşen bir aralığı gösterir. Otobüsler karayolu üzerinde işletilir ayrıca güzergâh ve istasyon seçiminde daha esnek davranılabilir. Benzer bir durum tramvaylar içinde söz konusudur: onlarda karayolu üzerinde seyredeler fakat rayların bir sonucu olarak; güzergâhları üzerinde esnek hareket kabiliyetinde değildirler. Her iki işletimde; kendi kulvarını bir başka mevcut cadde trafiği ile paylaşma durumunda kalmadığı takdirde, daha yüksek performans gösterirler. Burada bir başka noktada; 1987'den günümüze, nüfus artışı ve Gayri Safi Milli Hasıla'daki (GSMH) artışa paralel, genel olarak toplu taşıma filolarının yeterli ve gerekli artışı gerçekleştirdiği görülebilir. Buradan hareketle; toplu taşımanın verimliliği ve işlerliğinin artırılmasında aciliyetli ihtiyacın filo temininde ziyade entegrasyon olduğu ifade edilebilir [7].

## **Sonuçlar**

Ülkemizdeki (özellikle İstanbul) otomobil sahipliği oranları hızla üst seviyelere ulaşmış olup halen, kapitalist sistemin başkentleri konumunda olan kimi Batılı şehirlerin net bir şekilde gerisindedir. Ancak; kapitalist sistem içerisinde var olan ve kendini tanımlayan bu şehirlerin, hali hazırda kendi iç dengeleri (üretim-tüketim) üzerine kurulu bir yapıları vardır. Dolayısıyla, her geçen gün küresel sistem içerisindeki yerini tahkim eden ülkemiz ve bölgemiz şehirlerinde, bunun yan etkilerinin çok daha derinlikli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Buradan hareketle; trafik tıkanıklığı ve tıkanıklık kaynaklı sorunların en aza indirilmesinde teknik, politik karar ve çözümlerin yanı sıra, toplumun radikal bir şekilde değişen tüketim kültürü alışkanlıklarının yönetimi gerekmektedir. Ayrıca; ülkemizde gerek ulaştırma alanında ve gerekse de diğer alanlarda ivmelenen 'yerli üretim' in daha da güçlendirilmesi ve verimli bir yapıya kavuşturulması gerekmektedir. Burada da AR-GE faaliyetleri, akademi-piyasa entegrasyonu, kamu-özel sektör ortaklaşmaları ve teori-pratik entegrasyonu öne çıkmaktadır.

Ulaştırma sistemleri arası dengeli modal dağılım ve intermodal entegrasyon; bütün ulaştırma argümanlarından maksimum düzeyde faydayı, üst düzey hizmet parametrelerini, erişilebilirliği had safhada desteklemektedir ki; bütün bunlar doğru bir şehir planlama sürecinin sebebi ve sonucudur. Ve dolayısıyla kentsel dönüşümün doğru uygulanabilirliğinin de 'anahtar' konularıdır. Daha öncede belirttiğimiz üzere; kentsel dönüşüm bir prosesi yani süreci ifade eder ki; buda entegrist bir bakış açısı gerektirir. Nasıl ki ulaştırma sisteminde modal entegrasyonu ön plana çıkarıyorsak aynı şekilde kentsel dönüşümde kentte 'eski ile yeni' arasında bir uyum(insicam: harmoni) oluşturmayı hedefler ki bu da ancak entegrist bir yaklaşım ile söz konusu olur. Bu süreçte; mevcut yapı içerisindeki sorunlu alanların (mahallelerin) tamamıyla yıkılması yerine bütüncül bir bakış açısıyla bu mahallelerin mevcut sorunlarını kendi iç dinamiklerini harekete geçirerek ıslahı yoluna gidilmesi tercih edilmelidir. Buda; 'bütüncül, katılımcı, yönetişimci bir süreci ifade eder. Hele ki İstanbul özelinde bu; daha da stratejik ve öncül bir hal alır. Mevcut organik kültürel-sosyal-ekonomik-şehirselsel doku; kendi iç dinamiklerinin hareketi geçirilmesi ve dolayısıyla tabir yerindeyse kendi cazibesıyla ve bunun iyi yönlendirilmesi-yönetilmesi ile kendi entegrasyonunu çözer ve dönüşümünü tamamlar hale getirilmelidir. Burada; rant odaklı bakışı önü tamamen alınmalı hizmet odaklı perspektif, bütünüyle öncelenmelidir. Zira; Avrupa'da Prag, Milano, Paris vb. şehirlerin genel görünümünden okumalar yaptığımız takdirde, önümüze tarihi mahalleri (dokusu) ile Modern Yapıları; görsel-fiziksel-toplumsal vb. her anlamda entegre etmiş, sentetik değil 'organik' bir yapıya dönüştürmüş bir tecrübe ile karşılaşmaktayız. Aksi durum; İstanbul özelinde ve ülkemiz genelinde ekonomik mağduriyetler, sosyal problemler, kültürel kopukluklar, sosyal adaletsizlik ve toplumsal iletişimsizlik gibi maliyetleri önümüze çıkartacaktır [7].



## **KAYNAKÇA**

- [1] Takagi R. 2005. High speed railways: the last 10 years, Japan Railway and Transport Review, 40, 4-7.
- [2] Ebeling K. 2005. High-speed railways in Germany, Japan Railway and Transport Review, 40, 36-45
- [3] Kızıldaş M. 2018. Küresel Örnekleri ile Toplu Ulaştırma, Transist 2018, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım.
- [4] Kızıldaş M. 2015. Traffic Safety and Railway Applications, Transportation World Newspaper.
- [5] Nijkamp P. 2009. Regional development as self-organized converging growth, In: Kochendörfer-Lucius, G., Pleskovic, B. (Eds.), Spatial Disparities and Development. The World Bank, Washington DC, pp. 265–281.
- [6] Amendo C., Hamm P., Kelly J., Maerz L., Brunette K., Scudato M., Finley G., Greene L. 2016. Autonomous Vehicles-Considerations for Personal and Commercial Lines Insurers. Munich Re.
- [7] 10. Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu, 2012. Ankara



## Yol Geçkisi Belirlemede Kullanılan Bazı Program ve Yöntemlerin İncelenmesi Examination of Some Programs and Methods Used in Determining Road Route

Onur ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Erkan BOZKURTOĞLU<sup>2</sup>

*Onur Öztürk, İTÜ FBE, Maslak 34467 Sarıyer/İstanbul, 533 761 64 34, onur.ozturk@ibb.gov.tr  
Erkan Bozkurtoğlu, İTÜ Maden Fakültesi, Maslak 34467 Sarıyer/İstanbul, 533 225 31 88, erkan@itu.edu.tr*

**Özet:** Yol güzergahının doğru beirlenmesi hem inşa hem da işletme safhalarını etkiler. Karayolu, demiryolu, boru hatları gibi türler için doğru ve sağlıklı geçki belirlemek oldukça önemlidir. Alışlagelen yöntem kazı ve dolgu işlemlerini minimize eden sıfır poligonu çalışması yapmaya, yani sıfır çizgilerinden yararlanılarak geçki belirlemeye dayanır. Günümüzde geçki belirlemeye yarayan farklı bilgisayar programları kullanılmaktadır. Çalışmada bunlara ilişkin bir araştırma yapıldıktan sonra, geçki seçenekleri arasından en uygun olanını belirlemek için farklı yaklaşımlar üzerinde durulmaktadır. Geçki seçenekleri arasından uygununu belirlemeye yarayan klasik değerlendirmenin dışında, çok kriterli karar verme yöntemleri de kısaca verilmektedir.

**Keywords:** Yol geçkisi belirleme, karayolu, demiryolu

**Abstract :** The correct identification of the route affects both the construction and operation phases. It is very important to determine the correct and healthy transition for types such as roads, railways and pipelines. The conventional method is based on zero polygon work that minimizes excavation and filling processes, that is, determining the pass using zero lines. Today, different computer programs are used to determine the transition. In the study, after a research on them is made, different approaches are emphasized to determine the most appropriate transition options. In addition to the classical evaluation, which is used to determine the appropriate transition options, multi-criteria decision making methods are also given briefly.

**Keywords:** Determining Road Route, road, railway

### 1. Giriş

Yol geçkisine karar vermek ve geçeceği koridoru doğru şekilde belirlemek birçok parametreye bağlıdır. Talebi ve verimliliği fazla olan yollar oluşturmak oldukça önemlidir. Yol geçkilerine karar verirken başlangıç-son noktalarını en kısa şekilde en az mühendislik yapısıyla bağlayan yani inşa maliyeti düşük olan yolu belirlemek önemlidir. Yolların projelendirilmesi ve uygun geçkinin belirlenmesi çalışmaları birçok aşamadan ve etütten oluşur. Bu etütlerin sağlıklı gerçekleştirilmesi için büroda ve arazide detaylı araştırma ve çalışmalar yapmak gerekir.

Yol projesini plan ve boy kesit olarak tanımlamak ve seçeneklerden en uygun olanını seçmek genelde izlenen yoldur. Bunun için geçki araştırması yapılırken tesviye eğrili haritadan yararlanarak ve jeolojik haritalar dikkate alınarak belirlenen noktalar arasından yolun geçeceği geçkinin yaklaşık olarak belirlenmesi gerekir.

Geçki yatay geometrisi 1/5.000 ölçekli harita üzerinde geçki düşey geometrisi 1/5.000-1/500 ölçekli boy kesit üzerinde tasarımılanır. Ayrıca toprak hacmi ön hesabını yapmak için karayolunda uygun aralıklarla en kesitler çıkarılır. Sanat yapısı yerleşimlerinde, yüksek yarma ve dolgu bölgelerinde toprak kayması olan veya riski bulunan bölgelerde en kesitler sıklaştırılır.

Boy kesit ve en kesitlerin çıkarılmasında 1/5.000'lik haritaların yükseklik bilgilerinden yararlanılır ve şu etütler yapılır;

- Ön jeolojik ve geoteknik etüt,
- Hidrolojik ve hidroluk etüt,
- Mevcut ve planlanan diğer tesislerin incelenmesi,
- Çevresel etki değerlendirmesi,
- Sanat yapılarının belirlenmesi,
- Trafik etüdü,
- Malzeme ocaklarının belirlenmesi,
- Yapım ve işletme maliyetinin hesabı.

## **2. Klasik Geçki Araştırması ve Aşamaları**

Bütün bu işlemler her geçki seçeneği için “avan projeyi” oluşturur. Bunlar hazırlandıktan sonra geçki seçenekleri arasında ekonomik karşılaştırma yapılır. Yatırımın karşılaştırılmasında kullanılan ekonomik analiz yöntemlerinin en yaygını fayda/maliyet oranı yöntemidir. Ekonomik karşılaştırma ile birlikte geçki seçeneklerinin diğer özellikleri de dikkate alınarak en uygun geçki belirlenir.

Arazi ve büroda yapılan detaylı incelemeler sonunda en uygun geçkide de bazı değişikliklerin yapılması söz konusu olabilir. Bu değişiklikler yapıldıktan sonra kavşak, istasyon, köprü, viyadük vd. sanat yapılarının ön projeleri; peyzaj ve aydınlatma projeleri ile istenen diğer bilgiler de eklenerek “en uygun geçkinin ön projesi” hazırlanmış olur [1-3]. Ön etütün üçüncü aşamasında en uygun geçki arazide işaretlenir, belirli aralıklarla geçki noktalarının kazık çakılarak araziye aplikasyonu yapılır. Uygulama projesi inşa edilecek yolun tasarım halindeki modelidir. Bu modelde eksik ve birbiri ile çelişen bilgi bulunmamalıdır. Bu aşamada yapılacak işlemler;

Ön etüt sonunda 1/5.000 ölçekli harita üzerinde kabul edilmiş olan ve en uygun geçkiyi yaklaşık ortasına alan genişliği karayolunda 200-400 m otoyolda 800-1.000 m olan arazi şeridinin 1/2.000 ya da 1/1.000 ölçekli şeritsel haritası üretilir. Ayrıca kavşak, istasyon, tünel, köprü vd. sanat yapılarının konuşlanacağı bölgelerin 1/500 ölçekli kodlu planları hazırlanır.

Onaylanmış olan en uygun geçki dikkate alınarak 1/1.000-1/2.000 ölçekli harita üzerinde geçki yatay geometrisi ayrıntılı olarak tekrar tasarımılanır.

Harita yükseklik bilgilerinden yararlanılarak tasarımılanmış olan yatay geometri boyunca boy kesit ve yatay geometriye dik doğrultuda genellikle 20m aralıklarla en kesitler hazırlanır. Boy kesit altlığı üzerinde geçki düşey geometrisi tasarımılanır ve bu geometri en kesitlere aktarılır. Buradan toprak işi hesaplanır.

İkinci ve üçüncü adımlarda oluşturulan yol geometrisinin gerekli görülen bölümleri birkaç kez değiştirilerek en uygun geometriye ulaşılır. Bu şekilde oluşan geçki yatay geometrisi yetkili kurumca onaylandığında kesinleşir.

Onaylanan yatay geometrinin ana noktaları ile genellikle 20m aralıklı ara noktaları araziye uygulanır. Bu noktaların siyah kotları arazide yapılan Nivelman ölçmeleri ile belirlenir (boy kesit). Ayrıca uygulanan her noktadan arazide yapılan Nivelman ölçmeleri ile geçkiye dik doğrultuda en kesitler çıkarılır. Tasarımlanan yol düşey geometrisi boy kesit ve en kesitlere aktarılır. Düşey geometrinin gerekli görülen yerlerinde küçük düzeltmeler yapılabilir. Kübaj tablosu yapıp (toprak hacmi) hesaplanarak Brückner Diyagramı hazırlanır. Toprak dengeleme amaçlı ortalama taşıma uzaklıkları belirlenir. Geçki boyunca ve geçkiye dik doğrultuda gerekli görülen sıklıkta ve derinlikte sondaj yapılır (geoteknik etüt).

### **2.1. Geoteknik raporda olması gerekenler**

- Jeolojik yapıyı gösteren boy kesit ve en kesitler,
- Zemin taşıma güçleri ve şev stabilitesine ilişkin bilgiler,
- Toprak kayması olasılığı bulunan bölgeler,
- Yeraltı suyuyla ilişkin bilgiler,
- Sanat yapılarının konuşlanacağı zeminlere ait bilgiler,
- İnşaatla kullanılacak kum, çakıl, taş, su vd. malzeme ocaklarının yerleri ve verimleri.

Bu bilgiler kazılardan çıkacak malzemenin dolgularda kullanılıp kullanılmayacağını, üstyapı kalınlığını, şev stabilitesine bağlı olarak maksimum dolgu yüksekliğini, dolgu ve yarma şevlerinin eğimini, yeraltı suyu drenajını vd. kararlaştırmada kullanılır.

- Yüzey sularının yola zarar vermesini önleyecek köprü, menfez vd. sanat yapılarının projelendirilmesinde ve drenaj projelerinde kullanılmak üzere ayrıntılı hidrolik ve hidrolojik etüt yapılarak istenen raporlar hazırlanır,
- Yeraltı ve yüzey sularına ilişkin drenaj uygulama projeleri tamamlanır,
- Menfez, köprü, viyadük, tünel, kavşak, istasyon, istinat duvarı vd. sanat yapılarının uygulama projeleri yapılır,
- Trafik işaretleri, sinyalizasyon, aydınlatma, peyzaj, tel çit korkuluk vd. uygulama projeleri hazırlanır.
- Kamulaştırma planları ve listeleri hazırlanır,
- Tüm projeler boyutlandırılır (metraj) ve kuruşlandırılır (maliyet),
- Sonra inşaat aşamasına geçilir.

Bakım onarım maliyetinin düşük olması için yol altyapısı ve üstyapısının tekniğine uygun ve dayanıklı malzemeden oluşturulmasında uzun vadede yarar vardır.

### **2.2. Geçki belirlerken dikkat edilmesi gereken önemli hususlar**

Karayolu geçki araştırmasında proje hızına bağlı olarak belirlenen, maksimum eğim, minimum kurp (kurba) yarıçapı, maksimum dever, birleştirme eğrisi uzunluğu gibi “sınırlayıcı ve zorlayıcı geometrik standartların” daha az uygulanabilmesi ve bunların yol kalitesini arttıracak şekilde olması önemlidir. Kurp yarıçapı büyüyünce, eğim azalınca, dever değeri ihtiyacı azalıp birleştirme eğrisi boyu artınca konfor ve yol kalitesi de artar.

Bu değerlerin yanı sıra bölgenin zemin yapısının karakteristik özellikleri de yol üzerinde etkili olmaktadır. Bu özellikler topografik yapı, jeolojik ve geoteknik özelliklerdir. Bu özelliklerin oluşturacağı etkiler karayolu güzergâhının en uygun biçimde belirlenebilmesi için geometrik standartlarla birlikte ele alınmalıdır. Bu özelliklerden topografik yapının etkisi daha çok dolgu yarma oranlarını ve sanat yapılarını kapsadığından dolayı projeyi maliyet açısından doğrudan etkiler. Topografik yapı fazla dalgalı ise bölgedeki dolgu-yarma oranını ve sanat yapısı sayılarını ve uzunluğunu artırması proje maliyetini yükseltmekte aksi durumda ise düşürmektedir.

Güzergâhın geçtiği bölgenin zemin ve jeolojik özellikleri de yol geçkisine uygun ise maliyetler düşecek değilse önlem almak gerekecek ve maliyetler yükselecektir. Bir mühendislik yapısına karar verilirken maliyetlerin mutlaka dikkate alınması ve çok özel bir zorunluluk yoksa uygun maliyetli olanın seçilmesi gerekir. Ancak sağlam altyapı uzun vadede işletme maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır. Bu nedenle altyapı açısından uygun olan geçkiye seçimde öncelik vermek önemlidir.

### **3. Geçki Belirlemeye İlişkin Yöntem ve Programlar**

Burada önce yaygın teknikle (sıfır çizgisi oluşturma) sonra farklı tekniklerle yapılan geçki belirleme şekilleri üzerinde durulacaktır.

#### **3.1. Sıfır Çizgisine Göre Geçki Belirleme**

Klasik geçki araştırması için tesviye (eşyüksekti) eğrili haritadan yararlanılarak mutlaka alternatif seçenekler hazırlanır. İki noktayı birbirine bağlayacak geçki sayısı pek çok gibi görünse de gerçekte başta maksimum eğim olmak üzere çeşitli engel ve sınırlamalar sebebiyle bunların sayısı fazla olmaz. Geçki araştırılırken yaygın kullanılan 'sıfır çizgisi' (hattı)nde izlenen yol belirlenen iki nokta arasında belli bir eğimle gidecek yolun tespitidir. Yani belirli bir eğimle belirlenen noktaların arazi üzerinde hiçbir işlem yapılmadan yerlerinin belirlenmesidir. Aşağıda geçki araştırmasındaki adımlar maddeler halinde verilmektedir;

- Geçki araştırması yapılacak sahanın jeolojik ve morfolojik haritalarının sağlanması,
- Geçkinin 'Sıfır Çizgisi'nin çizilmesi, eğimin, siyah çizginin ve siyah kotların belirlenmesi,
- Siyah çizgisi belirlenen geçkide kurpların yerleştirilmesi,
- Kurba hesaplarının yapılıp, karakteristiklerinin bulunması,
- Siyah hattı belirlenmiş geçkide 25m arayla kazık çakılacak noktaların tespiti,
- Siyah kotlara göre güzergâhın boy kesitinin çizilmesi,
- Boy kesit üzerinde kırmızı çizginin belirlenerek kırmızı kotların bulunması,
- Boy kesiti tamamlanmış olan yolun bütün gerekli noktalarından en kesitlerin çıkarılıp yarma ve dolgu alanları hesaplarının yapılması,
- Alanlar diyagramının çizilmesi ve geçit yerlerinin tespiti,
- Hacimler tablosunun (kübj cetveli) yapılıp toplam kazı ve dolgu hacminin belirlenmesi,
- Hacimler diyagramının çizilmesi, 'Brückner Yöntemine' göre toprak dağıtımının belirlenmesi,
- Toprak dağıtımı için gerekli araç sayılarının belirlenmesi ve iş programının hazırlanması,
- Pafta üzerine yolun çizilmesi ve kamulaştırma sahasının belirtilmesi.



Ekonomik değerlendirme çalışması seçenekler arasında ekonomik yönden en uygun olanını bulmak için yapılan çalışmadır. Eleme sonucunda geriye kalan seçenek için daha ayrıntılı çalışma yapılmalıdır. Yapılan ayrıntılı çalışmada şu bilgilere yer verilir [1-4];

- Geçkinin yatay ve düşey geometrisi,
- Sanat yapılarının yerleri ve yaklaşık boyları,
- Geçki koridoru boyunca zeminin jeolojik ve geoteknik yapısı,
- Yeraltı ve yüzey sularının mevsimlere göre durumu, debileri ve drenaj olanakları,
- Malzeme ocaklarının yerleri ve verimleri,
- Geçki koridoru boyunca tarım arazilerinin durumu, geçkinin bu araziler üzerindeki etkileri,
- Yaklaşık kamulaştırma durumu.

Geçki belirleme çalışması öncelikle bir ekonomik karşılaştırma gibi görünse de gerçekte pek çok değişkene bağlı olarak yapılan bir optimizasyon çalışmasıdır. Diğer bir ifadeyle geçki araştırmasında dikkate alınması gereken çok sayıda farklı etken vardır ve geçkinin yukarıda sıralanan şartlardan hepsini aynı anda iyi şekilde sağlaması zor olup önemli olan bu şartları içeren mevcutlardan en uygununu bulmaktır. Çalışma sonunda elde kalan her seçenek için bir rapor hazırlanır. Hazırlanan raporlarda şu bilgilere yer verilir [5-6]:

- Bölgenin topografik durumu,
- Geçki boyunca jeolojik oluşum, geoteknik yapı ve heyelan durumu,
- Yeraltı ve yüzeysel suların durumu ile drenaj imkanları,
- Yolda kullanılması muhtemel malzeme ocaklarının durumu,
- Muhtemel sanat yapılarının yerleri, cinsleri ve yaklaşık boyutları,
- Geçkinin toplam uzunluğu,
- Kamulaştırma durumu.

### **3.1.2. Kesin etütte zemin araştırmaları**

Ön etüt sonunda amaca uygun görülen geçkilerin daha ayrıntılı incelenmesi ile etüt aşaması oluşur. Bu aşamada genel olarak topografik etüt ve zemin etütleri yapılır. 1/25.000 ölçekli haritalarla uygulama projesi ve geçkinin yerinin belirlenmesi için yeterli hassasiyet yoktur. İnceleme sonunda elde edilen geçki seçeneklerine ait daha büyük ölçekte topografik haritaların üretilmesi gereklidir.

Kesin etüt aşamasında ise ön inceleme sonucunda seçilen farklı alternatiflerin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi hedeflenir. Kesin etütte geçkiler gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra hazırlanan yeni haritalara aktarılır. Haritalar üzerinde her geçki seçeneği için plan, boy ve en kesitler hazırlanır. Bu işlem sonunda bir nevi avan proje elde edilir. Bu haritalar üzerinde sanat yapıları, diğer yollarla kesişmeler, malzeme temin yerleri, yolla ilişkisi olan sabit tesisler ve özel mülkler de gösterilmelidir.

Zemin etütleri konusu etüt aşamasında önemli bir yer tutar. Her geçki seçeneği için ayrıntılı jeolojik ve jeoteknik etüt yapılır. Etütler sırasında belirlenen yerlerde ve aralıklarda sondaj kuyuları açılır. Alınan örnekler incelenmek üzere laboratuvara gönderilir. Bu arada yeraltı su seviyesinin de incelenmesi gerekir. Ayrıca yüzeysel suların durumu hakkında bilgi edinmek üzere 5, 10, 50, 100 yıllık hidrolojik kayıtlara göre yağış ve akış rejimi belirlenir. Sonuçların değerlendirildiği ayrıntılı raporlar her seçenek için hazırlanır.

### **3.1.3. Ekonomik değerlendirme**

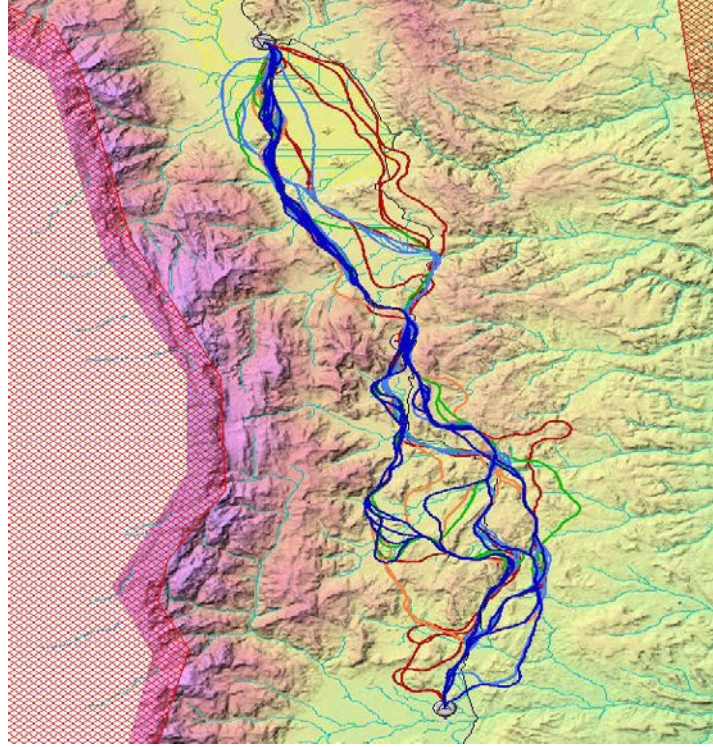
Etüt aşaması sonunda derlenen verilere göre seçenekler arasında karşılaştırma ve gerekiyorsa da ikinci bir eleme yapılır. Böylelikle ekonomik karşılaştırma aşaması için üzerinde durulacak seçenekler de kesinleştirilmiş olur. Ekonomik karşılaştırma aşamasında ise kesin geçkinin belirlenmesi amacıyla seçenekler son kez ekonomik faydaları bakımından kıyaslanır. Ekonomik karşılaştırma aşamasına kadar toplanan veriler yardımıyla çeşitli yol maliyet kalemlerini hesaplamaya yarayan bilgiler elde edilmiştir. Bunların ışığında yapılacak ekonomik analizle en verimli geçki seçeneği araştırılır [7]. Bu aşama için net bugünkü değer, iç verimlilik oranı, fayda/maliyet oranı gibi çeşitli ekonomik analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak bazı durumlarda bölgenin gelişimi için veya stratejik gerekçelerle fayda/maliyet oranının 1'den küçük çıktığı yatırım programlarının da uygulanması ihtimali vardır [8]. Ülkemizde özellikle gelişmekte olan bölgeler için yatırım programına alınan karayollarında bu durumla karşılaşılmaktadır. Ekonomik karşılaştırmada genellikle dikkate alınan değerlendirme dönemi 20 yıldır [9, 10]. Eğer altyapının uzun ömürlü olması isteniyorsa zemin özellikleri ve jeolojik yapı özelliklerine daha fazla ağırlık vermek gerekir. Aksi halde bakım maliyetleri artacağı için işletme aşamasında ekonomiklik sağlanamaz. Klasik yöntemde açıklanan sıfır poligonu dışında bilgisayar programına ağırlık veren çözümler de kullanılmaktadır. Bunların bir kısmı aşağıda kısaca verilmektedir.

### **3.2. Trimble Quantm Sistemi**

Bu sistem, koridor ve güzergâh aliyman optimizasyonu için farklı bir stratejik planlama sistemi olarak ayrıca üst düzey bir yönetim aracı olarak tarif edilebilir. Uygulamada program milyonlarca aliymanı araştırır. Daha hızlı proje planlama, inşaat için gerekli maliyetin azalması, çevresel ve sosyal çıktılar, incelemesi yapılmış tüm alternatif aliymanların gösterimi, güvenilirlik ve şeffaf denetim sağlar. Bunun için;

- Trimble Quantm Sistemi CBS verilerini, birim maliyetleri ve geometrik parametreleri birleştirir,
- Gelişmiş matematiksel algoritmalar milyonlarca alternatif rotayı hesaplar ve karşılaştırır,
- Bir dizi sonuç otomatik olarak seçilir ve kullanıcıya tam maliyetle 3D aliymanla geri gönderilir,
- Mevcut aliyman seçenekleri Quantm'da çeşitli formatlarda içe aktarılabilir,
- Alınan aliymanlar gözden geçirilir ve miktar/maliyet kıyaslanır,
- İçe aktarılan aliymanlar daha sonra "Tümünden veya Dikey Düzenleme Optimizasyonu" kullanılarak düzenlenir [11],
- Son aliymanlar ayrıntılı tasarıma hazır çeşitli formatlarda geleneksel CAD paketinde dışa aktarılır. Ayrıca aliyman raporları maliyetleri ve nicelikleri detaylandırılarak üretilir,
- Trimble Quantm'u bir projeye uygulamada veri toplama ve veri tabanı koordinasyonu gerekir.

Bu sistem ile ilk müşteri kurulumu, eğitimi/uygulaması, veri, kısıt bilgilerinin proje planlayıcısı tarafından girilmesi, Quantm motoru tarafından aliyman optimizasyonu, geri dönüp optimal alternatifleri inceleme, gözden geçirilmiş veri girişi ve iterasyonu, proje planlayıcısı tarafından analiz ve manipülasyon, 3D aliymanın dışa aktarımı ve rapor oluşturulması sağlanmaktadır.



Şekil 1: Trimble quantum sistemi uygulamasına örnek [11].

### 3.3 Şebeke analizi arc CBS

Geleneksel yöntemler ile yeni bir yol geçkisi planlamak pahalı ve zaman isteyen bir süreçtir. Eğer çok zaman ve para harcanmasına neden olan geleneksel yöntemin üstesinden gelinmek isteniyorsa burada geçkinin coğrafya, topoğrafya, zemin, eğim ve arazi kullanımı gibi konum özelliklerinin hangilerinden etkileneceğini öğrenmek esas konu olacaktır [12].

CBS sistemi; konumsal veriyi elde etmek, depolamak, analiz etmek, yönetmek ve yaymak için kullanılan bir donanım ve yazılım programıdır. CBS'ler kaplama ve yakınlık analizi gibi görevleri uygulayan çok çeşitli konumsal analiz araçlarıdır. Elle yapılan geleneksel yöntemler sıkıcı, zaman alan, uzun ve pahalı yöntemlerdir. Endişe duyulan faktörler genellikle arazi kullanımı, eğim, drenaj ve zeminle ilgilidir. CBS tematik haritaları ve arc CBS'teki şebeke analizi temel alındığında yakın servis alanları, daha az durma noktası, nehir kesişim noktaları ve daha çok yaşamın bulunduğu yerler gibi çeşitli geçki alternatifleriyle en iyi rotalar bulunabilir. Bu yöntem;

- Çeşitli durakları geçerken daha az zaman ve para harcamak için en iyi rotayı bulmak,
- Çoklu tesisler ve modlar arası seyahat maliyetini azaltmak için en yakın tesisi bulmak,
- En yakın tesisi oluşturmak ve daha az sürede yolu almak için sürüş yönünü belirlemek,
- Başlangıç ve başlangıç-varış noktası (OD) matrisi maliyetini bulmak

amacıyla tüm bu tematik haritalara ve ağ analizinde üretilen verilere dayanarak geleneksel yöntemler üzerinde karşılaştırmalı olarak en iyi ve en doğru olan bir geçki oluşturmak için kullanılır. Projenin bu bileşeni için bu görevlerin bütçe ve yıl içinde gerçekleştirilmesi zordur. Genel olarak yol tasarımı için geleneksel ve yıllık yöntem arasındaki farklılıklar karşılaştırıldığında, genel olarak yol geçki tasarımı veya karayolu düzenlemesi için CBS geleneksel yöntemlere göre göreceli olarak daha az

pahalı, zaman kazandırıcı ve daha doğrudur.

### **3.4 Civil 3D Programı**

Projelerde Autocad, Civil 3D ve ArcGIS programları da yaygın kullanılmakta olup programlar ile ilgili tanımlar aşağıda verilmiştir.

- AutoCAD, Autodesk şirketinin 1980'lerin başından beri geliştirdiği bilgisayar destekli bir tasarım programıdır.
- Civil 3D yazılımı Autodesk'in inşaat mühendisliği yazılımıdır. Yol, demiryolu ve kanal tasarımlarının yanı sıra tesviye, hafriyat ve parselasyon çalışmaları yapmak için güçlü ve verimli araçlar sunar. Civil 3D, AutoCAD üzerinde çalışır ve Autodesk'in Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı olan Map 3D yazılımını içerir.
- Civil 3D arazi modeli, yatay güzergah ve profil gibi "akıllı" nesnelere çalışan nesne tabanlı bir yazılımdır. Bir nesnede yapılan değişiklikler ilişkili nesnelere otomatik olarak yansır ve ilişkili hesaplamalar ile paftalar otomatik olarak güncellenir. Civil 3D'nin bu özelliği sayesinde tasarım alternatifleri kolaylıkla hazırlanabilir ve hassas bir şekilde analiz edilebilir. Hata yapma riski azalır ve zamandan tasarruf sağlanır.

Civil 3D'de nesnelerin görünüşleri stiller ile davranışları ise ayarlar ile kontrol edilir. Projenin farklı aşamalarındaki bilgi gereksinimlerini yansıtmak için farklı stiller hazırlanabilir ve çizimdeki stil ve ayarların tamamı \*.dwt uzantılı bir şablon dosyada (template) tutulabilir. Şablon dosya ile çalışma tüm çizimlerde nesnelere ilgili standart bir görünüm ve davranış sağlar.

### **3.5 ArcGIS Programı**

ArcGIS, 1969 yılında California-ABD'de kurulan ESRI firmasının ürünüdür. ArcMap yazılımı vektör ve raster kökenli coğrafi veri tabanlarından geometrik olan ve olmayan verinin sorgulanmasına olanak veren bir masaüstü haritalama ve CBS yazılımıdır. Coğrafi veri tabanlarına tüm kullanıcılar tarafından erişim imkânı sağlamakta, değişik formatlardaki (dwg, dxf, dgn, dbf, txt, tif, bmp vb.) verilerin kolayca seçilmesi ve görüntülenmesine olanaklı kılmaktadır.

## **4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri**

Çok kriterli karar verme yöntemleri birden fazla faktörün her alternatif için aynı anda değerlendirilmesi için kullanılır. Bu yöntemlerde faktörlerin etkisi koşullara göre değişmekte olduğu için tüm koşullarda en çok faydayı veren seçim araştırılır [13]. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bir kısmı aşağıda verilmiştir;

- Atm Yöntemi,
- Electre Tekniği,
- Topsis Yöntemi,
- Promethe Yöntemi,
- Karar Matrisi Yöntemi.

Atm Yöntemi; Tek boyutlu problemlere uygulanabilir bir yöntemdir. Bunun anlamı tüm kriterlerin ve dolayısıyla her karar alternatifini ve kriter ikilisi için elde edilen sonuç değerlerinin aynı birim cinsinden ölçülebilir olması gerekliliğidir. Tüm birimlerin aynı olduğu tek boyutlu durumlarda,

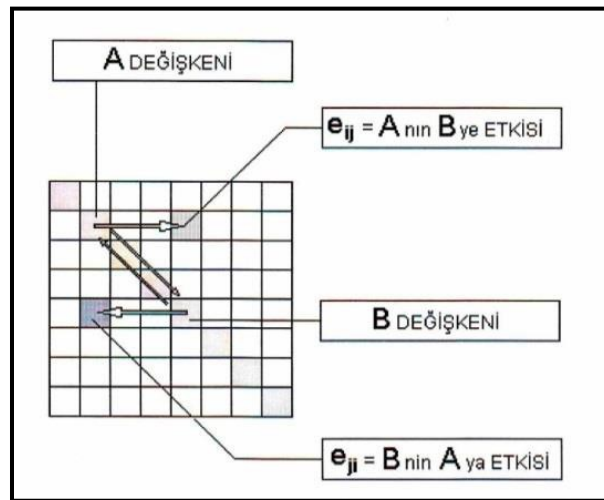
Atm tekniği kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu tekniğin dezavantajı çok boyutlu problemlere uygulandığında ortaya çıkmaktadır.

Electre Tekniği; Her bir değerlendirme faktörü için alternatif karar noktaları arasında ikili üstünlük kıyaslamalarına dayanır. Aynı zamanda bu yöntem öne geçme veya baskınlık ilişkisine dayanan bir yöntemdir. Her bir ölçüt için bir verimlilik bir de önem ölçüsü tespit edilir. Tayin edilen verimlilik ölçüleri üzerinden her bir seçeneğe not verilir. Karar verici özellikle uyumluluk ve uyumsuzluk limitlerini belirlemelidir.

Topsis Yöntemi; Electre yönteminin temeli üzerine geliştirilmiştir. Bu nedenle yöntemlerin başlangıç aşamalarının aynı olması normaldir. Hem Electre hem de Topsis yöntemleri karar matrisinin normalleştirilmesi safhasının sonuna kadar aynı paralelle ilerler. Bundan sonraki aşamalarda metotlar farklılaşmaktadır. Bir fark ise, Electre Yöntemi alternatiflerden birinin diğerine olan üstünlüğüne göre elemeleri yaparken Topsis ideal çözüme en yakın negatif ideal çözüme en uzak alternatifin en iyi alternatif olduğunu göstermektedir.

Promethee Yöntemi; Alternatifleri farklı tercih fonksiyonları temelinde değerlendirerek alternatiflerin hem kısmi önceliklerinin hem de tam önceliklerinin elde edilmesini sağlayarak daha ayrıntılı analizler ortaya koymaktadır.

Karar Matrisi Yöntemi; Bir konuyu, bir olayı, bir oluşumu, bir olguyu vb. hazırlayan ve oluşturan etmenlerin (etken, parametre, değişken, faktör) önem ve öncelik sırasının belirlenmesi için karar matrislerinden yararlanır. Karar matrislerinde konuyu hazırlayan, oluşturan ve yönlendiren etmenler köşegene yerleştirilir ve matrisin satır toplamları etmenin derecesini (nedeni), sütun toplamları etkilenme derecesini (sonucu) gösterir. Satır ve sütunlarda kullanılan sayı atamaları (kodlama), köşegendeki etmenlerin birbirlerini etkilemelerinin karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır (Şekil 4.1) [14]. Sayı atamaları (kodlama), A dan B ye etki AB ve B den A ya etki BA hücrelerinde sayısal olarak tanımlanması temeline dayanır. A nın B ye etkisi durumunda A neden olup B için etkidir. Diğer bir deyişle A'nın B üzerindeki etkisini ifade etmektedir. B den A ya etki durumunda ise B neden olup A için etkidir. Yani B'nin A üzerindeki etkisini ifade etmektedir.



Şekil 2: Karar matrisi ve değişken etkileşimi [14].

1. Yazarın doktora tezinde karar matrisinin geçki seçimine uygulanırlığı araştırılmaktadır. Bu amaçla incelenen matris etmen değerlerinin belirlenmesi için daha önce geçki araştırması yapılmış olan

altlıkların yanısıra, ArcMap Programı'nın analiz özelliklerinden yararlanılmıştır. Elde edilen her bir bölgenin sahip olduğu ve tezde de incelenmekte olan özellikler dikkate alınmıştır. Matrisler için belirlenmiş olan parametrelerin karşılaştırılabilmesi, analiz edilebilmesi ve puanlanabilmesi için önce gerekli haritalar temin edilmelidir. Çalışmada aşağıdaki matrislerin irdelenmesi ve bunların geçki araştırmasına uygulanması ile çalışma amaca uygun şekilde ilerletilmiştir. Karar Matrisleri'nde değişkenlerin etkileme ve etkilenme ilişkisinin belirlenmesi genel anlamda aşağıdaki değerlendirmeye göre yapılmıştır, Çizelge 1. Açıklanan matrisler ve değerlendirme çizelgeleri çalışmada belirlenen noktalar arasında gerçekleştirilen geçkilere uyarlanarak, kullanılmıştır. Parametrelerin birbirine etkisinin puanlanmasına yarayan kritik sorular hazırlanmıştır. 1. matris (Geçkinin Jeoloji ve Jeomorfoloji ile Uyumluluk Matrisi) için 49 soru, 2. matris (Geçkinin Çevresel Uyumluluk Matrisi) için 64 soru, 3. matris (Geçkinin Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik ile Uyumluluk Matrisi) için 81 soru ve 4. matris (Geçkinin Altyapı ile Uyumluluk Matrisi) için 64 soru hazırlanarak toplam 258 soru oluşturulmuştur.

**Çizelge 1. Sınıflama ve sayısal değerleri.**

<b>Sınıflama</b>	<b>Sayısal Değer</b>
Çok etkili	5
Etkili	4
Orta etkili	3
Düşük etkili	2
Çok düşük etkili	1
Etkisiz	0

Böylece matris elemanlarının birbirini etkileme şekli daha somutlaştırılmıştır. Bu sorular doğrultusunda puanlama yapılarak matrisler ile değerlendirilme yapılmakta olup en uygun geçki belirlenmeye çalışılmaktadır. Böylece en uygun geçkinin belirlenmesinde çok farklı parametreler farklı şekilde değerlendirmeye alınarak seçim yapma imkânı sağlanmaya çalışılmaktadır.

## **5. Sonuçlar**

Araziye en uygun geçkiyi belirlemek için farklı yaklaşımlar ve bilgisayar programları kullanılabilir. Bu programlarda ana amaç kazı ve dolgu işlemlerini en aza indirmek, topografyaya uygun çözüm sağlamak, mevcut yolları ve tesisleri dikkate almaktır. Giderek trafik yoğunluğu ve yolların kullanımı artmaktadır. Bu trafik yüklerine dayanıklı yolların yapılması gerekir. Altyapıya verilen önem ve ağırlığın günümüzde daha fazla olması beklenir. Aksi halde bakım işlemleri artacaktır. Altyapıda oluşan sorunlar üstyapı bakımını ve bakım için ayrılan süreleri arttıracaktır.

Geçki araştırması için farklı programlar kullanılmaktadır. Bunlar yapılan önemli projelerde kabul görmektedir. Alternatif geçkiler arasında birçok parametre açısından en uygun olanını bulmak ise genelde klasik yöntemle yapılmaktadır. Geçki belirlemek için klasik sıfır çizgisinin dışında topografik yapı özelliklerine ağırlık veren birçok yaklaşım ve bu amaçla yazılmış programlar bulunmaktadır. Kurumlar, mühendisler kendilerine uygun olan programı projelerinde kullanarak geçki araştırması yapmaktadırlar. Geçki seçeneklerinin içinden birçok parametreyi dikkate alarak en uygununu belirlemek için ise çok kriterli karar yöntemleri de kullanılabilir. Çalışmada karar matrisinin en uygun geçkiyi belirlemek için nasıl kullanılabileceğinin temel öğelerine değinilmiştir. Geçki araştırması ve uygun geçki seçimi konusunda birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte bu konuda daha farklı çalışmaların yapılması devam edecektir. Çünkü yol geçkileri büyük hacimli, büyük maliyetli çalışmalardır. Altyapı parametreleri ise özel önem taşımaktadır. Konforlu, dayanıklı,

bakım maliyetleri ve bakım ihtiyacı az olan bir geçki belirlemek için jeolojik-geoteknik özellikleri araştırmak ve değerlendirmede ağırlık vermek önemlidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Baykal O., “Mühendislik Ölçmeleri-I, Kara ve Demiryollarında Geçki Geometrisi Tasarımı ve Aplikasyonu”, Cilt I, Birsen Yayınevi, 2009.
- [2] Avcıoğlu M., “Karayolu İnşaatı”, Birsen Yayınevi, 2011.
- [2] Karayolu Genel Müdürlüğü, “Karayolu Teknik Şartnamesi”, 2013.
- [3] TCK, “Karayolu Şartnamesi”, AASHTO T-193, 2006.
- [4] Yayla N, “Karayolu Mühendisliği”, İ.T.Ü, Birsen Yayınevi, 2013.
- [5] TCK, Karayolları Genel Müdürlüğü, “Yollar Teknik Şartnamesi” Kısım 313, 2013.
- [6] TCK, Karayolları Genel Müdürlüğü “Karayolu Tasarım El Kitabı”, 2014.
- [7] Çağlar B., “Yollarda Yer Altı Suyu Drenajı”, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 1979.
- [8] AASHTO, “A policy on Geometric Design of Highways and Streets”, 2001.
- [9] Lamm, R., Psarianos, B., Maillaender, T., “Highway design and Traffic Safety Engineering Handbook”, 1999.
- [10] Tunç A., “Trafik Mühendisliği ve Uygulamaları”, 1. Baskı, Ankara, 2003.
- [11] Tunç A., “Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları”, Atlas Yayını, Ankara, 2002.
- [12] American Association of State Highway and Transportation Officials, “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, 2004.
- [13] Çalışkan, U., “Karayolu Ulaşım Ağlarında Yüzeysel Drenaj Sistemleri Ve Hidrolik Tasarım Esasları”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [14] Eyüboğlu, R., “Harşit Vadisi Doğankent (Giresun)-Yurtköyü (Gümüşhane) Arasının Yamaç Duraylılığı Açısından İncelenmesi” İTÜ-FBE, Jeoloji Müh. Dr. Tezi, 1999.



## Türkiye’de Kent ve Ulaşım Prosesi ve Küresel Bir Örnek İncelemesi

### A Review of Urban and Transport Process In Turkey and A Global Sample

Mehmet Fatih ALTAN<sup>1</sup>, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>2</sup>, Yunus Emre AYÖZEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mehmetaltan@aydin.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mckiziltas@ticaret.edu.tr

<sup>3</sup> DHMİ Genel Müdürlüğü, yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr

**Özet:** Ulaştırma ve kentleşme arasında birbirini etkileyen sürekli bir süreçten söz etmek mümkündür. Söz konusu karşılıklı etki ise insanların gündelik hayatını doğrudan şekillendirmektedir. Bu çalışmada ilk olarak bu ilişki ele alınmış, İstanbul için biri projeksiyon yapılmıştır. Ardından kentsel ağ modelleri incelenmiş ve bu bağlamda küresel örnekler ortaya konulmuştur. Bu kapsamda ise son olarak sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kent, kentsel ağ, gelişme

**Abstract:** An interacted and continuous relation between transport and urban is a reality. Mnetioned mutual effect directly shapes daily social life. In this paper firstly this relation is explained, a projection for Istanbul is done. Then urban network models are reviewed and in this context global samples are presented. In this framework conclusions and recommendations are shared.

**Keywords:** Urban, urban network, development

## 1. Giriş

Ülkemiz; şehirleşme ve şehirlilik kavramının içini gerek teoride gerekte pratik uzun yıllar boyu tam olarak dolduramamış, bu da her alanda olduğu gibi planlama eksiklikleri ve disiplinler arası koordinasyon kopukluğu gibi sebeplerle birleşerek karmaşık problemlere yol açmıştır. Kültürel ve sosyal düzeyde üretilemeyen çözümler, ekonomik kısıtlarla da birleşince göç olgusu büyük bir ivmeyle ortaya çıkmış ve Cumhuriyet tarihi boyunca 4 ana göç dalgası ortaya çıkmıştır. Bu göç dalgalarının her birinin dönemsel ve karakter olarak kısmi farkları olmasına karşın, geneli itibariyle önce köyden köyün bağlı olduğu kasaba, nahiye, ilçe ve il merkezine, sonraki adımda; il merkezlerinden yöre merkezlerine, sonrasında bölgesel merkezlere, son adım olarak ise İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Adana, Mersin, Kocaeli, Konya, Antalya, Samsun ve Manisa gibi merkezlere doğru bir göç yönü ortaya çıkmıştır. Zaman zaman, bu göç olgusu bütün bu belirtilen adımlarla takip edilmeyip, söz gelimi direk köyden İstanbul’a şeklinde gerçekleşmiştir. Bu ise; kimi şehirlerde dengesiz nüfus dağılımı, kimi şehirlerde insansızlaşma gibi sonuçlar vermekte, çeşitli sebeplerle göçte tercih sebebi haline gelen şehir ise bütün bu dalgayı yönetememekte, plansızlık ve entegrasyon eksikliği gibi nedenlerle şehir taşıdığı insan yükü oranında sanayileşme, kültürlenme, şehirleşme ve şehirlilik gerçekleştirememektedir. Geliştirecek olduğumuz yatırım perspektifinde; projelerimizin hizmet esaslı olarak doğru yerde doğru kararın alınması ve uygulanmasına paralel, dengeli nüfus dağılımını gözetten bir çerçevede geliştirilmesi önemlidir. Yeni projeler; mevcut göç olgusunu destekleyici değil, düzenleyici nitelikte olmalıdır. Anadolu’nun birçok iline, geçmiş dönemlerde görülmemiş düzeyde yapılan yatırımlar, insanımızın yaşadığı şehir üzerinde üst düzey hizmet parametrelerine ulaşmasını, iş imkânlarının



çeşitlendirilmesini, şehrin potansiyelinin ortaya çıkarılmasını, üretim teşvikini hedeflemektedir. Bu anlamda; yüksek hızlı demiryolları başta olmak üzere yapılan ulaştırma yatırımları şehirlerin birçok alandaki sektörünün kapasitesinin artırımında önemli rol oynamakta ve aynı zamanda altyapı standartlarını yükseltmektedir. Ancak; şehir ve şehirlilik olgusu; sosyal-tekni-ekonomik-kültürel birçok arka plana sahip, daha komplike bir konu olduğu için, yapılan ve yapılacak olan yatırımların niceliğinin yanı sıra niteliğinin düzeyi de stratejik bir konudur. Ulaştırma Sistemleri arası dengeli modal dağılım ve intermodal entegrasyon; bütün ulaştırma argümanlarından maksimum düzeyde faydayı, üst düzey hizmet parametrelerini, erişilebilirliği had safhada desteklemektedir ki; bütün bunlar doğru bir ‘Şehir Planlama’ sürecinin sebebi ve sonucudur. Ve dolayısıyla ‘Kentsel Dönüşüm’ ün doğru uygulanabilirliğinin de ‘anahtar’ konularıdır. Daha öncede belirttiğimiz üzere; kentsel dönüşüm bir prosesi yani süreci ifade eder ki; buda entegrist bir bakış açısı gerektirir. Nasıl ki ulaştırma sisteminde modal entegrasyonu ön plana çıkarıyorsak aynı şekilde ‘Kentsel Dönüşüm’ de kentte ‘eski ile yeni’ arasında bir uyum(insicam: harmoni) oluşturmayı hedefler ki bu da ancak entegrist bir yaklaşım ile söz konusu olur. Bu süreçte; mevcut yapı içerisindeki sorunlu alanların (mahallelerin) tamamıyla yıkılması yerine bütüncül bir bakış açısıyla bu mahallelerin mevcut sorunlarını kendi iç dinamiklerini harekete geçirerek ıslahı yoluna gidilmesi tercih edilmelidir. Bu da; bütüncül, katılımcı, yönetişimci bir süreci ifade eder. Hele ki İstanbul özelinde bu; daha da stratejik ve öncül bir hal alır. Mevcut organik kültürel-sosyal-ekonomik-şehirselleme doku; kendi iç dinamiklerinin hareketi geçirilmesi ve dolayısıyla tabir yerindeyse kendi cazibesıyla ve bunun iyi yönlendirilmesi-yönetilmesi ile kendi entegrasyonunu çözer ve dönüşümünü tamamlar hale getirilmelidir. Burada; rant odaklı bakışı önü tamamen alınmalı ‘hizmet odaklı’ perspektif, bütünüyle öncelenmelidir. Zira; Avrupa’da Prag, Milano, Paris vb. şehirlerin genel görünümünden okumalar yaptığımız takdirde, önümüze ‘Tarihi Mahalleri (dokusu) ile Modern Yapıları; görsel-fiziksel-toplumsal vb. her anlamda entegre etmiş, sentetik değil organik bir yapıya dönüştürmüş bir tecrübe ile karşılaşmaktayız. Aksi durum; İstanbul özelinde ve ülkemiz genelinde ‘ekonomik mağduriyetler, sosyal problemler, kültürel kopukluklar, sosyal adaletsizlik ve toplumsal iletişimsizlik’ gibi maliyetleri önümüze çıkartacaktır [1].

## **2. Türkiye’de Kentleşme Süreçleri**

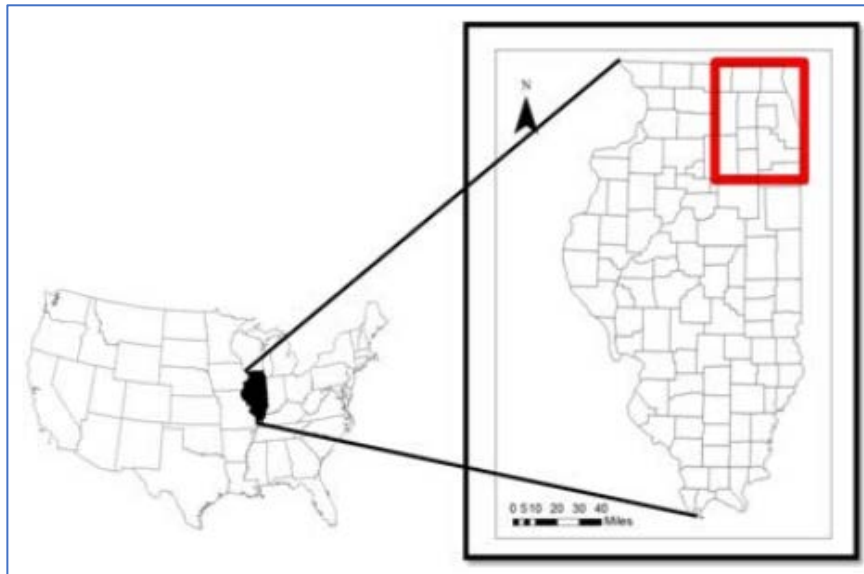
Ülkemizin ekonomik kalkınma hedeflerinin, verimli çalışan ve sorunları en aza indirgenmiş bir Ulaştırma Sistemi ile sağlanabileceği açıktır. Bununla beraber; ekonomik kalkınma, sosyal ve kültürel kalkınmanın hem sebebi ve hem de sonucu olarak bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir. Daha önceki yazılarımızda da ifade ettiğimiz üzere; her ne kadar ekonomik büyüme ulaştırma sistemi ile doğrudan ilişkili olsa da, şehirleşme ve benzeri konular nedeniyle, nicel büyümenin içini dolduracak olan nitelikli kalkınma, ulaştırma ve şehirleşme planlamasında ekonomik-sosyal-kültürel ve siyasi fazlara bütüncül bir yaklaşım geliştirilmesi gerektiği açıktır. Özeldde İstanbul, genelde de ülkemiz ve bölgemiz; arazi yapısı-tarihi zenginliği ve arka planı-coğrafyası ve konumu-beşeri yapısı-ekonomisi ve kültürü ve benzeri özellikleri itibariyle kablolu sistemler, denizyolları, demiryolları ve iç suyuolları yatırımlarına ve dolayısıyla da çoklu türel dağılıma fazlasıyla elverişlidir. Amerikan kentlerinde 1.000 kişi başına otomobil sahipliğinin Avrupa kentlerinin yaklaşık 1,5 katı olmasına karşın, otomobil kullanımı 2,5 katıdır. Öte yandan, kentlerin ekonomik gelişmişlik düzeyleri ile otomobil kullanımı arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Örneğin, Manila, Bangkok, Kuala Lumpur gibi gelişmekte olan Asya kentlerinin kişi başına ortalama GSYİH değeri, Tokyo, Singapur, Hong Kong gibi gelişmiş Asya kentlerinin % 12’ si düzeyinde olmasına karşın bu kentlerdeki otomobil kullanımı daha fazladır. Bunun başlıca nedenleri, bu kentlerde toplu taşımanın ve özellikle raylı sistemin yetersiz olması ve trafik tıkanıklığı sorununu çözmek amacıyla büyük ölçekli yol yapım projelerine ağırlık verilmesidir. Günümüzde, birçok kentte, otomobiller trafik tıkanmasının ve hava kirliliğinin en önemli nedeni olarak

görülmekte ve ulaşım, kent yaşamının en sorunlu etkinliği olarak değerlendirilmektedir. Motorlu araç trafiğinden kaynaklanan tıkanıklıkların ve çevresel kirlenmenin dışsal maliyetleri konusunda değerlendirmeler kentlerin yoğunluğuna, tıkanma düzeyine ve bölgeye göre değişmektedir. AB ülkelerinde, ulaştırmanın yıllık dışsal maliyeti 360 milyar Euro (GSMH'nın % 6'sı) olarak hesaplanmıştır ve bunun üçte biri trafik tıkanmalarından kaynaklandığı bilinmektedir [1].

Birçok metropoliten bölgede olduğu gibi Chicago da kentsel yayılmaya göre karakterize edilmektedir. Sürdürülebilir bir gelecek için kentsel yayılmayı yönetebilme yetkinliği, coğrafyacılar ve planlamacılar için bir dizi zorluğa işaret etmektedir. Günümüzde uzaktan kumanda sensörlü veriler yapıları gereği, kentsel arazi örtüsü (LC) karakteristikleri, zamana göre değişim ve modelleme ile ilgili bilgi sağlanmasında uygundur. Bu tar çalışmaları kapsamında kuzeydoğu Illinois'de kentsel yayılmanın incelenmesine girilmektedir olup zirai araziler ile zamana doğa üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Uydu görüntüleri edinilmiş olup altlık haritalarının hazırlanması için tasnif edilmiş, zamana göre değişimin analizi için değişiklik sezimi kullanılmıştır. 2020-2030 yılları arasındaki gelecekteki kentsel gelişim alanlarının hesaplamaları için arazi değişim modelleyicisi kullanılmıştır. Sonuçlar 1989-2010 yılları arasında yapılaşan alanın %82,2 oranında arttığını göstermekte olup bu da ekilebilir zirai alanlardaki %25,8'lik bir kayba ve kentsel açık alanlar ile diğer peyzaj kategorilerinde de %32,5'lik bir azalmaya işaret etmektedir. Hesap haritaları yapılaşma alanlarında bir artışa işaret etmekte olup bu durum özellikle banliyö alanlarında (kent çevresinde) yeni zirai alan kayıplarını neden olacaktır [2]. Kentsel yayılma; sürdürülebilir kentsel gelişimi savunan planlamacılar, coğrafyacılar ve politika yapıcıların artan ilgi ve dikkatine mazhar olmaya başlamıştır. Kentsel yayılma; kent merkezinden dairesel bir mantıkla genişleyen ve sıklıkla hızlı büyüme ile rastgele gelişimle düşük yoğunluklu kurulumla dayalı arazi dönüşüm unsurlarıyla karakterize edilmektedir. Bu durum kentlerin periferileri (çevre alanları) ile ana yerleşimleri birbirine bağlayan karayolu ve otoyollarla karakterize edilmektedir. Kentsel yayılma; açık alanların kaybı, çevresel kirlilik ve trafik tıkanıklığı gibi ancak bunlarla sınırlanamayan çeşitli sosyal ve ekonomik sonuçlara sahiptir. Kentsel yayılma aynı zamanda doğal alanların (sulak alanlar, doğal yaşam alanı koridorları gibi) kayı ya da bölünmesi ile sel risklerinin artması ve hayat kalitesinde toptan bir azalma gibi sonuçlarla da ilintilidir. Chicago metropoliten bölgesi bu kentsel arazi dönüşümünün klasik bir örneğini sunmaktadır. Örneğin 1970-1990 yılları arasında, kuzeydoğu Illinois yaklaşık 1140 km<sup>2</sup>'lik ekilebilir araziye kaybetmiştir. Bu miktar, günümüzdeki Chicago kentsel alanının iki katına tekabül etmektedir. Dönüşüm halen durmamış olup kentsel yollarla ulaştırma sistemleri, konut için idari teşviklerin devam etmesi, yerel idarelerin fazla müsamahalı ve politik olarak zayıf olan bölgesel planlama acenteleri gibi faktörler devam eden kentleşmeyi etkilemektedir. Kuzeydoğu Illinois Planlama Komisyonu'na (NIPC) – şimdiki adı ile Chicago Metropoliten Planlama Ajansı (CMAP) – göre, 1990-2020 yılları arasında Chicago metropoliten bölgesi için hızlı nüfus artışı (örneğin %25'lerde) tahminleri yapılmaktadır. Diğer bir deyişle metropoliten nüfusun 1990-2020 yılları arasında 1,8 milyonluk bir artış göstermesi beklenmekte olup bu miktar, örneğin 1970-1990 yılları arasında olduğu gibi, önceki on yıllık süreçlerde kaydedilen %4'lük artış oranlarının oldukça üzerindedir. Uzaktan kumanda ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile entegre simülasyon modelleri, kentsel gelişim hesaplama ve modelleme değişimlerinin kesin ve güncel bilgilerinin temininde büyük ölçüde artan fırsatlar sunmaktadır. Arazi uydu verilerinin tarihi 1972'lere kadar uzandığından, kentlerin zamana göre gelişim unsurları uzaktan algılamalı tekniklere göre değerlendirilmektedir. Bu teknikler aynı zamanda biyofiziksel faktörler (sıcaklık, düşen yağmur miktarı, eğim, sıcaklık vs.) ve sosyoekonomik etkileri (örneğin: nüfus artışı, sanayileşme, altyapı ve teknoloji vb.) kapsayan ancak bunlarla sınırlı olmayan değişim faktörlerini de değerlendirmektedir. Bu bulgular dünya genelinde çoğu kentin gelişiminin sonuç ve faktörleri ile ortaya çıkış nedenlerinin kavranmasını arttırmaktadır [2].

## **2.1. Kentsel Ağ Modellemesi**

Bununla beraber simülasyon modelleri kentsel gelişim unsurlarını nasıl değerlendirdikleri ve gelecek değişimlerini hesaplama yetkinliklerine göre çeşitlenmektedirler. Örneğin bazı modeller (Markov zinciri gibi) sadece mevcut duruma bağlı olarak ve öncesindeki sıralı etkinlikleri dikkate almayan yersel detaylar olmaksızın arazi kullanım kategorilerini hesaplarken, diğerleri ise yersel detayları hesaba katmakta ancak bir kategoriden sadece diğer bir alternatif kategoriye tek yönlü dönüşümü hesaplamaktadır. Çalışmalar, yersel yönü zayıf olan Markov modellerine yersel boyutları temin etmek için hücresel otomasyon ve Markov zincirini (örneğin CA\_Markov) birlikte kullanmaktadır. CA\_Markov, Geomod'un tek başına kullanıldığında ürettiğinden daha iyi bir seçimi ortaya koyacak olan herhangi bir sayıdaki kategorideki herhangi bir dönüşümü hesaplama yetkinliğine sahiptir. Yakın dönemde; çok katmanlı algılayıcı (MLP), sinir ağları ve Markov zinciri modelleme tekniklerini kullanan arazi değişimi modelleyicisi (LCM) kentsel gelişimin simüle edilmesinde kullanılmıştır. Yöntem en elverişli bulgulara eşsiz bir şekilde ulaşmakta ve bunun sonucu olarak da arazi değişimleriyle ilgili faktörlerin karmaşık ilişkilerinin modellenmesi için uygun olmaktadır. Bunun yanı sıra modeldeki çok katmanlı algılayıcı (MLP) aynı zamanda muhtemelen lineer olmayan bağıntıları düzenlemede modelin yetkinliğini de arttırmaktadır. Bu tarz çalışmalar kapsamında kuzeydoğu Illinois'de özellikle zirai ve doğal yaşam alanları üzerindeki etkiler başta olmak üzere, kentsel yayılmanın incelenmesine odaklanılmaktadır. Geçmişte benzer çalışmalar mücavir alanlarda yapılagelmiştir. Bununla beraber bu tarz çalışmalar 1972-1997 yılları arasındaki periyodu kapsayan veriler ile daha sağlam yaklaşımlar ve daha güncel veriler ile oluşturulan bir çalışmayı gerektiren dinamik arazi simülasyonuna (DLS) bir yaklaşım kullanılarak yürütülmektedir. Bu tarz çalışmalar kapsamındaki çalışma alanı kuzeydoğu Illinois'in büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Söz konusu alan Chicago metropoliten alanının (toplam nüfusu 9,8 milyon) büyük bir kısmını kaplamakta olup Chicago, New York (19 milyon) ve Los Angeles'ın (12 milyon) ardından, Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) 3. Büyük metropolüdür. Söz konusu metropol; Cook, DuPage, Kane, Kendall, McHenry, Will, Grundy, Boone, De Kalb, Lake'in büyük bir kısmı ile Kankakee ilçelerini barındırmakta olup 11.030,1 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahiptir. Şekil 1'de çalışma alanının detayları gösterilmektedir [3].



**Şekil 1.** Amerika Birleşik Devletleri ve Illinois İlçesinde Çalışma Alanı Yerleşimi [3]

Nüfusun çoğunluğu Cook ilçesinde (%60) ikamet etmekte olup bunu DePage (%10) ve Lake (%8) takip etmektedir. Çalışma periyodu boyunca nüfus sayımı verileri; bölgenin, kentsel arazi dönüşümü ve genişlemesinin ana faktörü olan önemli miktarda nüfus artışını tecrübe ettiğini göstermektedir. Örneğin 1990-2000 yılları arasında, Chicago metropolünün nüfusu %11,58'lik artış göstermiştir. Sonraki on yıllarda bu oran düşmesine karşın, örneğin 2000-2010 arasında halen %3,86'lık nüfus artış oranları söz konusudur. Nüfus artışından etkilenen metropoliten alan, halen dünyanın en iyi kırsal doğal yaşam alanı ve zengin tarım alanlarının bazılarını kapsayan bir arazi örtüsü çeşitliliği ile karakterize edilmektedir. Geçmiş on yıllarda zirai alanlar en baskın arazi örtüsünü teşkil etmekteydi ancak birçok metropoliten kentte tecrübe edildiği üzere dramatik arazi örtüsü değişimleri ile karşı karşıya kalındı. 1972'den 1997'ye kadar olan süreçte Chicago metropoliten bölgesinde tarım alanları ve doğal yaşam alanlarında sırasıyla %37 ve %21'lik kayıplar söz konusu olmuştur. Çalışmaya göre banliyö arazi dönüşümü; nüfusun yeniden dağılımı, metropoliten işlevlerin merkezden uzaklaşması ve banliyö alanlarının gelişimi ile genişlemesi yoluyla insan yerleşimlerine yol açılmasıyla ilgilidir [2].

**Tablo 1.** Çalışma Alanında Belirlenen Yıllardaki Nüfus ve Nüfus Artış Oranları [3]

İlçe	1990	2000	2010	Artış (1990-2000) %	Artış (2000-2010) %
Cook	5.105.067	5.376.741	5.194.675	5,3	-3,4
DeKalb	77.932	88.969	105.160	14,2	18,2
DePage	781.666	904.161	916.924	15,6	1,4
Grundy	32.337	37.535	50.063	16,1	33,4
Kane	317.471	404.119	515.269	27,3	27,5
Kendall	39.413	54.544	114.736	38,4	110,2
Mchenry	183.241	260.077	308.760	41,9	18,7
Will	357.313	502.266	677.560	40,6	34,9
Lake	516.418	644.356	703.462	24,7	9,2
Kankakee	96.255	103.833	113.449	7,9	9,3
Toplam	7.507.113	8.376.601	8.700.058	11,6	3,7

İnternet erişimli arazi uygu görüntüleri araştırmanın yürütülmesi için Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Jeolojik Araştırmalar (USGS) web sitesinden indirilmiştir. Bu görüntülerin ikisi olan 4 Ekim 1989 ve 12 Eylül 2010 tarihli olan görüntüler Landsat 5 tematik eşleyicisi (TM) olup 22 Eylül 1999 tarihli olan görüntü ise Landsat 7 yükseltilmiş tematik eşleyicisi (ETM+) görüntüsüdür. Görüntü referansları; 1984 Dünya Jeodezik Sistemi (WGS) ve Evrensel Ters Merkatörü (UTM) koordinat sistemidir. İlave olarak, görüntüler gözle görülür 30 m (piksel büyüklüğü) yersel çözünürlük, kızılötesi (infrared) şeritleri ile karakterize edilmekte olup her bir görüntü 170 km ile 183 km mesafeden görünebilirliğe sahiptir. Bu çalışma için, özellikle de kot doğrulama, referans ve modellemesi için, yardımcı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler; Chicago Yeşil Alan Altyapısı-Arazi Kullanımı 2004, 4 metre yersel çözünürlüklü IKONOS çok bantlı uygu görüntülemesi ve Chicago alanının Illinois ilçesinin arazi örtüsü haritalarıdır. Chicago Yeşil Alan Altyapısı; çalışma alanındaki arazi örtüsü hakkında fikir edinmek için bir referans olarak kullanılmak üzere, Chicago Eyalet Üniversitesi (CSU) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Laboratuvarından edinilmiş olan IKONOS görüntüleri ile Yeşil Alan Haritalama Organizasyonunca (GMO) sağlanmıştır. Diğer taraftan 1985-1997 yılları arasında, Chicago'nun Illinois ilçesinin yaban hayat alanlarının arazi örtüsü haritaları, bilgi tasniflerinin tanımlanması ve görüntü tasnif edici denetim için kullanılmıştır. Ayrıca Google Earth de çalışma alanının yakın dönem arazi örtüsü hakkında fikir edinmek ve eğitim şekli seçiminin desteklenmesi için kullanılmıştır. Chicago Metropoliten Planlama Ajansı (CMAP) tarafından hazırlanan ana arterler ve su yapıları verileri, arazi kullanımı arazi örtüsü (LU/LC) modellemesinde kullanılmıştır [4].

## 2.2. Görüntüleme Prosesi

Bu tarz çalışmalar kapsamında ihtiyaç duyulan görüntü işlenmesi; görüntü toplanması, şerit seçimi ve kombinasyonunu içermektedir. Görüntü toplanması; çok şeritli uydu görüntülerinin çok şeritli bir görüntüye dönüştürülmesi prosesidir. Görüntü toplanırken, hem termal şerit ve hem de pankromatik şerit hariç tutulmuştur çünkü, onların bu tarz çalışmalar kapsamındaki bütün katkıları oldukça kısıtlıdır. Renk isimlendirme terkipleri 4, 3, 2 şeritleri için sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi olup bu tarz çalışmalar kapsamında farklı LU/LC türleri için farklılıkları belirginleştirmede kullanılmaktadır. Bu tarz çalışmalar kapsamında kentsel alanlar açık mavi, bitki örtüleri kırmızı gölgelendirmeli, su yapıları koyu maviden siyaha ve ekili olmayan (çıplak) toprak katmanları da beyazdan (kum, kil) kahverengiye lejantlandırılmıştır.

Bu tarz çalışmalar temelde kentsel yayılmaya ve bunun zirai alanlarla doğal alanlar üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Dahası, tasnif sonuçları için 5 bilgi sınıfı belirlenmiş olup bunlar inşa alanları, zirai alanlar, su bölgeleri, ormanlar ve ağaçlıklar ile diğerleri olarak isimlendirilmiştir. Sınıflandırma detayları Tablo 2’de verilmiştir. Dijital tasnif; maksimum benzerlik görüntü tasnifleyicisi kullanılarak yapılmıştır. Maksimum benzerlik karar kuralı, olasılık temelli olarak sınıflandırmalara piksel atamasıdır.

Bu tasnifleyici, en genel tasnif algoritması olup bilgi tasniflerinin pratiğini de içerdiğinden aynı zamanda başarılıdır. Tasnifleyici; doğrudan kotla doğrulanarak elde edilen bilgi tasnifleri kullanmakta olup dolayısıyla, her bir uygulama sınıfına ait olan her bir pikselin benzerlik olasılığı temelinde bir sınıflandırma temin edilmektedir.

**Tablo 2.** LU/LC Tasnif Şeması [5]

LU/LC Tasnifi	Tanımlamalar
1. Kentsel arazi	Bütün suni özellikler (iskan, ticari ve sanayi alanları, yerleşimler, ulaştırma altyapısı ve karma kentleşme)
2. Zirai arazi	Tarlalar ve diğer zirai faaliyet türlerini kapsamaktadır
3. Su bölgeleri	Göller, nehirler, akarsular ve kanallar gibi su yapıları
4. Ormanlar ve ağaçlık alanlar	Yaprak dökken ve yaprak dökmeyen ormanlar ve dönüşümsel ağaçlıklar
5. Diğerleri	Karma piksel içerikliler: Zirai alanlarla yapılaşma alanlarının karması, kentsel alanlarla doğal alanların (ormanlar ve ağaçlıklar, doğal su yapıları, diğer arazi örtüsü türleri) karması

Pratik sahaları; Chicago Yeşil Alan Altyapısı-Arazi Kullanımı 2004, IKONOS ve Chicago’nun Illinois ilçesi arazi örtüsü haritaları gibi yardımcı veri ve referansların desteğiyle seçilmiştir. Her bir pratik sahası için eğitim poligonları dijitalleştirilmiş olup LU/LC kategorisi için spektral işaretlemeler, pikselleri kategorize eden istatistiklerin türetilmesi için geliştirilmiştir. Uygulama işaretlemelerinin ayrılabilirliklerinin değerlendirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Tasnif değerlendirmesinde, sadece ayrılabilir işaretlemeli uygulama sahaları kullanılmıştır. Sınıf başına en az 30 uygulama sahası ve toplamda 360 uygulama sahası, denetlenen görüntü tasnifi ve sonrasındaki hassasiyet değerlemesi için seçilmiştir [5].

Takip eden görüntü sınıflandırmasıyla, komşularından bağımsız olarak her bir piksel grubunun izole edilmiş etkileri tanımlanmıştır. Tasnif sonrası düzeltme; görüntünün son düzeltmesi ve bu gibi izole etkilerin saf dışı bırakılması için yürütülmektedir. Bu çalışma 3x3 boyutlu Majority filtresi ile

yapılmakta olup söz konusu filtre, filtre penceresindeki en popüler değerlere göre izole piksellerin yerinin değiştirilmesinde kullanılmaktadır. Ardından düzeltilmiş görüntüler; çalışma alanının boyutlarına göre şekillendirilip ölçeklendirilmektedir.

Tasnif edilmiş haritaların hassasiyet değerlendirmesi, hata matrisleri kullanılarak yapılmaktadır. Hata matrisi; toplam hassasiyet, üretici hassasiyeti, kullanıcı hassasiyeti, Kappa endeksi gibi parametreleri kullanarak hassasiyet değerlendirmesi yapmaktadır. Toplam hassasiyet; toplam düzeltilerek tasnif edilmiş pikselleri belirlemekte ve düzeltilerek tasnif edilmiş piksellerin toplam sayısının, hata matrisindeki piksellerin toplam sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır. Üretici hassasiyeti; düzeltilerek tasnif edilmiş bir pikselin referans alınma olasılığını belirtirken kullanıcı hassasiyeti ise güncel olarak arazi durumuna göre bir kategoriyi ifade eden bir harita üzerinde tasnif edilmiş bir pikselin olasılığını göstermektedir. Diğer taraftan Kappa endeksi ise tasnif haritası ile referans verilerinin örtüşme düzeyini ölçmektedir. Bütün hassasiyet verileri 0 ila 1 arasındaki endeks değerlerine sahip iken 0 zayıf, 1 ise güçlü hassasiyeti/örtüşmeyi sembolize etmektedir.

Kentsel gelişim ve arazi kullanımı değişiminin modellenmesi amacıyla farklı modeller geliştirilmiştir. Bunlar; Markov zinciri, Geomod, CA-Markov ve Arazi Değişimi Modelleyicisi (LCM). Değişimi Modelleyicisi (LCM) aynı zamanda bazı durumlarda çok katmanlı algılayıcısı (MLP)-Markov olarak adlandırılmaktadır çünkü Markov ve çok katmanlı algılayıcısı (MLP) tekniklerinin bir terkiğini ifade etmekte ve çalışma alanında kentsel gelişimin hesabı için seçilmektedir. Yöntem; yakın dönem çalışmalarında LU/LC değişimindeki karmaşık bağıntıların bir simülasyonu için en uygun olanı olarak görülmektedir. LU/LC haritasındaki geçmiş dönem değişimler bazlı olarak gelecek LU/LC değerlerini hesaplayan Arazi Değişimi Modelleyicisi (LCM) üç ana adımdan oluşmaktadır. Bunlar; değişim analizleri, dönüşüm potansiyeli modellenmesi ve değişim hesaplamalarıdır.

Modelleme; 1989 ve 2010 olmak üzere iki farklı tarih için, proje parametreleri olarak iki LU/LC haritasını gerektirmektedir. LU/LC haritaları; çalışma alanındaki değişimin yapısının anlaşılması ve modellenmesi gereken dönüşüm örneklerinin tesisi için bir referans olarak kullanılmaktadır. Dönüşüm potansiyeli haritası; çok katmanlı algılayıcı (MLP) sinir ağı algoritmasının bir ürünü olup lineer olmayan bağıntıların optimize edilebilirliği dolayısıyla seçilmiştir. Çok katmanlı algılayıcı (MLP) çalışma istatistikleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Uygulama değişkenlerinin bütün kombinasyonları her birisinin ilgili etkilerinin değerlendirilmesi için sınanmıştır. Çok katmanlı algılayıcı (MLP) uygulamalı değişkenler ve yapılaşma alanlarından mesafeleri kullanmak suretiyle iyi bir hassasiyet oranı (örneğin %79,15) vermekte olup tekraren yüksek değerler, bağıntının karmaşıklığı ve kullanılan modelleme yaklaşımının matematiksel gereksinimlerini bütünüyle hesaba katamadığından, güçlü bir performans garanti etmemekte, dahası birçok faktör, çok katmanlı algılayıcıda (MLP) yüksek doğruluk oranlarına ulaşmak için hariç tutulmuştur. 1989-2012 arasında dönüşüme uğrayan minimum hücre sayısı 361.045 olup ayrıca bu sayı maksimum numune boyutunu da ifade etmektedir. İdealde RMS hata eğrisi pürüzsüz ve iniş eğimli olmalıdır. Bu tarz çalışmalarda RMS hata eğrisi, hem uygulamalı RMS ve hem de sınamalı RMS eğrileri, doğruluk oranında artış anlamına gelen, düşüş eğiliminde olmaktadır [6].

**Tablo 3.** Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Sinir Ağları İstatistikleri [6]

Maksimum Numune Boyutu	360.045
İterasyonlar	10.000
Uygulamalı RMS	0,2373
Sınamalı RMS	0,2386
<b>Doğruluk Oranı (%)</b>	<b>%79,15</b>

### 3. Bulgular

Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) bir yapay sinir ağı modeli olup bir dizi uygun çıktındaki bir dizi girdi verilerini haritalandırmaktadır. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ağı besleyen ham bilgiyi ifade eden girdi birimlerinin bir etkinliği biçiminde çalışmaktadır. Çıktı birimlerinin davranışı; kapalı birimlerin etkinliğine ve saklı birimler ile çıktı birimleri arasındaki ağırlığa bağlı olmaktadır. Her bir saklı birimin etkinliği; girdi birimlerinin etkinliği ve girdi birimleri ile saklı birimlerin bağlantılarının ağırlığına göre hesaplanmaktadır.

Dönüşüm potansiyelleri; arazi haritaları olup potansiyel olarak dönüşebilecek yerleri ifade etmektedir. Bu haritalar aşağıdaki adımlara göre geliştirilmektedir: ilk olarak; dönüşüm alt modeli durum tablosu kullanılarak tanımlanan dönüşüm potansiyelinin hesaplanması için alt modeller kullanılacaktır. Tablo; iki arazi örtüsü arasında mevcut olan bütün dönüşümleri listelemektedir. Üç alt model dikkate alınmış olup bunlar; zirai alanlardan elde edilen yapılaşma alanları, diğer alanlardan elde edilen yapılaşma alanları ve zirai alanlardan elde edilen diğer alanlar olarak adlandırılmaktadır.

### 4. Değerlendirme

Bu tarz çalışmalar kapsamında kuzeydoğu Illinois bölgesinin büyük bir kısmında kentsel gelişimin incelenmesine teşebbüs edilmiştir. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve simülasyon modelleri, LU/LC değişimlerinin modellenmesi ve analizinde kullanılmış olup LU/LC haritalarının sayısal analizleri 21 yıllık bir süreç için (1989-2010) ciddi bir kaynaklık teşkil etmiştir. Bölge, değerli zirai alanların büyük miktarda kaybına ve kentsel açık alanlarla diğer arazi örtülerinde azalmaya bağlı büyük bir kentsel gelişim tecrübe etmektedir. Bu devasa gelişim, günümüz kent planlaması üzerinde, banliyöler başta olmak üzere, yapılaşmama ve bölünme eğilimleri anlamında artan kaygıları beslemektedir. Örneğin çalışma periyodu boyunca kentleşmiş alan ya da yapılaşma alanı, %80'inin üzerinde bir artış göstermiş olup bu miktar oldukça yüksektir. Aynı zamanda nüfus büyümesi ile kentsel gelişim arasında da bir dengesizlik bulunmakta olup nüfustaki artış sadece %15'de kalmakta, bu da ana etkileyici faktörlerin nüfusun ve metropoliten işlevlerin merkezden uzaklaştırılması ile büyüyen kont alanlarının artan talepleri olduğunu önermektedir.

### 5. Sonuçlar

LU/LC gelişimi sonuçları, takip eden iki on yıldaki gelişme eğilimlerinin de aynı zamanda artış özelliğini koruyacağını göstermektedir. Dolayısı ile daha fazla nüfus kentten banliyöye kayacak olup bu da zirai alan kayıplarına ve Kuzeydoğu Illinois Planlama Komisyonunun tahminleri doğrultusunda daha fazla açık alan kaybına neden olacak, böylelikle kuzeydoğu Illinois'in sürdürülebilir kentsel gelişimini etkileyen bütün taraflarca daha güçlü çabaların gösterilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Genelde bu tarz çalışmalar, kentsel gelişimin analizi, izlenmesi ve hesaplanmasında uzaktan algılayıcı,

coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve arazi değişimi modelleyicisi (LCM) simülasyon modelinin yeterliliklerini ve yetkinliklerini göstermektedir. Dolayısı ile bu kapsamda, kent plancılar ve karar alıcılar için geçmiş dönem LU/LC değişimleri, Chicago metropoliten bölgesindeki önemli problemler ile ilgili erken dönem ölçütleri dizisi ve zirai alanlar ile doğal alanlarda kentsel yayılma etkilerinin sayısallaştırılması ile kullanışlı bilgiler sağlanmaktadır. Bununla beraber bu sonuçlar, gelecekteki işlerde yüksek çözünürlüklü görüntü ve çoklu geçici konumsal doğrulama uygulamalarında gelişim sağlayabilir. Bu sonuçlar aynı zamanda demiryolu istasyonları gibi önemli yerlere olan mesafelerle sosyo ekonomik koşullar ile açıklanabilen ancak bunlar ile sınırlı olmayan diğer önemli faktörler ile arazi gelişim sistemleri modellemelerinin karmaşık kararlarının gelişimini de temin edebilir [7].

### **KAYNAKÇA**

- [1] Ilicali M., Catbas N., Kızıltaş M.s, Ongel A. 2014. Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation, Periodical of Advanced Materials Research, Vol. 831. P.413-417.
- [2] Kızıltaş M., Altan M. 2018. A Review in Term of Service Parameters on the Modal Choices and Mass Transport, İzmir
- [3] Altan M., Kızıltaş M. 2020. Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- [4] Altan M., Kızıltaş M., Ayözen Y. 2020. Comparative Evaluation of the Development, Current Situation and Investment Plans of High Speed Railways on National, Regional and International Basis, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [5] Kızıltaş M., Tekin A. 2017. İstanbul'da Raylı Sistem Hatlarının Hat ve Sefer Entegrasyonlarının İncelenmesi, Transist 2017, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 2-4 Kasım
- [6] Amendo C., Hamm P., Kelly J., Maerz L., Brunette K., Scudato M., Finley G., Greene L. 2016. Autonomous Vehicles-Considerations for Personal and Commercial Lines Insurers. Munich Re.
- [7] Granado F., Coady D., Gillingham R. 2010, The Unequal Benefits of Fuel Subsidies: A Review of Evidence for Developing Countries, World Development Vol. 40, No. 11.





## Ulaştırma, Kentleşme ve Hindistan Kentlerine Yönelik Bir İnceleme

### A Review of Transport, Urban and India Cities

Mehmet Fatih ALTAN<sup>1</sup>, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>2</sup>, Yunus Emre AYÖZEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mehmetaltan@aydin.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mckiziltas@ticaret.edu.tr

<sup>3</sup> DHMİ Genel Müdürlüğü, yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr

**Özet:** Kentleşme içinde bulunulan yüzyılın hareketlilik olgularında birisini teşkil edecektir. Özellikle büyük kentlerdeki gündelik yaşam ve ulaştırmanın seyri oldukça önemlidir. Bu çerçevede tüketim kültürü bağlamında ulaştırma talebinde nelerin öne çıkacağı hususu da belirleyicilik kazanacaktır. Bu çalışmada ilk olarak hızlı ve güvenilir toplu ulaştırma bağlamında İstanbul örneği ele alınmıştır. Ardından ise kentlerin ekonomik gelişim parametreleri değerlendirilmiş ve sonrasında Hindistan kentlerinden örnekler paylaşılmıştır. Bu bağlamda Hindistan kentlerinin toplu ulaştırma çeşitliliği de incelenmiştir. Bu kapsamda son olarak da sonuç ve öneriler ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaştırma, kentleşme, toplu ulaştırma

**Abstract:** Urbanization is one of the main mobility phenomena of these century. Especially daily life and transport trend on big cities are very important. In this framework in the context of consumption culture priorities on transport demand issue will gain determinacy. In this paper firstly Istanbul sample is reviewed in the context of high speed and safety mass transport. Then economical development parameters of cities are evaluated and India cities samples are shared. In this context variety of India cities' mass transport is expressed too. And recommendations are given.

**Keywords:** Transportation, urbanization, mass transport

### 1. Giriş

Hızlı ve güvenilir bir toplu taşıma sistemi sayesinde, trafik tıkanıklığı içinde boğuşan özel araç sürücüleri, toplu ulaşım araçlarının hızlı ve düzenli işleyişlerini gördükçe bu sistemlere kayacaklardır. Vatandaşlarımızın yolculuk tercihlerinde tek yolculu özel araç oranı %10 olmasına karşın yapılan sayımlarda yollardaki toplam araçlardaki payı %80- %85'lere ulaşabilmektedir. Toplu ulaşımın karayolundaki payı %15 civarı iken yolculuktaki payı en az %70 seviyesindedir [1].

İstanbul'da 1. ve 2. Boğaz köprülerinin inşa edilmesi, şehrin yapısında ve ulaşım sisteminde önemli ölçekte değişimleri beraberinde getirmiş olup 29 Ekim 2013 itibarıyla bir bölümünün açılış gerçekleştirilen Marmaray da şehrin ulaşımında ve köprü trafiğinde belirgin bir etki oluşturacaktır. Daha önce de ifade ettiğimiz üzere, banliyö hatlarının da tamamlanmasıyla Gebze-Halkalı arasında İstanbul'un güney aksında doğu-batı hattı boyunca Marmaray önemli bir trafik talebini karşılayacaktır. İstanbul'da ulaştırma sisteminde karayolu ulaştırma türünün türel dağılımında ağırlıklı bir payı olup bu ağırlık boğaz köprülerinin inşasıyla birlikte daha da artmıştır. Bir diğer etken ise, boğaz köprülerinin inşasının, şehrin her iki yakasının hem Boğaziçi ekseninde ve hem de Marmara kıyıları ve iç bölgelerde

gelişimini hızlandırmıştır. Boğaz köprülerinin inşası, doğrudan ya da dolaylı olarak otomobil sahipliği oranlarının artmasına ve Asya-Avrupa yakaları arasındaki nüfus ve istihdam dağılımının nispeten Asya yakası lehine değişmesine katkıda bulunmuştur. Aşağıda Tablo 1’de yıllara göre, boğaz köprülerinin inşasına paralel olarak şehrin Asya-Avrupa yakaları nüfus dağılımları gösterilmiştir [1].

**Tablo 1.** İstanbul’ da Yıllara Göre Asya-Avrupa Yakaları Nüfus Dağılımı [1]

İstanbul	1970	1980	1990	2000
Avrupa Yakası	76%	69%	66%	64%
Asya Yakası	24%	31%	34%	36%

Tablo 1’de görüldüğü üzere 1.boğaz köprüsünün inşası öncesinde Avrupa yakasının şehrin nüfusundaki ağırlığı %76’larda iken inşa sonrasında bu oran %69’lara düşmüş, 2.boğaz köprüsünün de tamamlanmasıyla birlikte 1990’larda bu oran %66’lara gerilemiştir. 2000 yılı başlarında ise Avrupa yakasının ağırlığının %64’e düştüğü görülmektedir.

Bu çerçevede; öncelikle 1.Boğaz Köprüsünün inşası ile birlikte gelişim süreci hızlanan Altunizade’nin, metrobüs hattındaki ana istasyonlardan birine dönüşmesi paralelinde, yapılan yatırımlarla değerini ve merkezi konumunu güçlendirdiği görülmektedir. Takibinde; inşaatına yakın bir geçmişte başlanan ve hızla devam eden, 2015’te bitirilmesi öngörülen Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy-Sancaktepe Metro Hattı’nın ana istasyonlarından biri de yine Altunizade olacaktır. Ayrıca; asrın projesi olarak görülen ve en genel ölçekte Pekin-Londra kesintisiz demiryolu hattının önemli bileşenlerinden biri olacak olan Marmaray Projesi’nin iki yakasının çok yakın bir tarihte açılmasıyla beraber, Altunizade; projenin iki ana aktarma merkezinden birine ev sahipliği yapacak olan Üsküdar’a da yakınlığı nedeniyle, bu yatırımdan doğrudan etkilenecektir.

## 2. Kentlerin Ekonomik Göstergeleri ve Küresel Bakış

Kentler ekonomik gelişim ve refahın teşvikinde hayati bir rol oynamaktadır. Kentlerin gelişimi büyük oranda, fiziksel, sosyal ve kurulumsal altyapılarına bağlı olmaktadır. Bu bağlamda kent içi ulaştırmanın önemi büyüktür. Bu kapsamda yapılan çalışmalarla Hindistan’da kentsel ulaştırma konuları değerlendirilmektedir.

**Tablo 2.** Hindistan’da Yıllara Göre Toplam Kayıtlı Motorlu Araç Sayısı (X1000) [2]

Yıl	Toplam Araç	İki Tekerlekli	Otomobil, Jip ve Taksiler	Otobüsler	Kamyon- Kamyonet	Diğer
1951	306	27	159	34	82	4
1961	665	88	310	57	168	42
1971	1865	576	682	94	343	170
1981	5391	2618	1160	162	554	897
1991	21374	14200	2954	331	1356	2533
1999	44875	31328	5556	540	2554	4897
2000	48857	34118	6143	562	2715	5319
2001	54991	38556	7058	634	2948	5795
2002	58863	41478	7571	669	3045	6100

Tek başına kentler sadece özel araç ve iki tekerleklilerden oluşan trafiğin maliyetini karşılayabilecek durumda değildirler. Toplu taşıma olmaksızın kentlerin daha az yaşanabilir olacağı yönünde bir farkındalık gerekmektedir.

2000 yılı süresince, 13 büyük kentten 6'sında toplam araç sayısının %90'ından fazlasının özel otomobil olduğunu ortaya koyulmaktadır. Birçok Hindistan büyük kentinde özel otomobillerle kıyaslandığında otobüs sayısı göz ardı edilebilir düzeylerde. Örneğin iki tekerlekli ve otomobillerin toplamı, Kanpur'daki toplam araç sayısının %95'ini teşkil ederken, Haydarabad ve Nagpur'daki araçların ise %90'ını teşkil etmektedir. Bu üç kentte otobüs oranları ise sırasıyla %0,1, %0,3 ve %0,8'dir.

**Tablo 3.** Delhi'de Modal Dağılım Eğilimi [2]

Ulaştırma Modu	Modal Pay (%)			
	1969	1981	1986	1994
Otobüs	41,0	62,0	62,0	62,0
Otomobil	59,0	38,0	38,0	6,9
İki Tekerlekli				17,6
Bisikletli				6,6
Bisikletli Triportör				3,5
Diğer				3,4

Hindistan'da nüfusu 100.000 ve üzerinde olan kentlerde toplam gelişmiş alanın sadece %16,1'lik kesimine karayolları ve caddeler ulaştırılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise buna karşılık gelen oran %28,19'dur. İlginç olan ise Hindistan'ın ticari başkenti olan Mumbai'de bile ulaştırma için kullanılan alan yüzdesi, gelişmiş dünyadaki emsallerine kıyasla oldukça azdır. Genelde Hindistan kentlerinde yol alanı oldukça yetersizdir. Durumu kötüleştiren bir etken olarak, Hindistan kentlerindeki anayolların ve kavşakların çoğu parkeden araçlar, yol kenarı işportacıları ve yolu işgal eden meskûnlarca ağır bir şekilde gasp edilmiştir. Bu faktörlerin bir sonucu olarak, araç hareketliliği için gerekli olan alanlar azalmıştır [2].

Hindistan'daki mevcut kentsel demiryolu hizmetleri son derece sınırlıdır. Sadece dört kentte (Kalküta, Mumbai, Delhi, Çennay) kentsel demiryolu hizmetleri bulunmaktadır. Bu dört büyük kentte demiryolu hizmetiyle taşınan toplam yolcu sayısı 7 milyon yolculuk/gün'ü bulmaktadır. Mumbai banliyö demiryolu sistemi tek başına 5,5 milyon yolculuk/gün'lük hizmet sunmaktadır. Aynı zamanda diğer birkaç kent de sınırlı kentse raylı sisteme sahiptir fakat bu kentlerdeki önemli ölçüdeki bir ulaştırma talebini karşılamak durumundadırlar [3].

### **2.1. Hindistan'da Büyük Kentlerde Ulaştırma**

Hindistan kentleri aynı zamanda şiddetli trafik tıkanıklıklarıyla karşılaşmaktadır. Artan trafik ve sınırlı yol kapasitesi birçok büyük kentin merkezi alanlarında pik saatlerdeki hızları 5-10 km/saat'lere kadar düşürmektedir. Bu aynı zamanda araç emisyonlarının yükselmesine de neden olmaktadır. Bilim ve Çevre Merkezi'ne göre (CSE) üç ana hava kirleticinin (CO, hidrokarbonlar ve nitrojen oksitler) miktarı, motorlu taşıt hızlarındaki düşüşle şiddetli artış göstermektedir. Örneğin 75 km/saat'lik bir hızda, CO emisyonu 6,4 mikro gram/araç-km olup 10 km/saat'lik hızda 5 kat artarak 33,0 mikro gram/araç-km'ye yükselmektedir. Benzer şekilde, aynı hızlarda, hidrokarbon emisyonları 4,8 katlık bir artışla 0,93 mikro gram/araç-km'den 4,47 mikro gram/araç-km'ye yükselmektedir. Bu durumda

Hindistan kentlerindeki genel trafik tıkanıklığı, özellikle de pik saatlerde, sadece gecikmeleri değil fakat aynı zamanda da hava kirliliği düzeylerini de arttırmaktadır.

Hindistan aynı zamanda ciddi karayolu trafik kaza problemleriyle karşı karşıyadır. Karayolu Ulaştırması ve Otoyolları Bakanlığı'na göre 2001 yılı boyunca yaklaşık 80.000 insan karayolu trafik kazalarında ölmüştür. Son on yılda karayolu kaza ölümleri yıllık %5'lik artışla artmaktadır. Hindistan kentlerinde karayollarındaki ölümlü kazalarda yıllık artış oranı %5'in çok az altında olmasına karşın, bu alanlar ciddi karayolu trafik güvenliği problemleriyle karşı karşıyadır. Örneğin Hindistan'daki dört mega kent bütün karayolu trafik kazalarının %5,4'ünü meydana getirirken Hindistan nüfusunun %4,4'ü bu kentlerde yaşamaktadır. Tablo 9'da, Hindistan'da seçili metropoliten kentlerinde karayolu kaza kayıp nedenleri gösterilmektedir. Ulaşılabilir istatistiklerin verildiği son yıl olan 1997'de 10 metropoliten kent toplamındaki kaza sayısı 74.073 olup bunların 6293'ü ölümlü kazalardır. Aynı yıl, motorlu taşıt sahipliğinin 2,8 milyona ulaştığı Delhi metropoliten bölgesinde %21'i ölümlü olmak üzere yaklaşık 11.000 trafik kazası kaydedilmiştir. 1990-1997 yılları arasında, kentlerden seçili bir örnekteki verilerin analizi, herhangi bir standarttan oldukça yüksek olarak ölümlü kazalarda yıllık %4,1'lik artış kaydedildiğini göstermektedir. Trafik kaza şiddeti endeksi (100 kaza başına düşen ölüm sayısı) Ahmedabad, Bangalor, Kalküta ve Mumbai dışındaki diğer bütün kentler için oldukça yüksek çıkmaktadır [4].

Açıkça görülmektedir ki Hindistan'da, diğer herhangi bir ülke örneğinde olmadığı kadar, bisikletli ve yaya kaza kayıpları toplam karayolu kaza kayıpları içerisinde önemli bir orana sahiptir. Çünkü ulaştırma tesislerinde motorlu araç trafiğini; triportörler, bisikletliler, yayalar ve motorsuz ulaştırma araçlarından ayıran az sayıda düzenleme bulunmakta olup bu durumda da Hindistan kentlerinde yayalar daha büyük trafik kazalarıyla karşılaşma risklerine sahip olmaktadır. Kentin fakirleri, günlük yolculuklarında yaya ve motorsuz taşıtla seyahat etme ihtimalleriyle daha çok yüz yüze gelmekte olup bu da kentin varlıklı kesimine nazaran trafik kaza risklerinin artması anlamına gelmektedir. Hem kentin fakir kesimine sübvansiyonlarla toplu taşımının daha uygun hale getirilmesi ve hem de karayolunun yaya ve bisikletli için daha güvenli hale getirilmesi adına ciddi girişimlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

**Tablo 4.** Hindistan'da Seçili Metropoliten Kentlerde Karayolu Kaza Kayıpları [4]

Metropoliten Kentler	1990			1997		
	Ölümlü Kazalar	Trafik Kazaları	Kaza Şiddeti Endeksi(ASI)	Ölümlü Kazalar	Trafik Kazaları	Kaza Şiddeti Endeksi(ASI)
Ahmedabad	195	2873	7	239	3229	7
Bangalor	562	6729	8	704	8722	8
Çennay	507	5877	9	749	5171	14
Delhi	1670	7697	22	2342	10957	21
Haydarabad	276	1412	20	377	2108	18
Jaipur	235	1062	22	303	2022	15
Kalküta	463	10911	4	471	10260	5
Mumbai	400	25331	2	401	27421	1
Nagpur	166	1139	15	387	1496	26
Pune	275	1387	20	320	2687	12

Hindistan kentsel alanında yolcu hareketliliği ağırlıklı olarak karayollarına dayanmaktadır. Birkaç mega kent için demiryolu tabanlı ulaştırma hizmetleri söz konusu olsa da, diğer milyon nüfuslu kentlerin ulaştırma talebinin karşılanmasında demiryollarının kayda değer bir rolü söz konusu değildir.

Çeşitli idari düzeylerin (merkezi, eyalet, yerel) finansal sağlamlığı ve demiryolu tabanlı toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi için gerekli yatırımlar dikkate alındığında, gelecekte Hindistan kentlerinde toplu taşıma hizmetlerinin sağlanmasında otobüs ulaşımının ana rolü oynayacağı bellidir.

## **2.2. Toplu Ulaştırma Çeşitliliği**

Karayolu tabanlı yolcu taşımacılığının değişen modları yeterli olup otobüs karayolu üzerinde daha az yer kaplamakta ve bireysel taşıma modlarına nazaran daha az hava kirliliği/yolcu-km'ye neden olmaktadır. Tablo 6'da detaylı olarak verilmektedir. Ayrıca kentsel taşıma planı otobüs taşımasını teşvik etmelidir [5]. Hindistan kentlerinde otobüs taşıması hizmetlerinin çeşitlendirilmesi için ciddi bir ihtiyaç bulunmaktadır. Bir fırsat olarak insanlar geniş bir seçenek aralığında tercih yapabilmektedirler fakat birçok yerde kent otoriteleri otobüs hizmetlerini temel bir standart olarak uygun görmektedir. Daha yüksek ücretler karşılığında garantili koltuklar ya da ekspres otobüsler gibi özel hizmetlerin sağlanmasının çoğu zaman eşitlikçi olmadığı düşünülmektedir. Diğer bir deyişle çeşitlilik çoğu zaman sınırlandırılmaktadır.

**Tablo 6.** Özel ve Toplu Taşıma Araçları Kaynaklı Kirlilik Oranları ve Tıkanıklık Etkileri [5]

<b>Araç Tipi</b>	<b>Araç Başı Ortalama Yolculuk</b>	<b>Hava Kirliliği (Mikro gram/yolcu-km)</b>	<b>Tıkanıklık Etkisi (Birim Otomobil/Yolculuk)</b>
Çift çekerli iki tekerlekli benzinli motor	2	7,13	0,375
Dört çekerli iki tekerlekli benzinli motor	2	4,76	0,375
Katalitik dönüştürücü benzinli motor	4	0,93	0,25
Dizel motorlu otobüs	40	1,00	0,075

İdari düzenlemeler ve kontrol, Hindistan kentlerindeki otobüs taşıma hizmetlerinin ana tedarikçileri olan kamuya ait kentsel taşıma girişimlerinin işletimsel ve finansal performanslarındaki yetersizlikleri arttırmaktadır. İşletimsel artışların mali yansımaları gibi, taşıma sistemleri vergi artışı kaynaklı finansal baskıya maruz kalmakta fakat politikacılar da vergileri mevcut düzeylerinde tutma yönünde baskıyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Sistem sübvansede edilmedikçe, kayba neden olan ya da daha az karlı hizmetlerini devre dışı bırakmak zorunda kalmaktadır. Demokraside politikacılar maliyet artışlarına nede olan işletme bakımlarında ısrar etmek ve hizmetlerdeki eksiklerden kaynaklı tehditlere karşı hesap vermek durumundadır. Buna bağlı olarak; taşıma girişimleri, işletme maliyetlerini de karşılayarak yeterli ölçüde kar edebilmeyi zor bir olasılık olarak görmektedirler. Ayrıca; farklı türlerdeki bir dizi yüksek vergi ödemelerinin yanı sıra, aktivistler, gazeteciler ve öğrenciler gibi çeşitli gruplara imtiyazlı seyahati tesis etmek durumundadırlar. Yetersiz işletim performansı ve hizmet kalitesinde bozulmaya neden olan filolarının artırılması ve yönetiminde kentsel taşıma girişimleri dikkat çeken bir şekilde zorlaşmaktadır.

Birkaç istisna dışında Hindistan'da kamusal kent taşıma girişimleri özel sektöre kontrol edilen taşıma işletmelerine kıyasla daha yüksek maliyet birimlerinde işletilmektedir. Kalküta; özel sektör otobüs sistemi ve kamusal otobüs sisteminin doğrudan karşılaştırılabileceği bir imkânı sunmaktadır. Bu kentte kamu otobüsleri 1250'den fazla otobüsten oluşan filosu ve 11 personel/işletimdeki otobüslük kadrosuyla Kalküta Devlet Ulaştırma Kurumu (CSTC) tarafından işletilmektedir. Kalküta Devlet Ulaştırma Kurumu (CSTC) aynı zamanda karı %15'inden fazlasına denk gelen bir vergiden de muaftır. Düşük üretkenlik v vergi muafiyetinin bir sonucu olarak, karlar maliyetin yarısından azına karşılık

geldiğinden sistem önemli miktarda bir sübvansiyonu gerektirmektedir. Diğer taraftan kentte 1800 özel otobüs de bulunmaktadır. Bu otobüsler genel olarak küçük şirketler ya da bireysel hat sahiplerinden oluşturulan bir dizi hat işletmecilerince işletilmektedir. Vergi oranlarındaki yakınlıklara rağmen, herhangi bir sübvansiyon olmaksızın finansal olarak ayakta kalabilecek durumdadır. Bu başarı yüksek düzeydeki üretkenlikle ilişkilendirilmekte olup düşük personel oranları ve büyük filo yeterlilikleri üzerinden okunabilmektedir. Kalküta'da piyasanın neredeyse 3'te 2'sini oluşturan özel otobüs işletmecileri talebin karşılanmasında ana bir rol oynamakta ve bu durum da eyalet hükümeti üzerindeki finansal yükü ciddi anlamda hafifletmektedir. Ayrıca kamusal kent ulaştırma girişimleri, çoğu zaman organizasyon eksikliği, personel alımı ve çıkartılması yeterliliği ya da değişen koşullara adapte olmak için gerekli finansal karar yetkisinden yoksundur. Bu gibi durumlarda, otobüs ulaştırması hizmetlerinin temininde özel sektör girişimlerini teşvik eden bir politikanın önü açılmalıdır. Hindistan kentlerinde, hizmet düzeyinin hem kalitesi ve hem de miktarının artırılması için toplu taşıma hizmetlerinin yeniden yapılandırılmasında acil bir ihtiyaç söz konusudur [6].

Modlararası entegrasyonu bütünüyle sağlanmış bir ulaştırma sistemine acil olarak ihtiyaç bulunmaktadır. Ara toplu taşıma dâhil toplu taşımanın farklı modları eş zamanlı olarak çalışmalıdır. Bütün modlar, birbirleriyle kıyasıya rekabetten ziyade, birbirini tamamlayıcı olarak çalışmalıdır. Şimdilerde Hindistan kentlerinde farklı acenteler, birbirinden bağımsız olarak farklı hizmetlerle işletilmektedir. Örneğin Delhi'de metro; Delhi Metro Demiryolu Kurumu tarafından, banliyö hizmeti Kuzey Demiryolları tarafından, otobüs ulaştırma hizmeti Delhi Ulaştırma Kurumu tarafından ve taksilerle triportörlerle özel işletmeciler tarafından işletilmektedir. Bu acenteler arasında bir koordinasyon eksikliği söz konusudur. Nihai amaç, yeterli ve verimli bir ulaştırma sisteminin sağlanması olduğundan, farklı modların işletiminin koordinasyonunda atanan rollerdeki otoritelerin koordinasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koordinasyon otoritesi, merkezi ya da yerel idare tarafından atanabilmekte olup özel taksi işletmecileri, otobüs işletmecileri, demiryolları ve yerel idare gibi farklı paydaşlardan temsilcileri barındırmalıdır. Anahtar hedef; günlük ev iş yolculukları için hizmet sunumu ve konfor verimliliğinin artırılmasında farklı ulaştırma modlarının entegrasyonunun sağlanması olmalıdır. Hindistan'da iki ve üç tekerlekli motorların çoğu, yarı yanmalı yapıya bağlı olarak yanmamış partiküllerin yüksek hacimde yayılımına bağlı çift çekerli motorlarla işletilmektedir. Benzer şekilde, piyasaya henüz giriş yapmış çoğu dizel araç önceliklidir zira Hindistan'da dizel fiyatları petrol fiyatlarından çok daha ucuzdur. Hükümet fiyat farklılaşmasını, temel olarak çiftçilerle otobüs ve kamyon işletmecilerinin yararına teşvik etmektedir. Bu fiyat faydası, özel araç sahiplerine yönelik değildir. Dizel araçlar daha az sera gazı emisyonu yaymasına karşın, yüksek nüfus yoğunluklu metropoliten kentlerde partiküler yapılı emisyonlarının kamu sağlığı üzerine etkileriyle ilgili ciddi endişeler bulunmaktadır [6]. Hükümet daha temiz teknoloji ve yakıtın teşvikinde piyasa bazlı enstrümanları kullanmalıdır. Örneğin, araç yaşına göre artabilen nispeten yüksek olan yıllık motorlu araç vergileri, çift çekerli çift tekerlekli araçlarla 10 yaşından büyük bütün araçlarda empoze edilebilir. Benzer şekilde dizel yakıtlı araç kullanımı eğilimi, milyonluk kentlerde dizel vergisi alınması suretiyle frenlenebilir. Trafik tıkanıklığı ücretlendirmesi, otopark ücretlendirmeleri, yakıt vergileri ve diğer ölçütler, bütün bireysel ulaştırma modlarının kullanımını dizginlemede kullanılabilir. Kural ve kontrol mekanizması yerine piyasa bazlı enstrümanların kullanımı yoluyla caydırıcılık teşvik edilmelidir. Genel olarak Hindistan kentleri trafik tıkanıklığı ücretlendirmesi ve otopark fiyatlandırması gibi talep tarafının yönetimine dair ölçütlerin uygulanması noktasında çok bir ilerleme kat edebilmiş değildir. Özel araç ve iki tekerlekli araçlarının kullanımının kısıtlanmasını da içeren politik ölçütler popüler görülmemesine karşın, yol kullanımındaki kısıtlamaları da ihtiva ederken aynı anda toplu taşımanın geliştirilmesini de gözetilen bir kademeli ilerleme yaklaşımı, daha geniş bir kabulü sağlayacak gibi görünmektedir. Geliştirilmiş bir toplu taşıma ve daha verimli bir talep yönetimi, bireysel ulaştırma modlarının yaygınlaşmasıyla çatışacaktır.

Tek yönlü trafik, sinyalizasyonun geliştirilmesi, karayolu ağı ve kavşaklarda trafik mühendisliğinin geliştirilmesi ve otobüs öncelikli şeritler gibi arz ölçütleri, özellikle metropoliten kentler başta olmak üzere bütün kentlerde devreye sokulmalıdır, böylelikle mevcut karayolu kapasitesi ve karayolu kullanıcılarının güvenliği arttırılacaktır. Bunlar kısa vadeli ölçütler olarak değerlendirilebilir. Milyonluk kentlerde aynı zamanda, karayolu ağının uzatılması, karayolu hiyerarşisi, hizmet yollarının temini (baypaslar, ring yolları, otobüs cepleri, geniş orta refüjler, kavşakların geliştirilmesi, yaya geçitleri ve yolların inşa ve bakımı, taşkınların uzaklaştırılması, iyi yüzey drenajları) devreye sokulabilir. Bunlar da orta vadeli ölçütler olarak dikkate alınabilir. Kısa ve orta vadeli ölçütlerin yanı sıra; teknoloji gelişimiyle özellikle yüksek yoğunluklu trafik koridorlarında yüksek hızlı ve yüksek kapasiteli toplu ulaşım sistemlerine geçilmesi gibi uzun vadeli ölçütlere de ihtiyaç duyulmaktadır [7]. Bir kentsel ulaşım stratejisi aynı zamanda; bisiklet, bisikletli triportör ve yaya gibi yeşil dostu modların gelişimini de teşvik etmelidir. Her şeyden önce bisikletlilerin ve yayaların güvenlik endişesi, yeterli düzeyde karşılanmalıdır. Bu amaçla yolların sağ şeritleri bisikletliler ve yayalar için ayrılmalıdır. Bu durum güvenliğin arttırılmasının yanı sıra, trafik akımının geliştirilmesi, trafikteki ortalama hızın arttırılması ve düşük hızlardan kaynaklı emisyonların azaltılmasına da yardımcı olacaktır. Bisikletle seyahat mesafelerinin arttırılması için de bisiklet teknolojisi geliştirilmelidir. Vitesli ve şambriyelsiz lastikli daha hafif bisikletler daha uzun mesafe seyahatler için ideal olabilir. Hükümet daha hafif ve daha verimli bisikletlerin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesini teşvik edebilir. Çoğu Hindistan kenti ulaşım problemlerini etkin bir şekilde çözmekten uzaktır, bunun temel nedeni ise uygun kurumsal kapasite ve gerekli finansman kaynaklarıyla donatılmamış olmalarıdır. Bunun nedeni ise kentsel ulaşımda işlevsel sorumlulukların merkezi, eyalet ve yerel düzeydeki idarelerce parçalanmış olmasına karşın aralarındaki bütün koordinasyonu sağlayacak bir birimini olmayışdır. Kentsel alanların idaresi ilk olarak Hindistan eyalet yönetimlerinin sorumluluğundadır. Bununla beraber çeşitli anahtar acenteler, eyalet veya yerel idareye karşı herhangi bir hesap vermeksizin merkezi hükümet altında, kentsel ulaşım planlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Merkezi hükümet dört mega kentte Hindistan Demiryolları'nca banliyö demiryolu hizmetlerinin temininde doğrudan müdahildir. Hindistan Karayolu Ulaştırması ve Otoyolları Bakanlığıkentsel alanlardaki uzantıları dâhil olmak üzere ulusal otoyollardan sorumlu olup yerel idareler ise kentsel ulaşımda yoğun bir şekilde kullanıldığı halde bu uzantıların işletimi ve yönetiminde herhangi bir rol sahibi değildir.

### **3. Bulgular**

Eyalet hükümetleri; yerel arazi kullanım politikalarını, motorlu taşıt ve satış vergilerini, otobüs ulaşım sistemlerini ve özel sektör bileşenlerine dair politikaları bağımsız olarak kontrol etmektedir. Belediye düzeyindeki yerel idarelerin çoğu hemen her altyapı projesinde eyaletlerden sağlanan anapara başına ciddi anlamda güvenmektedir. Kentsel Yerel Birimler (ULBs) kentsel ulaşımın geliştirilmesiyle ilgili sorumluluklar noktasında, 1992 yılındaki yasayla (74.yasa değişikliği) yetkilendirilmiş olmasına karşın çoğu, finansal kaynakların arttırılması noktasında yeterince güçlü değildir. Bu kurumların karları genelde eyalet düzeyinden sağlanan idareler arası para tedariki, emlak vergisi karları ve kente giriş vergilerine dayanmaktadır. İlk ikisi birçok Kentsel Yerel Birimler'de (ULBs) ana kaynakları teşkil etmektedir. Bununla beraber kente giriş vergisi de; Gucerat, Maharashtra, Orissa, Pencab ve Manipur gibi eyaletlerde kimi Kentsel Yerel Birimler'in (ULBs) ana kaynaklarını teşkil etmektedir. Kentsel Yerel Birimler'in (ULBs) karları mevcut harcamalar ve maaşları karşılamaya ancak yetmekte ve çoğu anapara yatırımları Kentsel Altyapı Gelişim Kurumu'ndan (UIDCs) alınan kredilerle fonlanmaktadır. Kamuya sağlanan altyapı hizmetlerinin teşviki için kullanılan ödemelerden edinilen kar minimal düzeydedir.

#### **4. Değerlendirme**

74 sayılı yasa değişikliği, yerel idare düzeyinde idari ve mali âdemi merkeziyetçiliği sağlamayı amaçlamış olmasına karşın, bu bağlamdaki süreç yavaş olup bunun birincil nedeni fon temininde yerel idarenin halen merkezi hükümete yüksek düzeylerde bağımlılığıdır. İlave vergi karlarının arttırılması noktasında herhangi bir güce sahip değildirler ve yönetimler arası aktarım düzenlemelerine bağlıdır. Mevcut durumda Hindistan'daki eyalet hükümetlerinin çoğunun mali zorluklar karşı karşıya olmasından ve hatta bazılarının ekonomik krizde olmasından dolayı, kentsel ulaştırma finansmanı eyalet düzeyindeki mali zorluklardan etkilenmektedir. Ayrıca yerel idareler kendi karlarını üretme noktasında kapasite yoksunluğuyla yüz yüzedir. Bu durum devam ettiği müddetçe, çoğu kent kendi ulaştırma altyapısını geliştirmekten uzak kalacaktır. Kentsel alanlarda proje geliştirilmesi noktasında fon artışı için eyaletlere bağımlı olmaktansa Kentsel Yerel Birimler'in (ULBs) güçlendirilmesi için baskıya ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda, kendilerine ait kentsel alanlarda, farklı idari acentelerince ulaştırma altyapılarının teminiyle ilgili bütün etkinliklerin koordinasyonu için yasal dayanaklı otoriteler haline de getirilmelidirler [7].

#### **5. Sonuçlar**

Ülkemiz; şehirleşme ve şehirlilik kavramının içini gerek teoride gerekte pratik uzun yıllar boyu tam olarak dolduramamış, bu da her alanda olduğu gibi planlama eksiklikleri ve disiplinler arası koordinasyon kopukluğu gibi sebeplerle birleşerek karmaşık problemlere yol açmıştır. Kültürel ve sosyal düzeyde üretilemeyen çözümler, ekonomik kısıtlarla da birleşince göç olgusu büyük bir ivmeyle ortaya çıkmış ve Cumhuriyet tarihi boyunca 4 ana göç dalgası ortaya çıkmıştır. Bu göç dalgalarının her birinin dönemsellik ve karakter olarak kısmi farkları olmasına karşın, geneli itibariyle önce köyden köyün bağlı olduğu kasaba, nahiye, ilçe ve il merkezine, sonraki adımda; il merkezlerinden yöre merkezlerine, sonrasında bölgesel merkezlere, son adım olarak ise İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Adana, Mersin, Kocaeli, Konya, Antalya, Samsun ve Manisa gibi merkezlere doğru bir göç yönü ortaya çıkmıştır.

Modern dönemle birlikte; birçok kavramda ve içerikte olduğu gibi 'şehirleşme' olgusunda da en azından algı bazında köklü dönüşümlerin gerçekleştiğine şahitlik ettik. Ancak bu; problemlerin kökten çözümü yerine, birçok sorunsalı ve sorgulamaları da beraberinde getirdi. Post modern süreç ise; birçok olgu ve olaya yeni tanımlar ve içerikler getirmek yerine, modern dönemde oluşan kimi kavramsal sorunsallara daha geniş bir hareket alanı açtı. Ama bu kavramsal sorunsalların, hareket kabiliyetinin artmasına paralel, çözümlere bütünüyle mümbit bir zemin açıldığı anlamına da henüz gelmemektedir [8].

Modern süreçle birlikte; teknik imkânların alabildiğine gelişmesine paralel, sadece kavramların dönüşmesine değil aynı zamanda yeni kavramların meydana çıkmasına da şahitlik ettik. Bu çerçevede; bizler teknik imkânların hizmet ve insan odaklı olarak seferber edilmesine paralel, verimliliğin mevcut olanaklar dâhilinde azami ölçülere çekilme gayesine esas alan anlamda 'akıllı' kelimesini kullanmaktayız. Akıllı yollar, akıllı binalar, akıllı şehirler ve benzeri kavram yaklaşımlarımız buna birer örnek teşkil etmektedir [8].





## KAYNAKÇA

- [1] Kızıldaş M., Altan M. 2017. Evaluation of Intermodal Integration on the Context of Marmaray and Bosphorus Bridges, IRF Regional Congress, Dubai.
- [2] Altan M., Kızıldaş M., Ayözen Y. 2020. High Speed Railways, Current Status and Development Trends at International Scale and Turkey, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [3] Xia C., Xia H., Roeck G. 2014. “Dynamic response of a train-bridge system under collision loads and running safety evaluation of high-speedtrains, Computers and Structures, vol. 140, pp.23–38.
- [4] Zhou H., Ni Y., Ko J. 2010. “Constructing input to neural Networks for modeling temperature-caused modal variability: mean temperatures, effective temperatures, and principal components of temperatures,” Engineering Structures, vol. 32, no.6, pp.1747–1759.
- [5] Geurs K., vanWee B. 2004. Accessibility evaluation of land-useand transport strategies review and research directions, Journal of Transport Geography 12, 127– 140.
- [6] Ureña J., Menerault P., Garmendia M. 2009. “The high-speed rail challenge for big intermediate cities: A national, regional and local perspective”, Cities, 26, 5, 266-279.
- [7] 10. Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu, 2012. Ankara
- [8] Altan M., Kızıldaş M. 2018. Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Ev-İş Ulaşım Hizmeti Modellemesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1):99-105.



## Examination of the Impact of the Covid-19 Outbreak on Sea Freight Transportation

Oğuz ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Eda TURAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Technical University (Naval Architecture and Maritime Faculty, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey, 05332850762, ozturko@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup> Yıldız Technical University (Naval Architecture and Maritime Faculty, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey, edaturan@yildiz.edu.tr)

**Abstract:** The Covid-19 outbreak has caused negative effects in the transportation industry, as in all sectors. Due to bans, restrictions, panic and fear, the share of transport has decreased in all modes. The contraction in production, sales and purchasing caused a decrease in the amount of cargo transported by sea and a decrease in the number of ships used. In the study, by giving examples from some countries, the amount of contraction caused by the pandemic in sea transportation is focused on.

### 1. Introduction

The Coronavirus (COVID-19) outbreak occurred in Wuhan (China) in December 2019 and affected more than a million people in about 100 days. It caused more than 60,000 deaths worldwide. The scale and trajectory of the spread led the World Health Organization (WHO) to declare COVID-19 first as a global emergency on February 20, 2020, and then as a pandemic on March 11. Major exchanges witnessed a double-figure drop, and the S&P 500 took a 30% drop in 16 trading days [1].

The epidemic of COVID-19, which occurred in the Wuhan region of the People's Republic of China on December 1, 2019, spread rapidly and affected the world and was declared as a global epidemic by the World Health Organization in March 11, 2020. The rapid spread of coronavirus has had a major impact on global shipping markets, with the slump in demand for goods from China having a ripple effect on everything from container ships to oil tankers [2].

The study examines the negative effects of the pandemic that broke out in the world maritime transport industry in early 2020 compared to the situation in 2019. Here are some of the world focused on samples taken from both countries are discussed as well as the effects of the pandemic on the sea road freight transport in Turkey.

### 2. Developments in Freight Transport in the World Shipping Industry and COVID 19

It is necessary to examine the situation before the epidemic started in order to reveal the effects of the epidemic on ship freight transportation. As it is known, 81% of international freight transportation in the world is transported by sea. This is a very important share and in parallel with the developments in the world industry and industrial sectors, the loads carried are increasing significantly. This increase is also reflected in the loads transported by seaway [3].

## 2.1 The situation before Covid-19

When the developments in the maritime sector until the beginning of 2020 are examined, it generally maintains its share with minor fluctuations. A significant portion of the products and raw materials produced in the world and in our country are transported by sea. Table 1 shows the amount of cargo transported by sea in the world, the rates of change and the rate of change of the share of sea transportation.

**Table 1.** World Trade and Maritime Transport [3]

World Trade and Maritime Transport										
Sea Freight Multipliers	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	10(*) Years	5 (*) Years
World Maritime Transport Development	3.5%	3.3%	2.1%	3.0%	4.2%	2.6%	2.8%	3.1%	4.0%	2.9%
World Sea Freight (billion tons)	10.19	10.53	10.75	11.07	11.53	11.83	12.17	12.54	3.9%	2.9%
World Transport Seaway Rate %	84%	84%	84%	84%	84%	83%	82%	81%	84%	84%

(\*) Projection source: Clarksons March Seaborne

When the table is examined, it is seen that the amount of cargo, which was 10.19 billion tons in 2013, increased to 12.17 billion tons in 2019. Increase rates vary between 2.6% and 4.2%. Worldwide, the share of maritime transport varies between 82% and 84%, which corresponds to a very important rate. According to the Clarkson March Seaborne projection, the share of change in maritime transport worldwide will be 2.9% for a 5-year projection and 4% for a 10-year projection. The share of Maritime Transport is projected as 84% for both [3].

## 2.2 After Covid-19 and Comparison

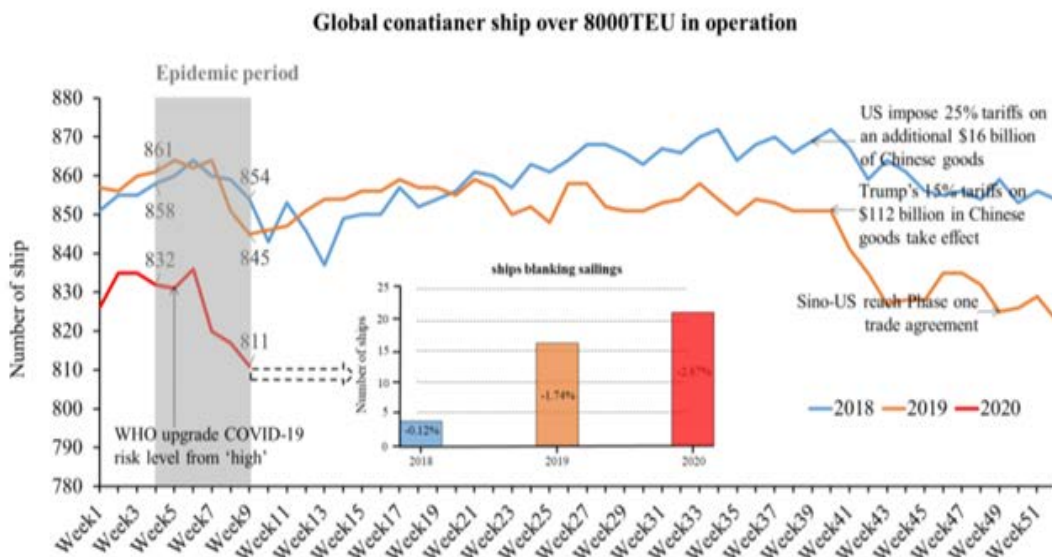
The epidemic period coincided precisely with the Chinese New Year. Due to the seasonal effects of the Chinese New Year, container shipping lines have vessels at once, albeit empty, to reduce their costs. However, the number of international container ships over 8,000 TEUs in operation decreased by 0.12% during the 2018 Chinese New Year, compared to the same range of 2019, when the US-China Trade friction was intense; In 2020, this negative value was recorded as 2.87%.

These values show that Covid-19 makes global shipping worse. This decline can be explained in three ways: production, consumption and transportation. In addition to the cessation or decrease of production in factories as a result of the implementation of strict isolations (curfews, reduction of the number of employees in the workplace, etc.), the isolation policies applied caused a decrease in consumption. The decrease in production and consumption caused decreases in supply and demand for transportation [3].

According to the China Ministry of Transport data, container yields in 9 of the 11 coastal regions have grown negatively and the container efficiency of the total Chinese coastal ports in February 2020 has decreased by 10.6%, unlike in 2019. This shows that the effect of the outbreak is quite serious.

**Table 2.** Comparison of March 2 and April with the previous month 2020 [4].

Compared to the previous month		March	April
Decrease rate in the number of ships calling at ports	Dry Bulk Carrier	23%	46%
	Liquid Bulk Carrier	33%	19%
	General Cargo	15%	30%
	Container	8%	50%
	Ro-Ro	43%	78%
	Cruise	80%	80%
Increase the rate of additional restrictions on ships	Dry Bulk Carrier	96%	96%
	Liquid Bulk Carrier	73%	88%
	General Cargo	96%	93%
	Container	85%	100%
	Ro-Ro	71%	82%
	Cruise	67%	100%
Increase in waiting times of ships due to additional procedures	Dry Bulk Carrier	62%	61%
	Liquid Bulk Carrier	53%	63%
	General Cargo	58%	52%
	Container	54%	62%
	Ro-Ro	44%	60%
	Cruise	50%	100%
Increase the rate of delays in hinterland transport	Railway	57%	56%
	Highway(abroad)	47%	47%
	Highway(domestic)	23%	29%



**Figure 1.** Number of container ships operating over 8000 TEU in 3 years [4].

### 2.2.1 New Build, Sale and Purchase, Demolition Ships

As Europe and the US entered the lockdown phase to help curb the spread of the global pandemic of COVID-19 the newbuilding market nearly came to a halt. Most of the newbuild orders placed YTD happened in the first couple of months in 2020 prior to the Chinese lockdown.

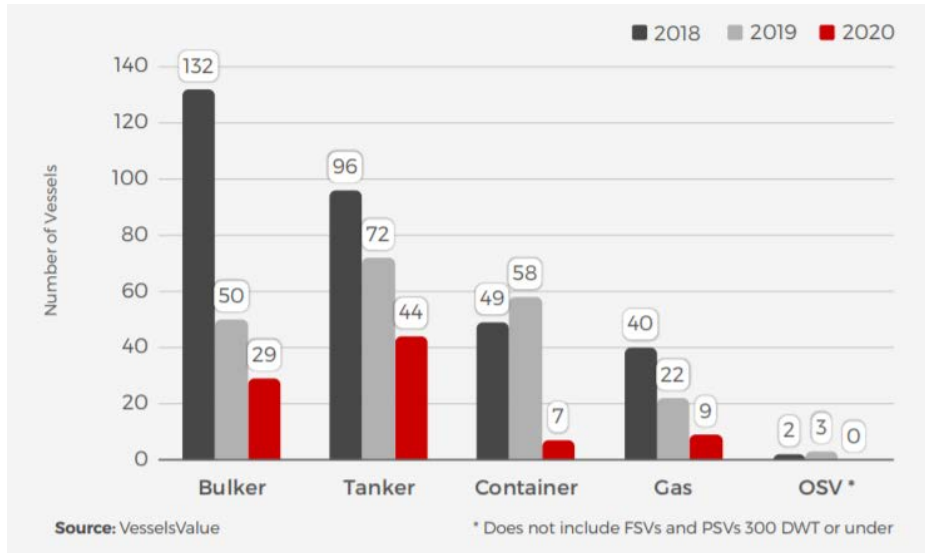


Figure 2. New Build Ships (2018-2020 Years) [5]

Due to the Covid-19 outbreak, the newly built ships were delayed between 4 and 8 weeks in the world, decreased by 16.7% compared to the same period of the previous year, compared to the first quarter of 2019, 49% in tankers, 43% in crude oil tankers, 58.6% in containers It was stated that, however, there was a 60% increase in dry cargo ships.

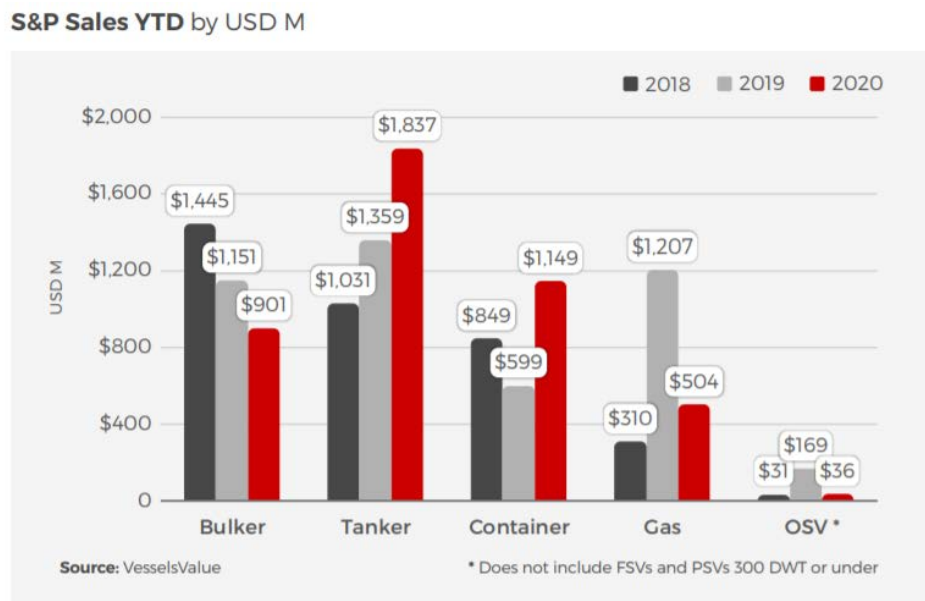
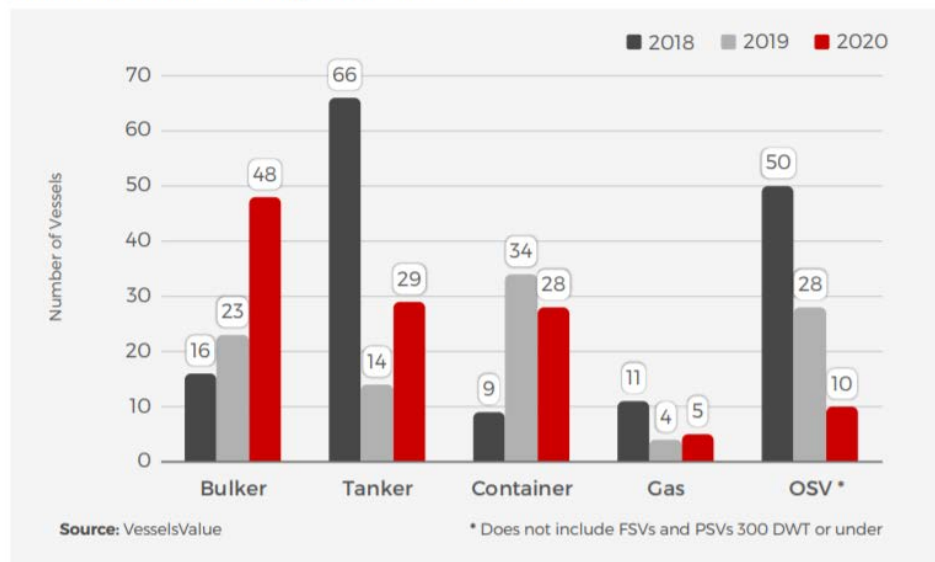


Figure 3. Sold and Purchased Ships 2018-2020 Years [5]

There has been a steady flow of vessels heading into the breakers this year, largely dominated by Capesizes as earnings remained poor and demo prices in the sub continent held up. This changed towards the end of March when Pakistan announced they were suspending breaking operations at all Gaddani facilities until further notice due to the outbreak of COVID-19. Bangladesh and India followed suit, resulting in new demolition deals gradually halting.

**Demolition Sales YTD by Number of Vessels**



**Figure 4.** Demolition Sales 2018-2020 Years [5]

Like all components of the maritime industry, the Ship Recycling sector has been affected by the pandemic in question in different ways and sector-specific changes. Various measures have been taken in Recycling Facilities such as maintaining social distance and ensuring hygiene, such as increasing the number of services and rearranging the use of dining halls and social facilities.

### **2.2.2 Examination for Different Ship Types**

#### ***Bulkers***

COVID-19 has hit the Bulker market hard and values have taken a substantial tumble throughout March. Two thirds of the deals that took place were in the first half of the month before nearly all of Europe went into lockdown. The beginning of the month saw the Cape TCE circling round the USD 2,000 per day mark and although rates have doubled towards the end of the month, USD 4,000 per day for a large Capesize Bulker is barely enough to break even [5].

#### ***Tankers***

Although COVID-19 has dampened the number of vessels being transacted, we have seen positively volatile Tanker rates, with VLCCs starting the month at c.USD 30,000 a day and ending the month at USD 230,000 a day. This earnings boom occurred after OPEC failed to agree output limits and the resulting price war. This has increased the demand for large tankers due to increased traded volumes and storage. This has caused values for most types move upwards slightly, but nowhere near the scale of the earnings rise.

### **Containers**

As the global lockdown intensified through March, rates and values across all sizes have fallen. Container traffic out of the East has picked up recently as the situation in Asia, particularly China, seems to be improving. However, the escalation of disruption in the west, and related fall in consumer activity, has caused Containership journeys into the west to fall off in the end of March. This may cause further, hopefully short term, downward pressure on rates and values. In terms of values, 4 deals were concluded throughout the month, as Owners are holding onto their tonnage during what they hope is a short term disruption to the market [5].

### **LPG**

Larger LPG vessels saw slight falls in values over the month. Crude prices fell throughout the month, making LPG less competitive for petrochemical producers and reducing overall demand for LPG. However, we are seeing a higher demand for propane from Chinese plants, where things are beginning to get back to normal and restrictions after COVID-19 lockdown are gradually being lifted.

### **3. Situation Determination and Predictions by the Baltic and International Maritime Council (BIMCO)**

The deterioration of the Organization of the Petroleum Exporting Countries and the increase in Saudi Arabia's exports significantly will have a positive effect in the short term. Global oil demand will decrease in 2020 due to the corona epidemic in the long term. Due to low economic activities, long-distance transportation demands and, accordingly, jet fuel demand will decrease. Freight rates for oil product tankers will be negatively affected by low demand. Currently, BIMCO expects average freight rates above the break-even levels throughout the year. Freight rates are currently at a good level for crude oil tanker transportation.

China, which is the main importer of all dry bulk goods, affected the demand for bulk cargo as it made limited purchases while controlling the COVID-19 outbreak. Despite this, it is expected that the demand will increase in the year as China returns to the markets. In the short term, the Capesize sector is most adversely affected by the weak course of demand from China. Compared to the Capesize (125,000 - 200,000 DWT) sector, the situation of the other dry bulk industry is relatively better. While continuing to work with the damaged freight levels, it is planned to revive the market with requests from outside China. In the medium term, incentives to be implemented in China will have a healing effect. In the long term, it is expected that there will be a gradual return to normal, but the developments are that demand will not increase, but will decrease further [4]. Dry cargo ships freight rates will be negatively affected due to low demand. Before the outbreak, BIMCO stated that the average freight rates for 2020 would be lower than in the previous year. Now, this ratio is expected to be even lower.

The negative impact of demand all year round suggests BIMCO's estimate; caused it to revise from low global demand to negative demand. When the formation of this crisis is analyzed, it is stated that a demand shrinkage similar to the 2008 financial crisis is not expected to be contracted and many incentive plans should be implemented to avoid the huge increase in unemployment rates since the source of the crisis is not financial. In the short term, the Chinese manufacturing sector is still

recovering after a break from production. In the medium term, backward export orders in China will be met. As the number of voyages canceled decreases, the number of idle fleets will decrease. With the return to daily life, demand will not be expected to increase, and it is anticipated that a gradual recovery will be observed only towards reaching normal freight volumes. To establish a regular logistics network, BIMCO expects that the import and export centers in the world will be disrupted to a large extent in 2020 due to these effects [6].

### **3.2 UNCTAD Forecast**

By the end of 2020, according to the OECD International Transport Forum, it is predicted that transportation on a global scale will decrease by 36 %4. Considering that more than 80% of the global trade volume and more than 70% of its material value are realized through sea transportation, according to the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), commercial losses in the world economy caused by this epidemic also negatively affected [7].

### **4. Conclusions**

As in all sectors, the transportation sector has suffered from the Covid-19 Pandemic. Sea transport, which undertakes more than 80% of freight transport on an international scale, was also affected. In the study, the effects of the pandemic on sea transportation on freight transportation are investigated and the degree of exposure of different ship types is summarized. The most striking change in terms of the decrease in the number of ships calling at the ports was in container ships. The port rate, which declared a decrease in container ships in March, was 8%, whereas in April it increased to 50%. Considering the measures taken within the scope of COVID-19 measures and additional restrictions on ships, the most significant increase was experienced in cruise ports. The rate, which was 67% in March, reached 100% in April. A similar ratio is also observed in the ship wait rates for cruise ports. Expressing the increase in waiting times in March, the cruise port rate was 50%, whereas this ratio increased to 100% by April. There is a reverse change for general cargo and dry bulk ships. The port rate, which indicates an increase in the waiting times of ships in March, was 58%, and by April it decreased to 52%. On dry bulk ships, although not very significant, it decreased from 62% to 61%. Although the delay rates remain almost the same due to the transportation activities in the hinterland, the port rate, which states that there is an increase in transportation-related to the highway, has increased from 23% to 29% [8].

### **References**

- [1] Mohsin A, Nafis A, Syed Aun R. Rizvi, “Coronavirus (COVID-19) — An epidemic or pandemic for financial markets”, *Journal of Behavioral and Experimental Finance* 27-100341, 2020.
- [2] John W. Goodell, “COVID-19 and finance: Agendas for future research College of Business Administration”, *Finance Research Letters*, University of Akron, Akron, OH 44325, USA.
- [3] Clarkson PLC, Annual Report, London, United Kingdom, 2019
- [4] T.C. Ulaştırma Ve Altyapı Bakanlığı “Tersaneler Ve Kiyi Yapıları Genel Müdürlüğü Covid-19 [1] Küresel Salgınının Sektörümüze Etkisi” Ankara, Mayıs 2020
- [5] Vesselsvalue Monthly Market Report March
- [6] <https://www.hellenicshippingnews.com>, Date of access August.2020



***The 2nd International Symposium of Engineering Applications on  
Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)***



[7] United Nations Conference on Trade and Development, “UNCTAD Review of maritime [1] Transport” , 2019.

[8] <https://www.marketresearch.com> , Date of access August, 2020.



## Sürdürülebilir Kentsel Ulaşımında Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Önemi

### The Importance of Intelligent Transport Systems in Sustainable Urban Transportation

Özlem BATTAL ŞAL<sup>1</sup>, M. Kürşat ÇUBUK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Karabük, Türkiye, ozlebattal@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ankara, Türkiye, ckursat@gazi.edu.tr

**Özet:** - Günümüzde birçok dünya ülkesinin karşı karşıya kaldığı hızlı nüfus artışı ulaşım sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Trafik yoğunluğu, maddi kayıplar, hava ve çevre kirliliği, gürültü ve geri dönüşümü mümkün olmayan enerji tüketimi gibi problemler, modern şehirlerdeki yaşam kalitesini düşürmektedir. Bu sorunları en aza indirmek için sürdürülebilir ulaşım türlerinin gerekliliği gittikçe önem kazanmaktadır. Dünyada uygulanan kent içi sürdürülebilir ulaşım politikaları incelendiğinde, tamamında kent içi ulaşımın tek elden ve etkin bir şekilde yönetildiği görülmektedir. Otomobil kullanımı caydırıcı, yaya, bisiklet ve toplu taşıma kullanımına teşvik edici yöntemler uygulanmaktadır. Bu amaçla, Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin mevcut ulaşım yapısıyla entegre edilip geliştirilerek kent için ulaşımında sürdürülebilir bir ulaşım için avantaj haline getirilmelidir. Akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları ile farklı ulaşım türleri arasında koordinasyon sağlanarak ideal trafik şartları oluşturulabilirken, yolcu ve yük hareketleri ile ilgili hizmetlerin hızı artırılabilir. Bu çalışmada sürdürülebilir bir kent içi ulaşımında akıllı ulaşım sistemlerinin önemi ve gerekliliği sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kentiçi ulaşım, sürdürülebilirlik, toplu taşıma, akıllı ulaşım sistemleri

**Abstract:** - The rapid population growth that many world countries face today has brought with it transportation problems. Problems such as traffic density, financial losses, air and environmental pollution, noise and irreversible energy consumption reduce the quality of life in modern cities. In order to minimize these problems, the necessity of sustainable modes of transport is increasingly important. When the urban sustainable transportation policies applied in the world are examined, it is seen that urban transportation is managed from a single source and effectively in all of them. Discouraging car use, walking, cycling and public transport use to encourage methods are applied. For this purpose, Intelligent Transportation Systems should be integrated and developed with the existing transportation structure and made an advantage for sustainable transportation for the city. While ideal traffic conditions can be created by providing coordination between different transportation types with applications of smart transportation systems, the speed of services related to passenger and freight movements can be increased. In this study, the importance and necessity of smart transportation systems in a sustainable urban transportation is presented.

**Keywords:** Urban transportation, sustainability, public transit, intelligent transportation systems

#### 1. Giriş

Kentlerin ulaşım sistemleri, teknolojiye bağlı olarak her geçen gün gelişmektedir. Gelişen ulaşım sayesinde karşılaşılan sorunlara çözüm alternatifleri de bir o kadar çok olmaktadır. Ülkelerin farklı ekonomik düzeylerde olması, üretilen çözümlerin de etki ve gelişmişlik seviyesi üzerinde rol oynamaktadır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde kent bazında farklı çözümlerin oluşmasına

olanak sağlamaktadır. Bir diğer deyişle kentsel seviyedeki sosyoekonomik farklılıklar, ulaşım konusundaki sorunların çözümünde etkilidir.

Akıllı Ulaşım Sistemleri, insanın düşünme veya uygulama aşamasında yükünü hafifleten ulaşım çözümleri sunar. Bu çözümleri genel olarak elektronik ve bilgisayar teknolojileri ile birlikte çalışacak farklı alanları bütünleştiren akıllı ulaşım sistemleri, 21. yüzyılın en önemli çalışmalarındandır [1]. Akıllı Ulaşım Sistemleriyle her türlü araç ve cihazlar arası bağlantı kurarken, insanların faydasına sunulduğu teknolojiler geliştiği, böylece M2M (Makineler Arası Bağlantı) ve IoT (Nesnelerin İnterneti) özellikler taşıdığı teknolojilerin üretildiği söylenebilmektedir [2].

Sürdürülebilirlik gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da gözeterek mevcut ihtiyaçların karşılanması şeklinde tanımlanmaktadır. Sürdürülebilirliğin ulaştırma sektöründe kullanım fikri AUS'nin (Akıllı Ulaşım Sistemleri) ortaya çıktığı zamana yakın oluşması AUS'nin, ulaşım sistemini çevre, toplum ve ekonomi alanlarını gözeterek geliştirmesinde büyük katkısı olduğu düşünülmektedir. AUS'un, daha az kaynak tüketerek bilgiyi kullanması ve bunu yaparken ekonomik büyümeyi ve ulaşım iyileştirme sağlaması, sürdürülebilirliği karşıladığını göstermiştir [3].

Sürdürülebilir bir kent içi ulaşımda Akıllı Ulaşım Sistemlerinin amacı; ulaşım aracı, yol ve insan arasında iletişim teknolojisi ile bir bütün şeklinde hareket edilmesini sağlamak ve insan faktörü hataları, çevreye verilen zararları, ölüm ve yaralanma kazaları, trafik sıkışıklığı, trafik güvenliği, seyahat sürelerini, gecikme sürelerini, harcanan yakıtları, ekonomik yükleri ve daha birçok sorunu en aza indirmeye çalışarak gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmaktır [4].

Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında yayınladığı Brundtland Raporu'nda, kentsel ulaşımın hava kirliliğine, gürültüye, sıkışıklığa, karbondioksit emisyonlarına ve kentlilere doğrudan etkisi olduğu vurgulanarak, sürdürülebilir ulaşım için, toplu taşıma, güvenli bisiklet kullanımı ve yürüyüş, mallara ve servislere erişim, arazi kullanım planları ile koordineli ulaşım planına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir [5].

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü'nün 1996 yılında yayınladığı raporunda sürdürülebilir ulaşım politikalarından bahsedilmiş ve genel olarak ulaşımda motorlu ulaşım yerine yaya ve bisiklet kullanımının teşvik edilmesi gerekliliği, ulaşımın kent merkezinde yaya bisiklet, kent çeperlerindeki alanlarda ise toplu taşıma araçlarının yaygınlaştırılması gerekliliği önemle vurgulanmıştır [6].

Türkmen, 2001 yılında, Kent İçi Toplu Taşımda Raylı Sistemlerin Yeri ve Ankara Metrosu ile Ankaray Örneklerinin Değerlendirilmesi isimli çalışmasında, kent içi toplu taşıma problemleri için tek çözüm yolu olarak raylı sistemleri gerektirecek olan şartlar belirlenmiştir. Ankara Metro ve Ankaray örnekleri incelenmiş ve Ankara'da yapılacak olan yeni raylı sistemlerin ulaşım sorunlarının ekonomik olarak çözümlenmesinde katkı sağlayacaktır [7].

Bacaksız, 2004 yılında, Dünyadaki ve Türkiye'deki Kent İçi Raylı Sistemlerin Karşılaştırılması isimli çalışmasında, kent içi raylı sistemlerden en yaygın olan Hafif Metro tasarımı, işletmesi ve maliyetleri incelenmiş ve kent içi ulaşım problemlerini çözmek amacı ile raylı sistemlerin geliştirilme zorunlulukları ile birlikte uygulanması gereken tasarım ve planlama ilkelerinden bahsedilmiştir [8].

Kaçıral, 2007 yılında, Ankara Ulaşım Politikalarında Sürdürülebilirlik: Batıkent-Kızılay Metrosunun Sosyal Boyutuyla Değerlendirilmesi isimli çalışmasında, Sürdürülebilir ulaşım politikalarının sosyal ilkeleri (eşit, erişilebilirlik, sağlık ve güvenlik, bireysel sorumluluk, bütüncül planlama) toplumların

kentsel yaşam kalitesi üzerindeki belirleyiciliğine dikkat çekerek, Metro istasyonuna ulaşımında yaşanan sorunların yaşam kalitesini ve sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilediği görülmüştür [9].

Bayramoğlu, 2011 yılında, Kentsel Ulaşımı daha Sürdürülebilir Yapmak İçin Planlama ve Tasarım Ölçütleri: Bakü Örneği isimli çalışmasında; ulaşımın sürdürülebilir olması için kent planlama ve tasarım ilkelerine bağlı olduğunu ve toplu taşıma kullanılarak kolay erişilebilir mekanlar yaratılması gerektiğini vurgulamıştır. Tasarım ve planlama kriterleri bakımından Bakü şehri incelenmiştir [10].

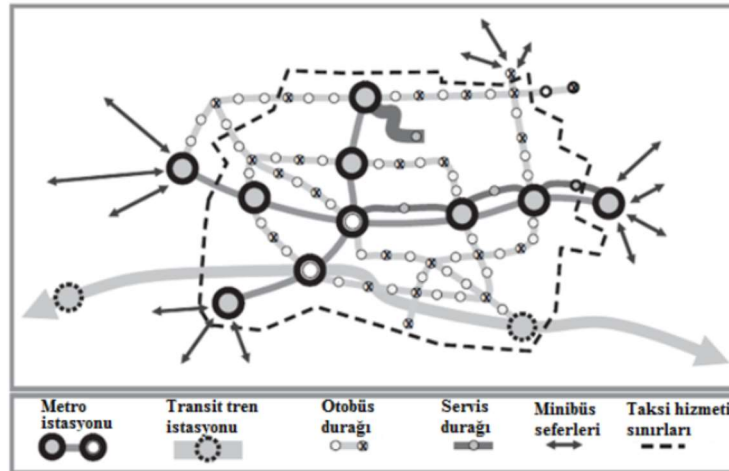
Cirit, 2014 yılında, Sürdürülebilir Kent içi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması isimli çalışmasında; sürdürülebilir kent içi ulaşım politikalarının kavramsal çerçevesini ele almıştır. Türkiye’de gittikçe artan kentsel nüfus ve buna bağlı olarak artan ulaşım talebi, toplam araç sahipliğindeki gelişmeler ile gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki başarılı uygulamalar dikkate alınarak örnek teşkil edebilecek çalışmalar sıralanmıştır [11].

Çavuş, 2013 yılında, Sürdürülebilir kentsel gelişme bağlamında Toplu Taşıma Odaklı Kentsel Gelişme Yaklaşımı: İstanbul'a ilişkin değerlendirme, Marmaray projesi isimli çalışmasında; arazi kullanımı ve ulaşım sistemi ilişkisi; İstanbul metropolünün tarihsel süreçte gelişimi ve ulaşım kararlarının kentin gelişimindeki etkileri incelenmiştir. Marmaray Projesine ilişkin ulusal ve uluslararası ölçek ve kentsel ölçekte analizlere yer verilerek sürdürülebilir kentsel bakımından yönlendirici ilkeler ortaya konulmuştur [12].

## 2. Kent içi Ulaşım Sistemleri

Kent içi ulaşım, kent sınırları içinde, insanların veya eşyaların bir yerden başka bir yere emniyetli, güvenli ve hızlı bir biçimde ulaşım sistemleriyle taşınmasıdır. Kentsel ulaşım, toplu ve bireysel ulaşım ile yük taşımacılığında meydana gelmektedir. Otobüs, minibüs, tramvay, hafif raylı, metro ve banliyö sistemler kent içi ulaşım sistemlerinin başında gelmektedir. Ayrıca feribot, deniz otobüsü, tekne, vapur da denize kıyısı olan yerleşimlerde kent içi deniz ulaştırması taşıtlarıdır. Birim taşıma maliyeti en yüksek olan havayolu taşımacılığı ise kent içinde kullanılmayıp özel taşımada tercih edilmektedir.

Kent içi ulaşım türlerinin hizmet alanları ve tercih edilme nedenleri birbirinden farklıdır. Her bir türün diğerlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Şekil 1’de kentsel ulaşım sisteminin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 1. Kentsel Ulaşım Sisteminin Bileşenleri [13]

Karayolu taşımacılığı, kapıdan kapıya aktarmasız yolculuk imkanı sunması ve özel araç kullanımının verdiği rahatlık yönüyle en çok tercih edilen ve en yaygın kullanım alanına sahip ulaştırma türüdür. Bunun yanında karayolu taşımacılığının, trafik kazaları, trafik sıkışıklığı, çevre ve hava kirliliği gibi olumsuz etkileri vardır. Karayolu taşımacılığını oluşturan araçları düşünürsek, bireysel otomobil kullanımı toplu taşıma araçlarına göre rahatlık, konfor, hız ve doğrudan istenilen yere ulaşma gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak özel araçlar diğer taşıma araçlarına göre maliyet ve çevre açısından dezavantajlara sahiptir. Çevreyi kirleten bir enerji türü ile çalışması, park alanına ihtiyacın daha fazla olması, trafikte kapladığı geniş alan, yüksek enerji tüketimi gibi etmenler bireysel araçların sahip olduğu zayıf yönlerdir.

### **3. Sürdürülebilir Kentsel Ulaşım**

Sürdürülebilir ulaşım, kişi ve toplum sağlığına zarar vermeden, aynı zamanda ekosistem üzerinde olumsuz etki oluşturmadan, ulaştırma ihtiyacının yenilenemeyen kaynakların yenilenebilir kaynaklarla çeşitlendirilerek ve yenilenebilir kaynakların yenilenme hızlarından daha yoğun kullanılmadan karşılanması şeklinde tanımlanabilir [14].

Sürdürülebilir ulaşım kavramı çoğu zaman dar anlamıyla kullanılmaktadır. Bu tip tanımların genellikle hava kirliliği gibi ekolojik sorunlar üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Oysa sürdürülebilir ulaşımın, ekolojik boyutlarının yanı sıra ekonomik ve sosyal boyutlarının da olduğu unutulmamalıdır. Bu açıdan sürdürülebilir ulaşımın kapsamını ekonomik, ekolojik ve sosyal olarak belirlemek mümkündür (Tablo 1). Ekonomik açıdan sürdürülebilir ulaşım, maliyet bakımından etkin bir ulaşım yapısını ifade etmektedir. Sürdürülebilir ulaşım sistemi planlanırken, ulaşım değişken taleplere mümkün olduğu kadar hızlı biçimde ayak uydurmalı, bunu yaparken verimlilik, ekonomik faaliyetler, istihdam, vergi yükü ve ticaret gibi diğer ekonomik unsurlar da dikkate alınmalıdır. Ekolojik sürdürülebilirlik kapsamına kirlilik emisyonları, iklim değişimi, biyolojik çeşitlilik, habitatın korunması ve estetik gibi konular girmektedir. Sosyal açıdan sürdürülebilir ulaşım ise, sosyal ihtiyaçların adil biçimde sağlanmasını ifade eder. Bu bağlamda adalet, insan sağlığı, toplumsal açıdan yaşanabilirlik, kültürel, tarihi ve kamusal ilişkiler sosyal açıdan sürdürülebilir ulaşımın kapsamını oluşturmaktadır [15].

Günümüzde özel araç kullanımı kolay, eğlenceli ve maliyeti bakımında göze alınabilir durumda olmasına rağmen kentlerde ve çevrede meydana getirdiği zararlar göz ardı edilmeyecek kadar büyüktür. Bireysel kullanımını teşvik edici tutumların sürdürülebilir ulaşımına dahil olması mümkün değildir. Çünkü her geçen gün dünya nüfusu artmaktadır ve yarının dünyasında sadece daha fazla nüfus değil aynı zamanda daha refah bir hayat isteyen daha fazla nüfus olacaktır [16]. Bireysel değerler açısından bakıldığında bireyler özel araç kullanımının kendilerine sağladığı faydalardan uzaklaşmak istememektedir. Diğer taraftan toplumsal değerler bakımından bakıldığında trafığe katılan her özel araç hem günümüz toplumlarının hem de gelecek toplumların yaşama alanlarında geri dönülmez olumsuz etkiler bırakmaktadır. Trafik kazaları, hava kirliliği, gürültü kirliliği, görüntü kirliliği, günlük vücut hareketliliğinde azalma vb. sorunlar fosil yakıt kullanan özel araçların kullanımının artmasıyla artış göstermektedir [17]. Kent içi ulaşımında otomobilin öncelikli ulaşım aracı olmasının önüne geçilmesi gerekmektedir.

Sürdürülebilir ulaşım, çevreye kendisini yenileyebilme kapasitesinin ötesinde zarar vermeyen, ekonomik olarak tutarlı, sosyal olarak hakça ve siyasi olarak sorumlu ve hesap verebilir olması gereklidir. Ayrıca, yeni yatırımlara geçilmeden önce eldeki ulaştırma altyapısının en fazla ve en iyi kullanımını temin edilmesine dayanır. Sürdürülebilir ulaşım, talep yönetimi ve işletme iyileştirmeleri/yönetimi araçlarıyla yapılmaktadır [18]. Bunun gibi, sürdürülebilir bir kentsel ulaşım ve

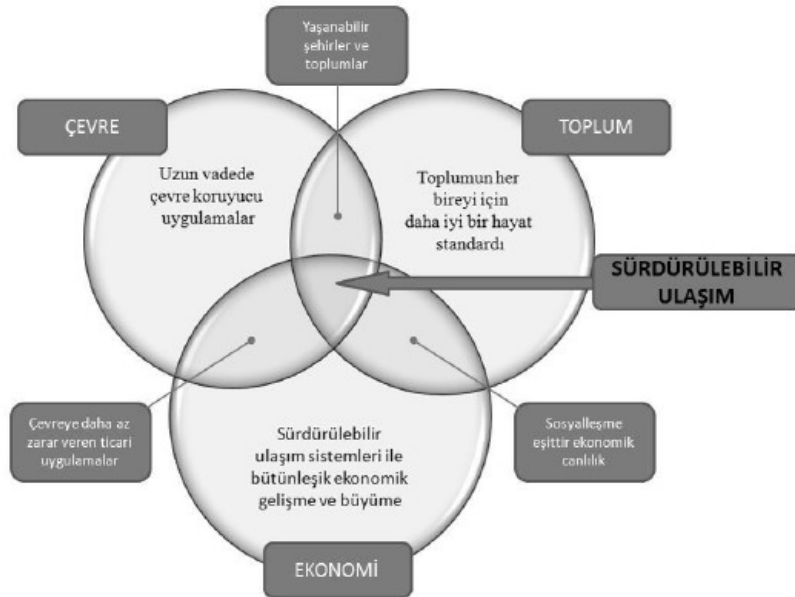
arazi kullanım sistemi bir yandan kentsel alanın tüm sakinlerine mal ve hizmetlerin verimli şekilde erişimini sağlarken, diğer yandan da şu anki nesil için çevre, kültürel miras ve ekosistemleri korur ve gelecek nesillerin doğal çevre ve kültürel miras da dahil olmak üzere günümüzdeki refah düzeyine sahip olma imkanlarını tehlikeye atmaz [19].

Tablo 1. Sürdürülebilir ulaşımın amaçları [15]

Ekonomik Amaçlar	Ekolojik Amaçlar	Sosyal Amaçlar
Altyapının ekonomik kalkınma çerçevesinde sağlanması	Sağlıklı ve güvenli ulaşım imkânlarının artırılması	Toplumun bütün kesimlerinin ulaşım hizmetlerinden yararlanabilmesinin sağlanması
Ucuz, hızlı ve yüksek kapasiteli bir ulaşım hizmetinin sunulması	Ulaşımın neden olduğu yerel, bölgesel ve küresel kirliliğin azaltılması	Ulaşımın fakir kesimlere odaklanmasının sağlanması
Tıkanıklığın azaltılması	Alan kullanımının azaltılması	Ulaşım politikalarının fakirler üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılması
Kırsal alan ile kentsel alan arasındaki bağlantıların oluşturulması	Ulaşım planlarına çevresel ve ekonomik boyutların dahil edilmesi	Ulaşım politikalarının belirlenmesinde demokratik katılımın sağlanması
Farklı ulaşım türlerine imkân verilmesi	Ulaşımında çevresel ağırlıklı stratejik yapının oluşturulması	
Ulaşım altyapısına ayrılan payların artırılması		

Şekil 2’de görüldüğü üzere UITP Türkiye sürdürülebilir ulaşım yaklaşımının çevre, toplum ve ekonomi ile ilişkisini şöyle açıklamıştır [20]:

- İnsan ve çevre sağlığını koruyarak bireylerin ve toplumun temel erişim ihtiyaçlarını güvenli bir şekilde karşılamaktadır.
- Ucuz ve etkin çalışarak canlı bir ekonomiyi desteklemektedir.
- Emisyonları ve atıkları gezegenin dengeleyebileceği düzeyde tutarak, yenilenemez kaynakların tüketimini azaltmaktadır.
- Yenilenebilir kaynakların tüketimini azaltmakta ve geri dönüşümü ön planda tutmaktadır.
- Arazi kullanımını ve gürültü oluşumunu kısıtlamaktadır.



Şekil 2. Sürdürülebilir Ulaşım [22]

Kanada’da bulunan Ulaştırma Merkezi (Centre for Sustainable Transportation) ise sürdürülebilir ulaşım sisteminin faydalarını şöyle tanımlanmıştır [21].

- Temel erişim ve gelişim bireylerin ihtiyaçlarını sağlar, şirketlerin ve toplumların güvende olmasını sağlar, insanların ve ekosistemin sağlığını uyumlu bir hale getirir.
- Hem verimli, rekabetçi bir ekonomi, hem de dengeli bölgesel kalkınma seçeneği sunar.
- Ulaşım için talep edilen arazi miktarını en aza indirirken, emisyonları ve atıkları azaltıp çevreye minimum etki yapar.

#### **4. Akıllı Ulaşım Sistemleri**

Dünya’da kabul edilen ilk akıllı ulaşım sistemi uygulaması araçların ve yayaların geçme sürelerine ve kavşaklardaki araçların uygun şekilde ilerlemelerine çözüm getiren trafik ışıklarıdır [23]. Günümüzde ise akıllı ulaşım sistemlerinin gelişim süreci üç önemli aşamada değerlendirilmektedir.

İlk aşama, 1960- 1970 yılları arasını kapsayan ‘Hazırlık veya Akıllı Ulaşım Sistemleri Araştırmaları’ dönemidir ve bu yıllarda ilk akıllı ulaşım sistemleri araştırmalarına başlanmıştır. Japonya’da Kartlı Geçiş Sistemi (CACS), Amerika’da Elektronik Rota Kılavuzlama Sistemi (ERGS) ve Almanya’da benzer bir sistem olan ALI ilk akıllı ulaşım sistemleri çalışmalarıdır. Tüm bu sistemler ortak olarak güzergâh/rota kılavuzlama yöntemi üzerinde durmuş ve çeşitli kısıtlamalar yüzünden pratik uygulamaya dönüşmemiştir [24].

İkinci aşama, 1980 – 1995 yılları arasını kapsayan ‘Fizibilite Çalışması veya Akıllı Ulaşım Sistemleri Standartları’ dönemidir. Bu dönemde teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayarlarda bellek birimi ortaya çıkmış, işletim sistemlerini ucuzlamış ve buna bağlı olarak akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi için şartlar oluşmuştur. Bu dönemin en belirgin özelliği akıllı ulaşım sistemlerinin standartlarını belirlemeye yönelik uluslararası çalışmaların bu dönemde başlamasıdır [23].

Üçüncü aşama, 1995 – Günümüz yılları arasını kapsayan ‘Ürün Geliştirme veya Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları’ dönemidir. Bu dönemin belirgin özellikleri olarak, akıllı ulaşım sistemlerinin pratik uygulamalarının görülmeye başlanmasıdır ve akıllı ulaşım sistemleri sadece otomobil trafiğinin sebep olduğu problemlerin çözümü için değil diğer türler arası problemlerin çözümü için de dikkate alınmaya başlaması görülebilir. Geline bu aşamada akıllı ulaşım sistemleri ulusal ve uluslararası genel bilgi teknolojisi hiyerarşisinde önemli bir unsur olarak tanınmaya başlanmıştır [25].

#### **4. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Sürdürülebilirlik**

Gelişmiş ülkelerde teknolojinin ilerlemesi çoğu alanda olduğu gibi ulaştırma alanına da yenilikler getirmektedir. Bu ülkelerde trafik düzeni içerisinde oluşabilecek karışıklıkları ve hataları düşük seviyelere indirgeyebilmek için ulaştırma hizmetlerinde teknoloji kullanımı artırılmaktadır. Ulaştırma sisteminde teknolojinin bu denli kullanılmaya başlanması Akıllı Ulaşım Sistemlerini ortaya çıkarmaktadır. AUS sayesinde kaliteli bir toplu taşıma sistemi elde edilebilmektedir. Böylece insanların toplu taşıma kullanımı artırılarak kentlerdeki trafik sorunu azaltılabilmektedir.

Akıllı ulaşım sistemleri, kentsel ulaşım faaliyetlerinde bireylerin seyahatlerini sorunsuz bir biçimde planlayıp yürütebildikleri ve tüm mobilite hizmetlerini optimize edebileceği “akıllı mobilite”yi sağlamak, taşımacılık güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliği geliştirmek için bir dizi strateji sunan teknolojileri kapsamaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri, telekomünikasyon, bilgisayar sistemleri ve

elektronik cihazları ulaşım sektörü verileri ile entegre ederek ulaşım anlık veri depolaması ve paylaşımı sağlamaktadır.

Kentsel ulaşım planlamasının son yıllarda üzerinde çalışıldığı akıllı ulaşım eylem planları, strateji planları, tüm ulaşım türlerinin kentsel mekanda hareketliliği ve bunların akıllı ulaşım sistemleri ile entegre olarak sosyal, ekonomik ve çevresel bağlamda sağlayacağı faydalar üzerine odaklanarak kentlerde yeni bir ulaşım planlaması yaklaşımı geliştirmektedir. İletişim altyapısına dayalı anlık ulaşım bilgisi akışının sağlanarak kentlerde ulaşım yönetiminin etkin bir şekilde yapılmasına imkan sunmaktadır.

Akıllı Ulaşım Sistemleri, transit taşımacılığı geliştirmek, toplu taşıma ve otoyol tesislerini entegre etmek için transit sistemleri ve karayollarını yöneterek bu taşımacılık sorununu ele almaktadır. Son yirmi yılda, gezgin bilgileri, geçiş önceliği, elektronik ücret toplama, paylaşılan veriler ve entegre operasyonlar artan biniciliği, sistem güvenliğini ve verimliliği desteklemektedir. Ayrıca Akıllı Ulaşım Sistemlerinin güvenliği, mobilitayı ve çevreyi geliştiren, gezgin bilgileri ve sistem talep yönetimi ile birleşen uygulamaları, sistem sahiplerine, operatörlere ve kullanıcılara maliyeti en aza indirirken seyahat seçeneklerini ve yaşanabilirliği arttırdığına değinmiştir. Akıllı Ulaşım Sistemleri teknolojilerinin yolculuk planlaması ve mod seçimini kolaylaştırmak gibi kişisel ve toplu taşımacılık için çok çeşitli avantajlar sunmaktadır. Olayları, acil durumları ve doğal afetler sırasında ulaştırma sistemlerini yöneterek kamu güvenliği iyileştirmeleri sağladığından bahsetmiştir.

**Tablo 2.** Akıllı Ulaştırma Sistemleri Sonunda Edinilen Maliyet Tasarrufu (Milyon TL) [26]

Akıllı Ulaştırma Sistemleri Sonunda Edinilen Maliyet Tasarrufu(Milyon TL)					
Yakıt	Araç Yıpranma	Kaza	Zaman	Çevre	Toplam
M1	M2	M3	M4	M5	
3600	5575	8325	15000	436	32936

Tablo 2’den de anlaşılacağı üzere akıllı ulaşım sistemlerinin ülkemizde yaygınlaştırılması sonucunda yıllık yaklaşık 33 milyar TL tasarruf sağlamak mümkün olabilecektir.

Akıllı ulaşım planlaması, ulaşım enerjisine bağımlılığı ve sera gazı etkilerini azaltmak için mekânsal planlama kararlarına ve ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine odaklanır. Bu doğrultuda akıllı ulaşım sistemlerini etkin kullanarak, sürdürülebilir akıllı ulaşımı sağlamada teknolojiyi bir araç olarak kullanır.

Sürdürülebilir akıllı ulaşım konusuna yönelik dünya örneklerinden Finlandiya’da, sürdürülebilirlik, akıllı hareketlilik, az karbon salımı ve enerji boyutları için birbiri ile bütüncül politikalar belirlenmiştir. Finlandiya Çalışma ve Ekonomi Bakanlığı’na bağlı Finlandiya Teknik Araştırmalar Merkezi Şirketi (Technical Research Centre of Finland Ltd. (VTT)) TransSmart programı, düşük karbon enerjisi ile bütünleşmiş akıllı hareketliliğe odaklanmaktadır [27]. Sürdürülebilir hareketlilik yaklaşımı disiplinler arası sistematik bir araştırma yaklaşımına dayanan alternatif gelecek vizyonları sunan ve akıllı ulaşım sistemleriyle stratejik planlamayı desteklemektedir. Bu kapsamında geleceğe yönelik kısa, orta ve uzun vadede yaklaşımların bulunduğu akıllı ulaşım planlamasına yönelik yöneylem planlarına ihtiyaç vardır.



## 5. Sonuç ve Öneriler

Sürdürülebilir bir kent daha sağlıklı ve yaşanabilir bir kent olarak ifade edilmektedir. Bu amaçla kent içi ulaşımda, sürdürülebilirliğin oluşması için akıllı ulaşım sistemlerinin mevcut ulaştırma sistemi ile entegre edilmesi, benimsenmesi, yaygınlaştırılması ve ulaşım türleri içindeki payının artırılması gerekmektedir. Sürdürülebilir bir süreçte, kent içi ulaşımda akıllı ulaşım sistemlerinin önceliklendirilmesi; ekonomik, sosyal ve çevresel sorunların çözümünde; ekonomik, sosyal ve çevresel gereklilikleri gerçekleştirmek için bir anahtar görevi görmektedir. Çünkü akıllı ulaşım sistemleri, kent içi ulaşımda yaşanan sorunlara çözüm odaklı bir sistemlerdir. Teknolojiyi araç olarak kullanarak, insan odaklı planlamalar ve projeler oluşturmayı sağlayacaktır.

Kentiçi toplu taşıma hizmetlerinin yaygınlaştırmak, toplu taşımanın tercih edilmesini sağlamak için kullanıcıların beklentilerini karşılayacak nitelikte ulaşım araçlarını hem modernize etmeleri hem de güvenli bir şekilde çevre sağlığını gözetip, hareket imkânları göreceli olarak kısıtlı olan yaşlı, çocuklu ve engelli insanlar da dahil toplumdaki tüm bireylerinin güvenli ve sağlıklı bir şekilde ulaşabilecekleri şekilde hizmet sunmak gerekmektedir.

Sürdürülebilir kent içi ulaşımda; tüm bireylerin ihtiyacına eşit bir yaklaşımla emniyetli, sağlıklı, konforlu ve ekonomik çözümler sunarak insanların yararını düşünen sistemler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla akıllı ulaşım sistemleri, sürdürülebilir ulaşım planlamasındaki ihtiyaçları görüp insanların hayatını kolaylaştıran çözümlere ulaşmasını sağlamaktadır. Gelişen teknolojiyle çevreyi kirletmeyen araçlar, trafik sıkışıklığını azaltan ve ulaşımda yaşanan çeşitli sorunlara çözümler sağlayan akıllı ulaşım sistemlerinin yerleştirilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

## Referanslar

- [1] Tüdeş Yaman, H., 2014, Akıllı Ulaşım Sistemleri tanımı ve kapsamı, Akıllı Ulaşım ve Güvenlik Sistemleri dergisi, s.54.
- [2] HGM, 2018, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), Haberleşme Genel Müdürlüğü, <http://hgm.ubak.gov.tr/tr/sayfa/49>, erişim tarihi: 10.09.2018.
- [3] Jordan, D.R., Horan, T.A., 1997, Intelligent Transportation Systems and Sustainable Communities: Findings of a National Study, Transportation Research Record 1588, 70-76.
- [4] Işık, M., Karayolu ve Trafik Güvenliği, [http://valor.com.tr/kuk2014/sunumlar/08\\_OTURUM\\_6/04\\_Mustafa\\_ISIK.pdf](http://valor.com.tr/kuk2014/sunumlar/08_OTURUM_6/04_Mustafa_ISIK.pdf), 2014.
- [5] World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [6] Organisation for Economic Co-operation and Development: Towards Sustainable Transportation. Vancouver: Government of Canada, 1996.
- [7] Türkmen M. "Kent İçi Toplu Taşımada Raylı Sistemlerin Yeri ve Ankara Metrosu ile Ankaray Örneklerinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [8] Bacaksız T. S. "Dünyadaki ve Türkiye'deki Kent İçi Raylı Sistemlerin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- [9] Kaçırıl S. Ankara Ulaşım Politikalarında Sürdürülebilirlik: Batıkent-Kızılay Metrosunun Sosyal Boyutuyla Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Bayramoğlu G., "Kentsel Ulaşımı daha Sürdürülebilir Yapmak İçin Planlama ve Tasarım Ölçütleri: Bakü Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.

- [11] Cirit F., “Sürdürülebilir Kent içi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Uzmanlık Tezi, Kalkınma Bakanlığı, Ankara, 2014.
- [12] Çavuş Z. B. “Sürdürülebilir kentsel gelişme bağlamında ‘Toplu Taşıma Odaklı Kentsel Gelişme Yaklaşımı’: İstanbul’a ilişkin değerlendirme, Marmaray projesi”, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- [13] Rodrigue, Jean-Paul; Comtois, Claude ve Slack, Brian “The Geography of Transport Systems”, Routledge, USA, 2006.
- [14] Yalınız, P. & Bilgiç, Ş., “Eskişehir Kent Merkezinde Park Et ve Bin Uygulamasının Sürdürülebilir Ulaştırma Bağlamında Değerlendirilmesi”, *7. Ulaştırma Kongresi, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası*, İstanbul, (2007).
- [15] Benk, S., “Kentiçi Ulaşım Sonucu Oluşan Negatif Dışsallıklar ve Önleme Yolları”, *Uludağ Üniversitesi SBE*, s.121-124, 2007.
- [16] Advancing Public Transport, <http://www.uitp.org/>, 2016.
- [17] Knoflacher, H. & Ocalır, E. V. “Sürdürülebilir ulaşım kavramı üzerine tartışmalar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4, 51-58, 2011.
- [18] Çelik, H. M., “Sürdürülebilir ulaşım ve türkiye kentleri ulaştırma sorunları”, *TMMOB İzmir Kent Sempozyumu*, İzmir, 2009.
- [19] Özalp, M., Öcalır, E.V., “Türkiye’deki kentiçi ulaşım planlaması çalışmalarının değerlendirilmesi”, 2008.
- [20] The Centre for Sustainable Transportation (The Centre ST) Definition and Vision of Sustainable Transportation, 2002.
- [21]. Gilbert, R., Tanguay, H., “Sustainable transportation performance indicators project. The Centre for Sustainable Transportation”. [www.cstctd.org.](http://www.cstctd.org/), 2000.
- [22] International Association of Public Transport Türkiye (UITP Türkiye) Kentsel Ulaşım ve trafik Sıkışıklığı Ücretlendirmesi, 2007.
- [23]. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı. Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016). Ankara, 2014.
- [24]. Öztürk, N. B.; Elektronik- Bilgisayar Eğitimi ABD, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [25]. Yardım, M. S.; Akyıldız G.; Akıllı Ulaştırma Sistemleri ve Türkiye’deki Uygulamalar, 2005.
- [26] Tektaş M., Korkmaz K., Erdal H. “Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği Ekonomik ve Çevresel Faydaları”, *Balkan Journal of Social Sciences*, 2016.
- [27] Smart Sustainable Mobility - a User-Friendly Transport System is a Combination of Intelligence, Low Carbon Energy, and Adaptable Services. VTT, 2014, Finland, 72 s. (Web sayfası: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2014/V5.pdf>), (Erişim tarihi: Ekim 2019)



## Ulaştırma Sürdürülebilirlik ve Demiryollarının İncelenmesi

### A Review of Sustainable Transport and Railways

Mehmet Fatih ALTAN<sup>1</sup>, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>2</sup>, Yunus Emre AYÖZEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mehmetaltan@aydin.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mckiziltas@ticaret.edu.tr

<sup>3</sup> DHMİ Genel Müdürlüğü, yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr

**Özet:** Ulaştırma içinde bulunan yüzyılda sürdürülebilirliğin belirleyiciliği daha da artmıştır. Demiryolları özellikle de yüksek hızlı demiryolları sürdürülebilir bir ulaşım türüdür. Aynı zamanda da yenilikçi ve güvenli olduğu da söylenebilir. Bu çalışmada ilk olarak ulaşımda yaşanan değişim süreci ortaya konulmuş olup ardından ise yüksek hızlı demiryolları pek çok yönü ile değerlendirilmiştir. Akabinde sürdürülebilirlikle ilişkisi incelenmiş, ulaşımda temel sürdürülebilirlik unsurlarından bahsedilmiştir. Bu bağlamda da sonuçlar paylaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaştırma, sürdürülebilirlik, hareketlilik

**Abstract:** Dominancy of sustainability in this century has enhanced more. Railways, especially high speed railways is a sustainable transport mode. In this paper firstly changing period of transport is revealed and high speed railway is evaluated by multi angle. Then its interaction with sustainability is reviewed, basic sustainability parameters on transport are mentioned. In this context conclusions are shared.

**Keywords:** Transport, sustainability, mobility

## 1. Giriş

Bir ulaşım paradigması kayışı Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) otomobiller ve uçaklardan demiryolları da dâhil olmak üzere hareketliliğin diğer bütün çeşitlerine doğru bir yolcu akışı kaynaklı olarak söz konusu olmaktadır. Genelde bütün yaş gruplarını kapsar şekilde bütün Amerikalılar ve özelde de genç Amerikalılar araç sürme ve sahip olmaya olan ilgilerini kaybetmekte olup buna karşın ise bisiklete, konvansiyonel trene ve otobüslere binmekte ve araç paylaşımını kullanmaktadır. Nüfus patlaması döneminde doğan nesil ise yetiştikleri özel araçlara bel bağlayan alt kentleri ve araç bağımlısı yaşam tarzını yeniden düşünmektedir. Bu söz konusu iki büyük demografik grup daha fazla ulaşım seçeneğine erişmeyi istemekte olup bu da planlamacıları Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) mevcut ulaşım sistemindeki dengesizliği yeniden düşünmeye sevk etmektedir. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) olmaksızın dahi yüksek olan Amtrak taşımacılık düzeylerindeki artış dâhilinde yüksek hızlı demiryollarının (YHD) temin edebileceği kentler arası güvenli ve hızlı bir demiryolu türü için büyüyen bir pazardan bahsedilebilmektedir.

Yüksek hızlı demiryolları (YHD) yaşanabilirlik ve sürdürülebilirlik ilkeleri üzerine temellenen bir nesil vasıtası ile inşa edilen ilk ulaşım altyapı projesi haline gelebilir. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) yüksek hızlı demiryolları (YHD) özel araçları, uçakları ve konvansiyonel trenleri tamamlayıcı bir işlev kazanabilir ve her bir ulaşım türünün en verimli, sürdürülebilir ve uygun yerde

kullanılmasını temine yardımcı olabilir. NEC’te Acela tren hizmetlerinin ortaya konan başarısında olduğu üzere yüksek hızlı demiryolları (YHD) orta mesafeler ve yoğun nüfuslu alanlardaki en uygun ulaştırma türü olarak görünmektedir. Hâlihazırda ise bu tarz taşımacılığın çoğu uçaklarla yapılmakta olup bu da daha maliyetli, güvenilirliği (zaman açısından) daha az ve daha çok karbon ayak izine yol açan bir yöntem anlamına gelmektedir. Bu söz konusu alternatifler içerisinde demiryolları en sürdürülebilir olanı olarak görünmektedir. Aynı zamanda yüksek düzeyde güvenlik, emniyet ve güvenilirlik temin etmekte olup diğer ulaştırma türlerine de, hava şartları ve aksamalardan etkilendiklerinde destek olmaktadır.

Doğal yaşam alanı otoyol ölümleri ve demiryolu ölümleri, dağlar doğrultusunda TCC boyunca sık olup ulaştırma gelişimleri ve doğal yaşam arasındaki uyumsuzluğun en iyi dokümantasyonunu oluşturmaktadır. Bu hem otoyol hem de demiryolu için doğru olmasına karşın, CPR ve TCH’deki doğal yaşam çarpışma problemleri tanımlanabilir değildir. Örneğin TCH yol ölümleri zirve sayısına ilkbahar ve sonbaharda rastlanılmaktadır. En çok demiryolu ölümleri kış aylarında ortaya çıkmaktadır [1].

## **2. Yüksek Hızlı Demiryolları**

Amerika Birleşik Devletleri’ndeki (ABD) uçağa bağımlı ve özel araç lehine dengesiz ulaştırma sisteminin dengelenmesine yardımcı olmak için yüksek hızlı demiryollarının (YHD) dahil çalışmaları; ulaştırma sektörünün daha fazla iklim değişikliği ile anılmasının önüne geçebilecek bir potansiyeli de teşkil etmiş durumdadır. Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) enerji ve salım maliyetlerini düşürmek adına yardımcı olması beklenen kapasitesi, bu söz konusu ulaştırma türünün türler arası ana toplama dağıtma merkezleri birer kentleşme katalizörü (hızlandırıcı) olarak çalıştığından dolayı da bunlara hizmet veren düşük karbonlu elektrik hizmetlerinin de ötesine geçmiş bir durumda görünmektedir. Artan kentsel yoğunluk ise özel araç sürüş gereksinimini azaltmakta ve toplu ulaştırmanın da etkinliğini arttırmaktadır. Bu durum da Amerikalıları; fosil yakıtlı, içten yanmalı, trafikte tekil işgalli özel araçlarından uzaklaşarak daha sürdürülebilir olan toplu ulaştırma ve yayalaşmaya yönlendirmektedir. Artan kentleşme aynı zamanda da çoğu yerde yüksek hızlı demiryollarını (YHD) karlı bir hale de getirmekte olup böylelikle de sistem bir kez inşa edildikten sonra yolcular jet uçaklardan feragat etmekte ve buna karşın da daha sürdürülebilir ve makul olan hızlı trenleri tercih etmektedirler. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) kent merkezlerinin tahkim edilmesi ve yeniden teşekkülü adına istasyonların potansiyelleri dâhilinde diğer toplu ulaştırma türlerinin büyümesine de katkıda bulunabilir. Bu yollar ile de yüksek hızlı demiryollarının (YHD) faydaları, iklim değişikliğini aciliyetle işaret eden bir sırada değişen toplumun gereksinimlerine daha iyi hizmet veren yollar dâhilinde ulaştırma sistemlerinin yeniden keşfi için ulaştırma türlerinin yeterliliklerini içermek adına bizatihi demiryolları hizmetlerinin ötesine ulaşmaktadır.

Demiryolu ve yüksek hızlı demiryolu (YHD) yolculuklarının büyümesine yatırım yapma yolu ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) sadece; öncelikle genç Amerikalılar ve nüfus patlaması kuşağı olmak üzere genelde ise bütün yaş gruplarındaki Amerikalıların yeni seyahat taleplerini karşılamak için değil ve fakat aynı zamanda da ulusal ulaştırmanın karbonsuzlaştırma sürecine bütünüyle girişecek ve daha sürdürülebilir bir gelecek temini adına ilk temel adımı da atacaktır [2].

## **2.1. Yüksek Hızlı Demiryolunda Sürdürülebilirlik Bağlamı**

Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) en önemli etkilerinden birisi ise hâlihazırdaki kentleşme yönündeki eğilimi yeniden güçlendirmeye yardımcı olmaktadır. Amerikalıların %80'inden fazlası günümüzde kentlerde yaşamakta olup Amerika Birleşik Devletleri (ABD) nüfus idaresi metropollerini 100.000 ve üzeri nüfuslu kentler olarak tanımlamaktadır. Bu insanların ise yarıdan fazlası kent merkezlerinde yaşamamaktadır bununla da beraber toplu ulaştırmanın olduğu mücavir alt kentler sınırlandırılabilir. Esasen Amerika Birleşik Devletleri (ABD) nüfusu; Kaliforniya, Florida ve Teksas gibi yüksek alt kentleşmenin olduğu eyaletlerde en yüksek büyümeye sahip olup bu söz konusu eyaletler, motorlu taşıta bağımlılığı tahkim eden alt kent tipi kalkınma unsurlarına ve özel araçlara yoğun bir şekilde bağlı bir durumdadır. Bunların söz konusu ulaştırma zorluklarını karşılamak için bu aynı eyaletler aynı zamanda yüksek hızlı demiryolları (YHD) inşası için yakın dönem çabalarına ev sahipliği yapmış olup bu söz konusu çabalar nüfus yoğunluğunu arttırmakta ve toplu ulaştırma sistemlerinin gelişimine katkı yapmaktadır [3].

Yüksek hızlı demiryolu (YHD) hizmetlerinin başlamış olduğu kuzeydoğu koridorundaki (NEC) Acela hizmetlerinin de gösterdiği üzere demiryolu taşımacılığı tipik olarak havayollarından geçiş elde etmektedir fakat doğrudan olmaya etkiler vasıtası ile yüksek hızlı demiryolları (YHD) aynı zamanda motorlu taşıt kullanımını da düşürmektedir. Bunun nedeni ise yüksek hızlı demiryolu (YHD) toplama dağıtma ana istasyonlarının mücavir toplu ulaştırmanın büyümesini teşvik etmesidir ve görülmektedir ki toplu ulaştırma artışı özel araç kullanımını üstel olarak düşürebilmekte olup bu da 'toplu ulaştırma kaldıraç etkisi' olarak bilinmektedir.

Ana toplama dağıtma merkezleri; arazi kullanımı yoğunlaşmasına yardımcı olmaktadır ve daha büyük nüfus yoğunluğuna sahip kentlerde ise daha çok özel araçlardan yeterli sayıda taşımacılığı daha ziyade toplu ulaştırmaya çekmekte gibi görünmektedir. Bir araştırma ise Boston gibi, toplu ulaştırmaya sahip olan nispeten yüksek nüfus yoğunluklu kentlerdeki insanların, özel araçlara yüksek bağımlılığa sahip olan Atlanta gibi kentlerdekinden %25 daha az araç yolculuk kilometreye (AYK) sahip olduğu sonucuna varmıştır. Bununla beraber Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) hâlihazırda çoğu genişleyen Atlanta'ya benzemektedir, sıkışan Boston'a değil; daha sıkı kentler ve toplumlarda bulunan zengin toplu ulaştırma meskenleri ve yayaya uygun alanlardaki yaşam yönünde bir tercihe insanların artan şekilde yönelmesinden dolayı bu durum değişebilir [3].

Bir dizi hayat kalitesi nedenlerine bağlı olarak, artan genç nüfus (milenyum kuşağı) kentlerde yaşamak ve yürüyüp bisiklete binebilecek ve toplu ulaştırmayı kullanabileceği yerler istemektedir. Bunlara katılan insan sayısı her geçen gün artmakta olup özellikle de nüfus patlaması döneminin çocukları olan ve kendi dönemlerinde özel araç kullanan nesil de etkin ve toplu ulaştırma seçeneklerinin olduğu mekânlara ilgi göstermektedir. Göçmenler de geleneksel olarak işe erişim için kentsel alanlara yönelen özelliği ile ilave bir grup durumundadır ve bu yeni gelenlerin çoğu da toplu ulaştırmaya yönelecek gibi görünmektedir. Hepsi birlikte bu üç söz konusu grup; daha sıkı ve merkezi olarak yerleşmiş alanlardaki iş ve ikamet için olan talebi arttıran bir unsuru ortaya koymaktadır.

Kentsel yaşama olan artan ilginin işaretleri; bir satış noktası olarak, emlak piyasasında bir gayrimenkulün 'yaya dostu puanı'nı da içermektedir. Bir raporda ise yürünebilirlik, çalışılan 15 metropoliten alanında 13'ünde ev fiyatlarını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Yürünebilir mücavir alanların hayat kalitesi ve sağlık faydalarına ilaveten bu söz konusu yerleşimler araç sürmeksizin ulaşma gereksiniminin olduğu yerlerdeki meskûnlar için ulaştırma kaynaklı muhtemel salımların ve enerji taleplerinin düşüşüne yardımcı olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde araç yolculuk

kilometrelerinin artan nüfustan dolayı sürekli olarak tırmanması dâhilinde özel araçla seyahate gereksinimi azaltan karma kullanımlı ve artan yoğunluklu yerleşimler sürdürülebilirlik hedeflerinin yakalanmasında anahtar olacaktır.

Kentsel yaşamın karbon ayak izini azaltmaya öncülük ettiğine dair teşhis; kırsal (ve hatta alt kentsel) 'doğaya dönüş odaklı' yaşamın en çevre dostu yaşam tarzı olduğuna dair kanıyı tersine çevirmektedir. Buna karşın yakın dönemlerde çeşitli kent plancıları, ekonomistler ve diğerleri tarafından tartışıldığı üzere kentsel yaşam daha fazla sürdürülebilir olma potansiyeline sahiptir zira çünkü ortalama olarak her bir hane halkı daha az yer işgal etmekte, daha az enerji tüketmekte ve meskûnları da ulaştırma gereksinimlerini bisikletle, yürüyerek ve toplu ulaştırma kullanarak karşılayabilmektedir. Ulaştırma sürdürülebilirlik, Amerikalıların kentsel yaşam tercihlerindeki ilk neden olmayabilir, fakat yakın dönemde gerçekleşmekte olan otomobile bağımlılıktan uzaklaşıp diğer ulaştırma türlerine (demiryolları da dâhil olmak üzere) geçiş eğilimi ise söz konusu bu kentleşme eğilimi ile eş güdümlü olarak gelişmektedir. Yüksek düzeydeki araç kullanımları aynı zamanda özellikle de mobil iletişim başta olmak üzere bilgi teknolojisindeki ilerlemelere bağlı olarak diğer kültürel değişimlerden etkilenmektedir [4].

Amtrak'ın taşımacılık kazanımları ve daha sağlıklı finansal yapısı; verili demiryolu sisteminin istikrarsız hükümet desteği dâhilinde oldukça etkileyicidir. Güvensizliğin ve yetersizliğin fonlanması yapılmayan tamirat ve iyileştirmelerin ortaya çıkardığı bir kalabalığın sonucu olmuştur. Acela trenleri kısa uzantılarda 240 km/saat'in üzerindeki hızlara ulaşabilmesine karşın altyapı yaşlanmasına bağlı olarak ray ve sinyalizasyon kısıtları, yüksek hızların NEC'in çoğu ve 127 km/saat hızlık ortalama hizmet için ne güvenli ve ne de ulaşılabilir olduğu anlamına gelmektedir. Bu konvansiyonel hız hizmeti; bununla beraber güçlü bir taşımacılığa sahip olup demiryolu pazarının bu yönde gelişeceğini ve bunu da NEC bölgesinde ekonomik kalkınma ile taçlandıracağını ortaya koymaktadır. Bu durum; yüksek hızlı demiryolları (YHD) başta olmak üzere eğer ki sistem daha güvenilir, daha sık ve daha hızlı trenler yönünde gelişir ise söz konusu olacaktır. Dahası NEC altyapılarının geliştirilmesi ve konvansiyonel yolcu trenleri, yüksek hızlı trenler (YHT) ve yük trenleri için daha büyük işletimsel olarak ayırık yapıların temini için de önemli demiryolu yatırımları gerekli olabilir [4].

Bir bölgede yüksek hızlı demiryollarının (YHD) ortaya çıkışı önemli ekonomik ve çevresel faydalara ulaşmayı ifade etmektedir. NEC'te Acela hizmetlerinin güçlü taşımacılığı ve başarılı tecrübesi, eğer ki hakkıyla uygulanır ise yüksek hızlı demiryolu (YHD) potansiyeli, daha az sürdürülebilir olan ulaştırma türlerinden (otomobil ve uçak) trenlere doğrudan taşıma koridorları daha ağır taşımacılığa geçişe yardımcı olabilir ve toplu ulaştırma sistemlerinin gelişmesine ön ayak olabilir fakat aynı zamanda da işlere erişimi arttırmış ve istasyon mücavir alanlarındaki bölgesel yatırımları da teşvik etmiştir. Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) faydaları hakkında daha fazlası bilinir iken yolcuların bir ulaştırma türünü diğerine seçmedeki öznel nedenleri ise daha az bilinmektedir. Yolculuk davranışı; araştırmacının önerisine göre tümevarıma dayalı, pozitivist olmayan ya da niceliksel yöntemler kullanmaya büyük dikkatler göstermeyi gerektiren oldukça karmaşık bir sosyal proses olduğu halde bir fayda maliyet ya da pazar bazlı karara işaret etmektedir. Bununla beraber Amtrak'ın yakın dönemde NEC'te taşımacılığındaki artış ve diğer kentler arası güzergâhların, eğer fiyatlar doğru ise ve seyahat uzunlukları benzer ise ileriye dönük olarak yüksek hızlı demiryolu (YHD) pazarlarını güzel ifade etmesi durumu söz konusu olup bunun bir nedeni de yolcuların havayolları, karayolları ve konvansiyonel trenlere nazaran hızlı trenleri seçecek gibi görünmesidir. Dahası dikkatli bir planlama ile birlikte Amerika Birleşik Devletleri (ABD) toplu ulaştırma uygulanabilirliğinin daha sürdürülebilir şekillerinin teşekkülüne destek olan yoğun nüfuslanma türlerini oluşturan, enerjik kentleşmeyi teşvik

eden ve ekonomik etkinlikleri canlandıran yüksek hızlı demiryolu (YHD) ana toplama dağıtma merkezlerinin geliştirebilmiştir.

Yüksek hızlı demiryolları (YHD) Amerikalıların (özellikle de genç ve yaşlanmakta olanlar) ortaya çıkan seyahat taleplerini karşılamak için demiryolu hizmetleri ve iyi bir alternatif temin ettiğinden dolayı Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bütün ulaştırma pratiklerini yeniden şekillendirecek bir potansiyele sahip olmaktadır. Yakın dönemdeki bir çalışma ise yaklaşık on yıllık bir gecikme ile de olsa, kişi başı yolcu mil taşımacılık bazlı olarak yoğunluk artışı olduğunu tespit etmiştir. Artan nüfus yoğunluğu, araç kullanımı ve ulaştırma sektörünün karbon etkisini azaltmaktadır. Yüksek hızlı demiryolları (YHD), mücavir alanındaki çok türlü ana toplama dağıtma merkezlerinin etkinliğini yoğunlaştırmak sureti ile artan nüfus yoğunluğunda önemli bir rol oynayabilir. Yüksek hızlı demiryollarının (YHD) başarısı; yürünebilir ve bisiklete binilebilir kent merkezleri, konvansiyonel ve banliyö demiryolları, kent için hafif raylı-metro-otobüs sistemleri, kentsel ve bölgesel ulaştırma sistemleri ile havalimanlarını içeren daha geniş ulaştırma sistemleri dahilindeki entegrasyonlara bağlı olmaktadır. Bir yüksek hızlı demiryolu (YHD) ana toplama dağıtma merkezinin inşa edilmesi; yerel toplu ulaştırma sistemlerinin başarısı ve gelişimine destek olmasından olayı olumlu geri dönüşler vermektedir. Yerel toplu ulaştırma sistemlerine gelince, bunlar da yüksek hızlı demiryollarının (YHD) taşımacılığının beslenmesine yardımcı olmaktadır. Esasen bir çalışma ise demiryolu hizmetlerinin kendini geliştirmesi ve iyileştirmesinden ziyade taşımacılık miktarını arttırmak için demiryoluna erişime destek olmak için bir geliştirme ve iyileştirme gerekliliği sonucuna ulaşmıştır. 2010 yılında Chester ve Horvath'ın Kaliforniya yüksek hızlı demiryolları (YHD) ile ilgili not ettiği üzere 'Kaliforniya yüksek hızlı demiryolları (KAYHD) istasyonlarının mücavir alanındaki toplu ulaştırma ana toplama dağıtma merkezi ve nüfusun kalkınması ile ilgili göstergeler fayda artışı için müspet' görünmektedir [5].

## ***2.2. Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Kaza İyileştirme Unsurları***

Sürdürülebilirliğin ulaştırma uygulamalarının değerlendirilmesi çerçevesinde; yeniden kullanım (RAP ve RAS), çok türlü ulaştırma (özel araç, otobüs, bisiklet ile yolcu taşımacılığı ve tır, demiryolu, su yolu, havayolu ve boru hatları ile yük taşımacılığı) ve akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) ele alınmıştır. Bütün bu kapsamların hepsi sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel, sosyal ayağındaki unsurlara sahiptir. Kaza iyileştirme unsurları (CMF\_KIU) birincil olarak sosyal sürdürülebilirlik (güvenlik konsepti dâhilinde) çevresinde döndüğü ve ikinci olarak da ekonomik sürdürülebilirlik (kazalar, yaralanmalar ve hatta ölümlerin yerine ikame olarak) ile bağlantılı olduğundan dolayı biraz kendine has olup bununla beraber kaza iyileştirme unsurları (CMF\_KIU) dâhilinde çevresel etkiler ile ilgili söylenecekler ise daha az olmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 2010 yılında güvenlik konsepti öylesine önemli bir hal almıştır ki AASHTO tarafından Otoyol Güvenlik Rehberinin (Highway Safety Manual) ilk baskısı bu yılda yapılmıştır. Söz konusu rehber, AASHTO'nun Köprü Elemanı Muayenesi ya da Otoyollar ve Caddelerin Geometrik Tasarımında Bir Politika (yeşil kitap) gibi diğer yayınları ile benzerdir fakat AASHTO'nun Otoyol Güvenlik Rehberi özellikle güvenliğe odaklanmaktadır. Bu kitapta en çok yer ayrılan konulardan ikisi ise güvenlik performans işlevleri ve kaza iyileştirme unsurlarıdır (CMF\_KIU). Amerika Birleşik Devletleri'nde Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi'ne (NHTSA) göre 2014 yılında 32.000'den fazla trafik kazası ölümü gerçekleşmiştir. Ulaştırma mühendisliği alanı ile ilgili olarak sürdürülebilirliğin sosyal ve ekonomik ayaklarına bir görüş geliştirilmesi amacı ile bu bağlamda

aşağıdaki karayolu türlerinde AASHTO Otoyol Güvelik Rehberinde uygulanan kaza iyileştirme unsurlarına (CMF\_KİU) münhasıran odaklanılmaktadır.

- Karayolu kesimleri
- Kavşaklar
- Aktarma noktaları
- Özel tesisler ve geometrik durumlar
- Karayolu ağı

Kaza iyileştirme unsurlarını (CMF\_KİU) ele almak için taşıt kaza değerlendirmelerine genel bir bakış yardımcı olabilir. Detaylı konuşmak gerekir ise kazalar ile ilgili dört genel kategorize edilmiş unsur bulunmaktadır: insan faktörü, taşıt faktörü, yol koşulları ve çevre. İnsan faktörleri; sürücü ve sürücü davranışları etrafında şekillenmektedir. Örneğin genç sürücüler sürüşte daha az tecrübeye sahiptir ve dolayısı ile de sürüş esnasında beklenmeyen kararlar almaları muhtemel olup yaşlı sürücülerin ise reaksiyon süreleri artmaktadır [6]. Bununla beraber mühendislerin kontrol edebildiği harici unsurlar da aynı zamanda bir rol oynayabilmektedirler. Örneğin kazalar karayolu tasarım ve sinyalizasyonu yolu ile sürücülerini fazla bilgi yağmuruna tutmanın sonucu olarak da ortaya çıkabilir. Dahası bilginin tutarlı ve kurallı bir şekilde temini de önemli olmaktadır. Sürücülerin bilgi kalabalığına tutulmalarının önüne geçmek de mümkün olabilmektedir örneğin bilgi veren bir dizi işaretlemenin yerleştirilmesi yolu ile sürücünün bilgiyi önem sırasına göre algılamasına yardımcı olan ileri ve düzenli bir biçimde bu gerçekleştirilebilir. Bu konseptler, düzenli trafik el ile kontrol aletlerinde (MUTCD) daha detaylı olarak değerlendirilmektedir. Düzenli trafik el ile kontrol aletleri (MUTCD) ücretsiz bir şekilde FHWA'nın internet sitesinden indirilebilmekte olup basitçe FHWA'nın internet sitesi ve googleden 'düzenli trafik kontrol araçları kılavuzu' yazarak ilk çıkan linklerden birisinden pdf uzantılı dosya indirilmesi şeklinde bu işlem gerçekleştirilebilir.

Trafik kazalarının ikinci unsuru ise taşıt koşullarıdır. Çok açık bir şekilde eğer bir aracın freni iyi değil ya da direksiyonu yeterince esnek değil ise bir trafik kazası riski artmaktadır. Ayrıca teknoloji ilerlediğinden dolayı kilitlemeyen fren sistemi ve güçlü direksiyon kontrolü teknolojileri kaza sayılarını azaltır iken emniyet kemeri ve hava yastığı gibi teknolojiler ise kazalara bağlı yaralanma ve ölüm sayılarını azaltmaktadır. Bu teknolojiler bir araçta zamanla eskidiğinden dolayı da kaza ve yaralanma sayıları artmaktadır.

Üçüncü kaza unsuru ise yol koşullarıdır. Karayolu şartları dört ana kısma ayrılabilir: kaplama, emniyet şeridi, kavşaklar ve trafik kontrol sistemi. Kaplama dikkate alındığında, karayolu ile lastik tekerlekler arasında yeterli sürtünme olmalıdır böylelikle sürücüler araç kontrolünü sürdürür iken emniyet şeritleri ise arazi araçların aktif şeritlere tekraren dâhil olmasını sağlamaktadır. Kavşaklar sürücülerin farklı yönlerden gelen araçları gözleyebilmeleri için kolay görüş çizgilerinin temini hesaba katılarak uygun bir şekilde tasarlanmalıdır. Son olarak trafik ışıkları gibi kontrol sistemi unsurları, araçlar kavşağa yaklaştıklarından ve kavşakta bekleme yaptıklarından dolayı kolay görülebilir olmalıdır.

### **3. Bulgular**

Kazalar ile ilgili genellikle bilinen dördüncü ve son faktör ise çevredir. Örneğin hava şartları kazalarda önemli bir rol oynamaktadır. Asfalt zeminde biriken su asfalt ve tekerlek temasını sekteye uğratabilir ya da donarak bu şeklini almak sureti ile tekerlek ile asfalt arasındaki sürtünmeyi azaltabilir. Sis sürücünün görüşünü azaltabilir ve duruş görüş mesafesini (DGM\_SSD) düşürebilir.



Havanın yanı sıra diğer bir çevresel faktör ise çoğu zaman üzerinde durulmayan aydınlık düzeyidir. Gün ışığındaki ölümlü kaza sayısının gece karanlığındaki ölümlü kaza sayısı ile hemen hemen aynı olduğu ancak gece karanlığında yapılan seyahat kilometrenin gün ışığında yapılanın sadece %25'i kadar olduğu hesaplanmaktadır. Bu ise ölümlü kazaların ortaya çıkma olasılığının gündüze nazaran gece 3 misli daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Ulaştırma mühendisleri bu dört trafik kaza faktörü üzerinde kısmi kontrole sahip iken karayolu altyapısı ise trafik kazalarının harici faktörlerini minimize edecek şekilde tasarlanmalıdır [6].

#### **4. Değerlendirme**

Ulaştırma türleri dikkate alındığında iki perspektifin sınanması gerekmektedir: yolcu taşımacılığı ve yük taşımacılığı. Yolcu taşımacılığına göre özel araçlar seyahat, otobüsle seyahat ve motorsuz seyahat (örneğin bisiklet) karşılaştırması sıklıkla yapılmaktadır. Örneğin Avrupa Bisiklet Federasyonu; bisiklet, otobüsle yolculuk ve özel araçlar sürüşün etkilerini araştırmıştır. Yakıt kaynaklı CO<sub>2</sub> salımlarının (emisyon) sınanması yolu ile özel araç sürüşünün 0,81 paund/mil (1,16 yolcu/araç doluluk oranı kabulü altında), otobüs ile yolculuğun 0,34 paund/mil (10 yolcu/otobüs işgal oranı kabulü altında) ve bisiklet ile yolculuğun ise 0,60 paund/mil (1 yolcu/bisiklet kabulü altında) tüketim ortaya çıkardığı bulunmuştur. Araçlar ve otobüsler için CO<sub>2</sub> salımları (emisyon) yakıtın üretimi, dağıtım ve tüketimine bağlı salımlar için hesaplanmakta iken bisiklet için CO<sub>2</sub> salımları ise bisiklet sürücüsü için gıda üretimi yolu ile hesaplanmaktadır. Toplu ulaştırma ve bisikleti kullanmanın bir diğer faydası ise karayolundaki araç yoğunluğunu düşmesidir.

#### **5. Sonuçlar**

Söz konusu fotoğrafta 60 bisiklet ve bir otobüsün karayolunda 60 özel araçtan daha az yer kapladığı açık bir şekilde görülmektedir. Esasında karayolunda genellikle araç yoğunluğunun azaltılması, hizmet parametrelerini yükseltmekte ve trafik akımını arttırmaktadır. Bununla beraber söz konusu geleneksel çalışmalar çoğu, geleneksel işletimli ve bireysel olarak sahiplenilen araçların kullanımını kabul etmektedir. Ayrıca çalışmalar toplu ulaştırmanın hem sadece ekonomik ve hem de çevresel etkilerine odaklanan oldukça tek boyutlu özelliktedir. Daha yakın dönem çalışmaları ise analizlerinde hibrid (hem elektrik ve hem de benzin ile çalışan) araçları ve otobüslerini incelemekte ve araç paylaşım şekilleri üzerinde durmaktadır. Ayrıca çeşitli yakın dönem çalışmaları ise sürdürülebilirlik ölçütlerini daha fazla içerebilmek için analiz amaçları genişletilmiştir. Örneğin 2014 yılındaki bir çalışma ise hem araç paylaşımı ve hem de araç paylaşımsız durumlar için elektrikli hibrid araçlara karşılık konvansiyonel (geleneksel) içten yanmalı motorları ele almıştır ve ardından da bu dört grubu geleneksel dizel otobüsü ve hibrid dizel elektrikli otobüse karşı sıralandırmaktadır. Bu altı araç biçimi beş sürdürülebilirlik kapsamı paralelinde değerlendirilmiştir:

1. Çevresel etkilerin minimize edilmesi
2. Enerji tüketiminin minimize edilmesi
3. Canlı bir ekonominin desteklenmesi ve maksimize edilmesi
4. Kullanıcı ve toplum memnuniyetinin maksimize edilmesi
5. Bir topluluğun gereksinimlerini karşılama için teknolojik performansın maksimize edilmesi



Analizlerde birçok kabul yapılırsa iken hem yolcu seyahat mili (YSM\_PMT) ve taşıt seyahat miline (TSM\_VMT) bakıldığında araç paylaşımı ve hibrid araçlar otobüslerden daha iyi performans sergilemektedir [7].

### **KAYNAKÇA**

- [1] Dianov V., Gevondian T. 2014. Parking system of high reliability innovation Technologies, Vol. 2. pp 531-535.
- [2] Granado F., Coady D., Gillingham R. 2010, The Unequal Benefits of Fuel Subsidies: A Review of Evidence for Developing Countries, World Development Vol. 40, No. 11.
- [3] Ilıcalı M., Catbas N., Kızıltaş M.s, Ongel A. 2014. Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study for Traffic Redistribution Due to Long Span Bridge Rehabilitation, Periodical of Advanced Materials Research, Vol. 831. P.413-417.
- [4] Altan M., Kızıltaş M., Ayözen Y. 2020. Comparative Evaluation of the Development, Current Situation and Investment Plans of High Speed Railways on National, Regional and International Basis, İstanbul Aydın Üniversitesi, IJEMME Dergisi (yayın aşamasında)
- [5] Kızıltaş M., Tekin A. 2017. İstanbul'da Raylı Sistem Hatlarının Hat ve Sefer Entegrasyonlarının İncelenmesi, Transist 2017, İstanbul Ulaşım Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 2-4 Kasım
- [6] Amendo C., Hamm P., Kelly J., Maerz L., Brunette K., Scudato M., Finley G., Greene L. 2016. Autonomous Vehicles-Considerations for Personal and Commercial Lines Insurers. Munich Re.
- [7] Takagi R. 2005. High speed railways: the last 10 years, Japan Railway and Transport Review, 40, 4-7.



## Yüksek Hızlı Demiryollarının Gelişim Süreci ve Mevcut Durumun İncelenmesi

### A Review of Development Period and Existing Case of High Speed Railways

Mehmet Fatih ALTAN<sup>1</sup>, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>2</sup>, Yunus Emre AYÖZEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mehmetaltan@aydin.edu.tr

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, mckiziltas@ticaret.edu.tr

<sup>3</sup> DHMİ Genel Müdürlüğü, yunusemre.ayozen@dhmi.gov.tr

**Özet:** Yüksek hızlı demiryolları yaklaşık 60 yıllık bir küresel geçmişe sahiptir. İçinde bulunduğumuz çağın ise belirleyici ulaştırma türlerinden birisi olacak gibi görünmektedir. Bu çalışma kapsamında ise ilk olarak yüksek hızlı demiryollarının Avrupa başta olmak üzere etkileri ve olumlu kazanımları el alınmaktadır. Ardından ise Avrupa'daki gelişim süreci değerlendirilmiştir. Bu kapsamda devamında uluslararası örnekler incelenmiştir. Sonrasında ise hat ve kapasite incelemeleri sunulmuş olup akabinde küresel rekabet unsurları ortaya konulmuştur. Son olarak bu çerçevede sonuçlar verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek hızlı demiryolları, türel dağılım, kapasite

**Abstract:** High speed railway has approximately 60 years history on globally. In this century it will have a dominant role on transport. In this paper positive effects and gains of this mode particularly in Europe are evaluated. Then development period is expressed. In this context international samples are reviewed. After these line and capacity expressions are given and global competition parameters are presented. Lastly in this framework conclusions are given.

**Keywords:** High speed railways, modal distribution, capacity

## 1. Giriş

Avrupa'daki yüksek hızlı demiryolu hatları kesintisiz bir gelişim süreci içerisinde. Bu gelişim süreci; ülkelerin kent yapılanmalarına, demiryolu hizmeti ve teknoloji kültürüne, âdemi merkezleşme süreçlerine ve politik tarzlarına göre farklılaşmaktadır. Fransa ve İspanya'nın bu alanda kesin ve ekolleşmiş tanımları vardır: az sayıda ve uzak mesafeli duraklar, başkentlerinde merkezleşmeyi artırıcı yapı ve işletim gibi. Bu iki ülkenin nihai hedefi; başkentleri olan Paris ve Madrid'i ana kentsel alanlar olmaları nedeniyle birbirine bağlamaktır. Yüksek hızlı demiryollarında daha farklı sınıflandırmalar da ortaya konulmaktadır. Bu sınıflandırmalara göre, yüksek hızlı demiryolu koridoru boyunca ara kentler, büyüklüklerine ve ana istasyon metropollerine mesafelerine göre değerlendirildiler. Yüksek hızlı demiryollarının bilimsel analizi geleneksel olarak, ulusal, bölgesel ya da kentsel bazda- bir zaman dilimindeki konum eşası olarak ele alınmaktadır.

Örneğin, potansiyel erişilebilirlikte genelleştirilmiş seyahat maliyeti bir ölçüt olarak kullanılabilir. Bununla beraber, fiyat ve kalkış sıklıkları bağlamında 'seyahat süresi' bir erişilebilirlik hesabı faktörü olarak kullanılabilir. Birçok Fransız yüksek hızlı demiryolu uzmanı, çalışmalarında seyahat süresini ana ölçüt olarak almıştır. Orta ölçekli kentler arasında havayolu-yüksek hızlı demiryolu rekabetinin tanımlanmasında da seyahat süresi, türel bazda en önemli

ölçütlerdendir. Kentlerin konumsal avantajları, çeşitli merkezlere yakınlıklarından çok çevre ulaştırma ağlarına yakınlıkları ile ölçülür. Bu perspektiften bakıldığında, ulusal bazda orta ölçekli kentler için iki faz önemlidir. Birincisi, yüksek hızlı demiryolu (YHD) ulaştırma türünün çevre Metropollerini bağlantısı ve 2.si, yüksek hızlı demiryolu (YHD) vasıtasıyla bu çevre metropolden gelen yolcu akışının, transit geçmeyerek bu kentlere akışını sağlamaktır.

1994'te hizmete açılan Eurostar, Belçikalı SNCB, Fransız SNCF ve Eurostar UK Ltd. (EUKL demiryolu) şirketlerinin bir ortak girişimidir. Eurostar hizmet verdiği hatta yolcu pazarında yüksek bir paya sahiptir. Kasım 2004 itibariyle Londra-Paris hattının %68'ine ve Londra-Brüksel hattının %63'üne sahiptir. Trenler 400m uzunluğunda, 800ton ağırlığındadır ve 750 yolcu taşımaktadır. 300 km/saat'lik bir maksimum hıza erişmektedirler. TGV trenlerinin modifiye edilmiş halidirler ve Kanal'da gerekli olmayan bazı Eurostar trenleri Fransız ulusal demiryolları tarafından düzenli TGV seferlerinde kullanılmaktadır. Temmuz 2003'te Eurostar trenleri Kanal Tünel Demiryolu Bağlantısının güvenlik testi süresince yeni bir İngiltere demiryolu hız rekoru olan 334,7 km/saat'e ulaşmıştır [1].

Virgin Trenleri tarafından Pendolino Yatar Gövdeli Trenlerinin geliştirilmesiyle seyahat sürelerinin geliştirilmesi daha kolaylaşmıştır. 200 km/saat'lik maksimum hızlara ulaşılmıştır. Doğrusu, bu iyileştirme maliyetinin (yaklaşık 9 milyar £) çok yüksek olduğu ve bunun yerine yeni bir hat yapılmasının daha doğru bir seçenek olabileceği sonraları anlaşılmıştır. Tıkanıklığın rahatlatılması, iyileştirmenin ana hedefini oluşturmaktaydı fakat çalışma devam ederken ve bütün belirtiler güzergâhın güney kanadında daha yüksek kapasite gereksinimini gösterirken birçok kullanıcı arasında kapasite paylaşımı konusu hakkında birçok tartışma vardı.

İngiltere, Fransa ve Belçika arasındaki Eurotunnel boyunca işleyen Eurostar trenleri TGV trenlerinin modifiye edilmiş bir versiyonudur ve farklı güç sistemleri ile yedi farklı sinyalizasyon türünde işleyebilmektedir. Trenlerde 18 adet yolcu vagonu vardır. Bu yüzden Londra ve diğer Avrupa şehirleri arasında önemli bir yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. 794 yolcu ile dolu bir tren birkaç büyük uçağa eşdeğerdir. Eurostar Londra'yı Paris ve Brüksel'e bağlayan bir trendir. Trenler, İngiliz Kanalını Kanal Tüneli yoluyla aşmaktadır. Kanal Tünelini inşa eden ve işleten şirket Eurotunnel'dır ve tamamıyla ayrı bir şirkettir. Yolun Fransa ve Belçika'daki bölümlerinde TGV ve Thalys ile aynı yüksek hızlı tren hatlarını kullanmaktadır ve İngiltere'deki hat da aynı standartlarda yeni bir hat yapımı ile yeniden gelişim içindedir. CTRL (Kanal Tünel Demiryolu Bağlantısı) diye bilinen iki aşamalı projedir [2].

## **2. Avrupa Gelişim Süreci**

1979'da 180 km/saat, 1984'te 181,5 km/saat, 1987'de 238 km/saat'lik hız o dönemde dizel trenler için bir rekordu ve halen Paddington hariç kullanışlı bir hizmet ortaya koymaktadır. Kanal Tüneli ile Londra arasındaki bir proje ise 1960-1975 arasında gerçekleştirilmiş olup maalesef 1973 petrol krizinin oluşturduğu ekonomik koşullar sebebiyle çok ciddi zorluklarla karşılaşmıştır. Britanya Hükümeti, demiryolu idaresinin Kanal Tüneli Demiryolu Ağının inşası ile birlikte artan maliyetinden (yıllık maliyeti 123 milyon Pound ile 373 milyon Pound arasında tahmin edilmektedir) endişelenerek Ocak 1975'te projeyi durdurma kararı almıştır. İkinci olarak ve tamamıyla başarılı bir kararla, High Speed 1 (HS1)-Yüksek Hızlı 1 hattı 2003'te kısmen açılmıştır ve 2007'de Londra St. Pancras'a ulaşarak tam kapasitesine ulaşmıştır.

Bugün itibariyle, Britanya demiryolu taşımacılığının çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ne var ki, bu durum aynı zamanda; Kamu-Özel Ortaklığı'nın (PPP) ve Özel Finans İnsiyatifi'nin bütün

risk ve zorluklarının ana örneğini de ortaya koymaktadır. Taahhüt edilmiş olan Özel Sektör desteğinin bir kısmı 1994'te 2,7 milyar £ olarak gerçekleştirildiğinde 1998 ve 2001'e kadar Hükümet'in finansal yardımı da keskin bir şekilde artmış olup projenin toplam maliyeti 5 milyar Poundu aşmıştır.

Yüksek hızlı demiryolları, Britanya'da biraz karmaşık bir tarihe sahiptir. Britanya Demiryolları'nın APT Projesi kapsamında, pahalı yeni altyapılara gerek duyulmaksızın hızı maksimize etme tasarımı yenilikçiydi fakat 1981-82-84 yıllarında meydana gelen kazalar Britanya'yı bu konuda vazgeçirme noktasına getirdi. Bunun sonucunda, ikinci sınıf teknolojinin en üst düzeyindeki bir konvansiyonel tasarım devreye girdi. YHD, Great Western Main Line (Büyük Batı Ana Hattı) üzerinde (Ekim 1976) ve East Cost Main Line (Doğu Kıyı Ana Hattı)'da (1978'den itibaren) 200 km/saat'lik hızla işletilmeye başlamıştır. 20 yılı aşkın süredir de Britanya Demiryolu Yolculuk işletiminin ana gövdesini meydana getirmektedir. Çevre Ulaştırma ve Bölge Bakanlığı'nın (DETR) 2000 yılında oluşturmuş olduğu 'Ulaştırma 2010 (10 yıllık) Planı'nda yeni yüksek hızlı demiryolu inşasına dair herhangi bir gönderme yer almazken, mevcut projeler üzerinde zaman kazancı iyileştirmeleri ve özellikle CTRL (Kanal Tüneli Demiryolu Ağı)'nin tamamlanması ile özellikle Batı Kıyı Ana Hattı (WCML) başta olmak üzere mevcut hatların modernizasyonu konularına atıflar yer almıştır [2].

Doğrusu birçok zaman Britanya Demiryolu Politikası, ana güzergâh üzerindeki mevcut hat altyapılarının iyileştirilmesini empoze etmektedir. 2006'da Eddington Transport Study (Eddington Ulaştırma Çalışmaları) Britanya kent merkezlerinin İspanya ve Fransa'ya kıyasla birbiriyle daha yakın olduğunu ve bu nedenle mevcut demiryolu hizmetlerinin yeterli olacağı görüşünü savunmuştur. Eddington, devasa projelerin belirsiz geri dönüşlerinin olabileceğini bu nedenle YHD seçeneğinin 'yoğun koridorların rahatlatılmasında en değerli parasal seçenek' olduğunu öngörmüştür. Bu sav, Britanya Hükümeti'nin Beyaz Kitap'ınca desteklenmiştir.

Almanya'da, Britanya'da olduğu gibi tren hızları altyapı ve demiryolu trafik karakteristiklerince sınırlandırılmıştır ve Ana Hat üzerinde yolcu ve yükün birlikte uygulandığı bir işletim sistemi vardır. Almanya Yüksek hızlı demiryolu Hizmetleri, hemen Fransa'yı takiben 1980'lerde işleme girdi. InterCity Express (Şehirlerarası Ekspres-ICE) bütün Alman topraklarında düzenli bir şekilde yayılı olup yüksek hızlara ulaşmaktadır. Almanya Avrupa'nın en büyük ekonomisi olmasına karşı; 290 km/saat ve üstü hızlara çıkabilen sadece iki hatta sahiptir [3].

### **2.1. Uluslararası Örnekler: Britanya, Almanya, ABD**

Yüksek hızlı demiryolları, Britanya'da biraz karmaşık bir tarihe sahiptir. Britanya Demiryollarının APT Projesi kapsamında, pahalı yeni altyapılara gerek duyulmaksızın hızı maksimize etme tasarımı yenilikçiydi fakat 1981-82-84 yıllarında meydana gelen kazalar Britanya'yı bu konuda vazgeçirme noktasına getirdi. Bunun sonucunda, ikinci sınıf teknolojinin en üst düzeyindeki bir konvansiyonel tasarım devreye girdi. Yüksek hızlı demiryolları (YHD), Great Western Main Line (Büyük Batı Ana Hattı) üzerinde (Ekim 1976) ve East Cost Main Line (Doğu Kıyı Ana Hattı)'da (1978'den itibaren) 200 km/saat'lik hızla işletilmeye başlamıştır. 20 yılı aşkın süredir de Britanya Demiryolu Yolculuk işletiminin ana gövdesini meydana getirmektedir. Çevre Ulaştırma ve Bölge Bakanlığı'nın (DETR) 2000 yılında oluşturmuş olduğu 'Ulaştırma 2010 (10 yıllık) Planı'nda yeni yüksek hızlı demiryolu inşasına dair herhangi bir gönderme yer almazken, mevcut projeler üzerinde zaman kazancı iyileştirmeleri ve özellikle CTRL (Kanal Tüneli Demiryolu Ağı)'nin tamamlanması ile özellikle Batı Kıyı Ana Hattı (WCML) başta olmak üzere mevcut hatların modernizasyonu konularına atıflar yer almıştır. Doğrusu birçok zaman Britanya Demiryolu Politikası, ana güzergâh üzerindeki mevcut hat

altyapılarının iyileştirilmesini empoze etmektedir. 2006'da Eddington Transport Study (Eddington Ulaştırma Çalışmaları) Britanya kent merkezlerinin İspanya ve Fransa'ya kıyasla birbiriyle daha yakın olduğunu ve bu nedenle mevcut demiryolu hizmetlerinin yeterli olacağı görüşünü savunmuştur. Eddington, devasa projelerin belirsiz geri dönüşlerinin olabileceğini bu nedenle yüksek hızlı demiryolları (YHD) seçeneğinin 'yoğun koridorların rahatlatılmasında en değerli parasal seçenek' olduğunu öngörmüştür. Bu sav, Britanya Hükümeti'nin Beyaz Kitap'ınca desteklenmiştir.

Almanya'da, Britanya'da olduğu gibi tren hızları altyapı ve demiryolu trafik karakteristiklerince sınırlandırılmıştır ve Ana Hat üzerinde yolcu ve yükün birlikte uygulandığı bir işletim sistemi vardır. Almanya Yüksek hızlı demiryolu Hizmetleri, hemen Fransa'yı takiben 1980'lerde işleme girdi. InterCity Express (Şehirlerarası Ekspres-ICE) bütün Alman topraklarında düzenli bir şekilde yayılı olup yüksek hızlara ulaşmaktadır. Almanya Avrupa'nın en büyük ekonomisi olmasına karşı; 290 km/saat ve üstü hızlara çıkabilen sadece iki hatta sahiptir. Bunlar, Frankfurt-Köln ve Münih-Nuremberg'dur. Ülkenin geri kalan birçok YHD hattı 194 km/saat dolaylarında hız yapmaktadır. Bu sonuçlar Fransız TGV'ye kıyasla düşük hızları ifade etmektedir. Münih-Berlin arası 6 saat alırken, hemen hemen aynı mesafedeki Paris-Marsilya TGV hattı 3 saat almaktadır. Almanya'nın yüksek hızlı demiryolları tecrübesi köklü olup, bu konuda uzun süre Avrupa ve dünya lideri konumda olmuştur. Fakat bununla birlikte son yıllarda bu ivmelenmesini İspanya'ya kaptırdığını görüyoruz. Bunun sebepleri, aynı konfor parametrelerini ve hız değerlerindeki gelişmeleri sürdürmeyi başaramamış olması ve önemli bazı facia niteliğinde YHD Kazalarına ev sahipliği yapmış olmasıdır. Almanya'da ICE (InterCity Express) yüksek hızlı tren hizmetini sunmakta olup, şehirlerarası yüksek hız olarak tercüme edilebilir. Ülke içinde hatlar daha ziyade Kuzey-Güney eksenli olup yer yer Doğu-Batı eksenli hatlarda mevcuttur. Ülke içinde ise ana servis güzergâhları Berlin-Münih-Hamburg-Köln ve Frankfurt merkezlidir [3].

Almanya, hız rekorları kırılması konusunda Fransa ile rekabet halinde olup 1986'da 346 km/saat ve 1988'de 407 km/saat'lik hız değerlerine ulaşmıştır fakat periyodik hizmetleri genellikle konvansiyonel raylar üzerinde Britanya Demiryolları süratlerinde takip etmektedir. Tepelik arazi yapıları ve düşük eğimli kesitlerden geçme ihtiyacı yük taşımacılığının yeni altyapılar kullanması ve mukayeseli olarak yapım maliyetlerinin yükselmesi sonucunu doğurmuştur. Ayrıca, masraflar Alman kamuoyunun yüksek çevre algısı ve hassasiyetinden etkilenmiş olup bu, daha karmaşık ve âdemi merkezîyetçi bir politik atmosfer oluşturmuştur. Bütün bunlar, yapım maliyetlerinin kaçınılmaz olarak kilometre başına neredeyse TGV'nin kinin üç katı olması anlamına gelmekteydi. Aynı zamanda, ICE'nin daha sınırlı etkilerine bağlı olarak TGV ve Shinkansen'e kıyasla trafik çekimleri de daha düşüktür.

ICE trenleri yeni yapılan bölümlerde 250 km/saat'lik maksimum hıza ulaşmaktadırlar. Berlin-Hannover arasındaki yüksek hızlı tren hattı 1998'te açılmış ve Ağustos 2002'de 177 km'lik önemli bir hat olan Köln-Rhine/Main yeni hattında seferler başlatılmıştır. Hali hazırda yapım aşamasında olan diğer hatlar Nürnberg-Ingolstadt, Karlsruhe-Offenburg ve Köln-Aachen yollarıdır. ICE 2.000 km'lik bir ağa sahiptir. Bu ağın sadece yarısı 250 km/saat'ten daha fazla hıza imkân tanımaktadır. ICE yalnızca 1991 yılında işletilmeye başlamasına rağmen o zamandan beri büyük gelişmeler kaydetmiştir. İlk trenler iki lokomotif ve 723 oturma kapasitesine sahip azami 14 yolcu vagonuna sahiptiler. Yeni geliştirilen ICE 2,2, 8.000 kW'lık bir performansa sahiptir ve maksimum 330 km/saat hıza ulaşmaktadır. Bu yeni trenlerin dizaynındaki yenilik, ağırlığı eşit dağıtan ve daha fazla hızlanmayı sağlayan sürüş biriminin her vagona yer almasıdır. Bu trenlerden bazıları uluslararası seferler için değişik güç sistemlerini kullanabilecek şekilde imal edilmiştir. ICE Servisleri; ülke içi entegrasyonun yanı sıra Kopenhag (Danimarka), Zürih (İsviçre), Londra (İngiltere), Paris (Fransa), Viyana (Avusturya), Amsterdam (Hollanda) ve Brüksel (Belçika) servisleri ile de geniş bir AB Entegrasyon

alanı oluşturmuştur. Almanya'da yüksek hızlı demiryolu hizmeti Haziran 1991'de ICE'nin (Şehirlerarası Ekspres) pazara girmesi ve Hamburg ve Münih'i birbirine bağlayan iki hattın açılmasıyla başlamıştır. Almanya devlet demiryolları DeutscheBahn'ın yarı bağımsız şirketi DB Fernverkehr tarafından işletilmektedir.

AB'de, A.B.D.'ne nazaran otoyol geçiş fiyatlandırma uygulamaları daha yaygın olup yakıt fiyatları ise daha yüksektir. Yakıt fiyatları zamana ve coğrafyaya göre değişiklikler göstermekle beraber genel olarak AB'de A.B.D.'nin iki katı dolaylıdır. Avrupa Birliği otoyollarında fiyatlandırma uygulaması ülkelere göre toplam ağ uzunluklarının yaklaşık %12'si ile %30'unda uygulanmakta olup bu oran A.B.D.'nde ise sadece %1,3'tür [4]. Ayrıca Avrupa Birliği'nde demiryolu sübvansiyonları süreci A.B.D.'ne göre genel olarak daha ağır işletilmekte olup A.B.D.'de ise, demiryolu yolcu taşımacılığında doğrudan önemli oranlarda sübvansiyon söz konusuysen, demiryolu yük taşımacılığında ise dolaylı yollardan gelir vergilerinin (2001'de 538 milyon \$) hükümet, eyaletler ve benzeri kurumlar kanalıyla bu alana yönlendirildiği görülmektedir. Avrupa Birliği'nde (AB) genel olarak sübvansiyonların çoğu demiryolu yolcu taşımacılığına yönlendirilmekle beraber, bu miktarların hemen hemen yarısı (2001'de 38.306 milyon Euro'nun 18.364 milyon Euro lük bölümü) hem yük hem yolcu taşımacılığının ortak kullandığı demiryolu altyapısına ayrılmaktadır. Avrupa Birliği (AB) Demiryolu Politikalarının dezavantajlı yönlerinden en öne çıkanı ise yolcu taşımacılığını yük taşımacılığından çok daha fazla ön plana alması olarak görülmekte, bu anlamda şehirlerarası yolcu taşımacılığında demiryolunun payı Avrupa Birliği'nde (AB) %6,25 iken A.B.D.'nde ise bu oran sadece %0,32'lerde kalmaktadır.

## **2.2. Hat ve Kapasite**

Demiryolu güzergâhları kısıtlı olup bunların yolcu taşımacılığı için geliştirilmesi anlamında önemli imkânlar ve çalışmalar varken aynı durum yük taşımacılığı için ise söz konusu değildir. AB'de demiryolu yük taşımacılığının geliştirilebilmesi 'çok disiplinli işletim imkânlarının teknik olanakları ve ülkeler arası lokomotif sürücülerinin ortak eğitimi gibi çalışmalarla gelişebilecektir. Burada iki önemli başlık ise koordinasyon ve finansman kaynaklarıdır. Bir diğer önemli eşik ise yolcu taşımacılığı-yük taşımacılığı arasındaki talep dengesinin sağlanması olup AB'de birçok noktada özellikle kent içi yük taşımacılığında bu konuda önemli kısıtlar söz konusudur.

Hat kapasitesinin artırılması, sinyalizasyon başta olmak üzere altyapı kalitesinin yükseltilmesi, demiryolu yük taşımacılığı türel payını doğrudan yükseltebilecek imkânlar olarak öne çıkmaktadır. Bir diğer önemli husus ise demiryolu yük taşımacılığının teşvik edilmesi ve sektörel rekabetçiliğinin artırılmasıdır. Daha kısa taşıma mesafeleri ve daha uzun kıyı şeritleri, AB'nin A.B.D.'ne nazaran ön plana çıkan karakteristik yapıları olmakla beraber, söz konusu iki coğrafyada genel anlamıyla birbirinden çok da farklı olmayan ürün çeşitliliği konusu da belli ölçeklerde öne çıkan bir başlık olmaktadır. Daha kısa taşıma mesafeleri ve daha uzun kıyı şeritleri, Avrupa Birliği'nin (AB) A.B.D.'ne nazaran ön plana çıkan karakteristik yapıları olmakla beraber, söz konusu iki coğrafyada genel anlamıyla birbirinden çok da farklı olmayan ürün çeşitliliği konusu da belli ölçeklerde öne çıkan bir başlık olmaktadır. Burada ana faktör ise AB'nin demiryolu yük taşımacılığı anlamında gelişen politikalarıdır ve en önemli avantaj alanı olarak görülmektedir. Bu politikaların orta vadeli yansımaları ise demiryolu yük taşımacılığının %65'lere varan bir ivme ortaya koyabileceği yönündedir. Avrupa Komisyonu'nun 2001 Beyaz Kitap'ının ana hedeflerinden biride bu konudur. Fakat bütün bu değişimler ve projeksiyonlar dâhilinde, orta vadede Avrupa Birliği'nin (AB), yük taşımacılığında A.B.D.'nin %38'lik türel payına ulaşması mümkün görülmemektedir [4].

Burada ana faktör ise AB'nin demiryolu yük taşımacılığı anlamında gelişen politikalarıdır ve en önemli avantaj alanı olarak görülmektedir. Bu politikaların orta vadeli yansımaları ise demiryolu yük taşımacılığının %65'lere varan bir ivme ortaya koyabileceği yönündedir. Avrupa Komisyonu'nun 2001 Beyaz Kitap'ının ana hedeflerinden biride bu konudur. Fakat bütün bu değişimler ve projeksiyonlar dâhilinde, orta vadede AB'nin, yük taşımacılığında A.B.D.'nin %38'lik türel payına ulaşması mümkün görülmemektedir.

Avrupa Birliği, Amerika Birleşik Devletleri'nden daha uzun olan (Avrupa Birliği demiryolu ağı 215.900 km, Amerika Birleşik Devletleri 203.600 km) gelişmiş bir demiryolu şebekesine sahiptir. Ancak AB'de, kesintisiz ulaştırmanın sağlanamaması (sınır geçişleri, teknik ve idari farklılıklar), altyapının yolcu ve yük trenleri tarafından paylaşılması, yük trenlerinin daha düşük hızlarda işletilmesi ve yolcu trenlerine geçiş hakkını vermek zorunda olması yük trenlerinin genel olarak daha uzun sefer sürelerinin oluşmasına ve trafik aksaması durumunda ise büyük tehirlere karşı karşıya kalmalarına neden olmaktadır. Bunun sonucunda Avrupa'daki demiryolu yük taşımacılığı verimliliği, demiryolu hatlarının çoğunun yüke ayrıldığı Kuzey Amerika'dakinden çok daha düşüktür.

Bazı tahminlere göre AB'de ton/km başına maliyet 8 sent iken Amerika Birleşik Devletleri'nde 1 sente yakındır. Bazı hatların yüke tahsis edilmesinin, demiryolu yük taşımacılığının gelişmesine verdiği katkıdan dolayı, AB de 913/2010 sayılı tüzükle AB içerisinde demiryolu yük koridorlarının oluşturulmasına başlamış ve 2015 yılı sonuna kadar çalışmaların tamamlanmasını üye ülkelere zorunlu kılmıştır. Bu örnek ve yaklaşım dikkate alındığında, etkin bir demiryolu yük taşımacılığının yapılabilmesi için, ülke genelinde 'yüke tahsisli veya yük öncelikli hatlar' şeklinde koridorların oluşturulması gerektiği düşünülmektedir. Kilometre başına maliyet, 4 milyon ABD Doları olarak konmuş ve halen en pahalı Fransız yatırımları 10-15 milyon ABD Dolarları seviyesinde gerçekleşiyor olup bu, İtalya'nın 25 milyon ABD Doları/km ve Birleşik Krallık'ın 74 milyon ABD Doları/km (Kanal Tünel Demiryolu Ağı İlk Fazı) maliyetlerinin yanında oldukça uygundur [5].

### **3. Bulgular**

Dünya genelinde, yüksek hızlı trenlerin mevcut altyapılar üzerinden ortalama 200 km/saat hızlarla işletilebildikleri görülmektedir. Bunun daha üstünde hızlarla işletim kimi ülkelerde mümkün olabilmekte, çok daha yüksek hızlara ise deneme aşamasında ulaşılabilmektedir. Yüksek hızlı demiryolları işletiminde tavan hızlar 250-275 km/saat olarak gerçekleşmekte olup bu hızları Japonya, Çin, İspanya ve Fransa gibi ülkeler yakalayabilmektedir. Japonya ve Fransa uzun yıllardan beri sektörel deneyimlerini teknolojik gelişimleriyle güçlendirebilmişken, İspanya ve Çin ise bu hizmet sektörünün de çok daha yeni olmasına karşın, önemli sıçramalar gerçekleştirebilmiştir. Sektöre daha erken giriş yapmış olan ülkelere İtalya, Almanya ve Britanya belli hız sınırlarında kalırlarken, Almanya önemli ölçüde ülke ve bölge sathında yüksek hızlı demiryolu hattı inşası gerçekleştirebilmiştir.

İspanya ise, son yıllardaki yatırımlarıyla ulaştığı hat uzunluğuyla, Fransa ve Japonya'yı geride bırakmış, Avrupa kıtasında bu alanda lider ülke konumuna gelmiştir. Almanya, yüzölçümünün önemli bir kısmına yayılı hat uzunluğunu düzenli yatırımlarla ülke sathına yaymaya devam etmekte, altyapı ve hizmet parametrelerini de düzenli olarak iyileştirmektedir. Almanya bu özellikleri itibariyle Avrupa kıtasında sektörel bazda 3.sırada gelmekte olup, bu ülkenin Belçika, İsviçre, Hollanda, Fransa ve İtalya gibi ülkelerle ortak yüksek hızlı demiryolu yatırımlarıyla da entegrasyonu alabildiğine arttırma çabası



içinde olduğu görülmektedir. Britanya ve İtalya ise, sektöre erken ve hızlı bir girişi yapmış sonrasında ise ciddi bir duraklamaya girmiş olup son yıllarda İtalya'nın yüksek hızlı demiryolu inşası planlarını tekrar gündeme aldığı görülmektedir.

Tayvan ve Güney Kore başta olmak üzere diğer Uzak Asya ülkelerinde de bu süreçte kayda değer yüksek hızlı demiryolu yatırımları devam edecek, bu süreçte yüksek hızlı demiryolu sektörüne yeni ülkelerin katılımı görülecektir. Çin, kısa süre içerisinde coğrafyasının tümüne bu servisleri yaymayı ve sonrasında komşu ülkelerle bağlantılandırmayı öncelikli ve ekonomik ihtiyaçları ile kapasite gereksinimleri paralelinde geliştirmeyi zaruri görmektedir. İspanya'nın ise; Çin'den de büyük bir ivme ile önemli miktarda yüksek hızlı demiryolu yatırımı yapacağı görülmektedir. Her iki ülkenin de bu sektördeki yatırımları ulusal entegrasyon anlamında öncelendiği de anlaşılmakta ve bunun bölgesel entegrasyon fazını da şimdiden gündeme aldıkları görülmektedir. Yüksek hızlı demiryollarının Japonya, Fransa ve Almanya örneklerindeki başarısını takiben birçok yeni YHD ağ planları devreye girmektedir. 7.000 km'lik yeni YHD hattı Güney Kore, Çin ve Tayvan gibi Uzak Asya Ülkeleri'nde inşa halindeyken, diğer taraftan Rusya, Almanya, Fransa ve Birleşik Krallık gibi ülkelerde de 2.000 km'lik yeni YHD hattı yapımı söz konusudur [5].

Avrupa'da Belçika ve Hollanda, PBKAL hizmetlerini genişletici yatırımlar yapmakta olup, İsviçre, Portekiz ve İsveç'te aynı zamanda yeni YHD Hatları planlamakta ve inşa etmektedir. Yüksek hızlı demiryolları, Avrupa Birliği sathında yolcu taşımacılığında yaklaşık %25'lik bir paya ulaşmış bulunmaktadır. Asya'da Türkiye, Güney Kore, Tayvan ve Çin, Amerika'da ABD yeni YHD Hizmetleri devreye almaktadırlar. Özellikle Çin; YHD yatırımlarını birinci gündeme almış durumdadır. Yüksek hızlı demiryolları teknik bir yenilik olup, daha hızlı ve etkili bir ulaştırma türü oluşturmak adına 'geleneksel demiryolları' üzerine entegre edilmiş birçok gelişim ile ortaya çıkarılmıştır. Bununla beraber, şu da bir gerçektir ki YHD çoğu zaman geleneksel demiryollarıyla aynı mantık üzerinden işletilir, diğer bir deyişle eski tip hizmetler yeni ve daha hızlı bir görünüm giydirilerek işlevselleştirilmiştir. Bu yükseltici yaklaşım birçok sektörde başarılı sonuç vermiştir. Fakat, sosyo-teknik sistemin sosyal kanadında yenilikçi bir arayış, günün ulaştırma taleplerine daha çekici ve verimli hizmetlerin entegre YHD ağlarıyla gelişimini ortaya çıkartabilir [6].

#### **4. Değerlendirme**

Ulaştırma, insanlığın varoluşundan bugüne; sosyal ilişkilerin ve teknik gelişmelerin sebebi ve sonucu, etkileyen ve etkilenen bir unsur, bütüncül bir sistemin ana öğelerinden birini teşkil etmektedir. Dolayısıyla, sosyal, ekonomik, teknik, kültürel, politik bütün süreçlerin merkezinde bir itici güç olarak yer almaktadır. Şehirleşme ile kopmaz ve karşılıklı bir ilişkiye sahip olan ulaştırma, ancak eşgüdümlü ve bütünlüklü yürüyen bir sistemden 'işler ve verimli' girdiler ve çıktılar verebilecektir. Ülkemizin uzun on yıllar boyunca en önemli açmazlarından birini, her alanda parçalı yaklaşım ve bütünlükçü olmayan eylem ve düşünceler meydana getirmektedir. Buradan hareketle, 'akademi ile piyasa, şehirleşme ile ulaştırma, teori ile pratik' başta olmak üzere birçok konuda temel ihtiyacımız bütünlükçü yaklaşım açısını yakalayabilmekten geçmektedir. Benzeri problemleri, ulaştırmanın temel konuları olan, 'türler arası entegrasyon, insan odaklı yaklaşım, dengeli türel dağılım, hizmet parametrelerinin yükseltilmesi' konularında da yaşamaktayız. Bütün bu problemlerin önümüze koyduğu başlıklardan biriside demiryollarıdır. Demiryollarının yolcu ve yük taşımacılığında geliştirilerek olması gereken paya ulaştırılması gerekliliği; hem görünen bir gerçektir ve hem de olması gerektir. Ülkemizdeki trendin de bu yöne evrildiği bir vakadır. Demiryollarının en etkin ve verimli ayağı ise, Japonya, Fransa,

Almanya gibi ülkelerde kırk yıla yaklaşan bir tecrübeye yaslanan ve küresel ölçekte git gide ağırlığını hissettirmeye başlayan, yüksek hızlı demiryollarıdır.

## **5. Sonuçlar**

Demiryolu mekân tüketiminin azlığı, farklı enerji kaynaklarının kullanımına imkân vermesi nedeniyle çevreci olması, yüksek kapasiteli çalışması gibi özellikleriyle sürdürülebilir bir ulaştırma türü olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek hızlı demiryolları (YHD) ise bu özelliklerinin yanı sıra, güvenlik, konfor, dakiklik, hız gibi hizmet parametrelerini de üst düzeyde sağlamaktadır. Son olarak Eskişehir-İstanbul Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) etabı bitirilerek İstanbul-Ankara Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı işleme alınmıştır. Hâlihazırda Ankara-Yozgat-Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı, Ankara-Afyon-İzmir Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı, Eskişehir-Bilecik-Bursa-Bandırma Yüksek Hızlı Demiryolu (YHD) hattı inşaları hızla devam etmektedir. Ayrıca Konya üzerinden Adana-Mersin YHD bağlantısı da planlanmaktadır. Ankara-Afyon-İzmir, İstanbul (Halkalı)-Edirne Yüksek Hızlı Demiryolu Hattı ile Ankara-Kayseri Yüksek Hızlı Demiryolu hattı da yapım çalışmaları devam eden hatlardandır. Bir diğer planlanan hat ise, İstanbul(Halkalı)-Bulgaristan YHD hattıdır [7].

Karasal ulaştırma sektörünün özelleştirilmesi, küresel politikalarda derin etkileri olan bir konudur. Demiryolu ulaştırmasında yakın geçmişte yaşanan radikal değişimlere ve büyük yatırımlara karşın özelleştirme hızı diğer ulaştırma sektörleri ve telekomünikasyon sektöründeki hızın gerisinde kalmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalar, sektörel özelleştirmede takip edilen adımların sağlayacağı faydaların, verimlilik ve üretim kapasitesi ile bağlantılı olduğunu gösterirken, çeşitli Avrupa Birliği üye ülkeleri başta olmak üzere bazı ülkelerdeki bütünlüklü özelleştirme politikalarının olumlu sonuçlar verebildiği de görülmektedir. Bu durumun aynı zamanda yolcu ulaştırma sektöründeki türler arası entegrasyonun kurulabilmesi ile de doğrudan ilgili olduğu bilinmektedir. Türler arası entegrasyon konusu ise uygulanan politikalarla paralellik arz etmektedir.

## **KAYNAKÇA**

- [1] Kızıldaş M., Altan M. 2018. A Review in Term of Service Parameters on the Modal Choices and Mass Transport, İzmir
- [2] Altan M., Kızıldaş M. 2020. Yüksek Hızlı Demiryolları, Yolcu Ve Yük Taşımacılığı Karşılaştırmaları Bağlamında Küresel Ölçekli Bir Derleme Çalışması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, ULAKBİM (yayın aşamasında)
- [3] Takagi R. 2005. High speed railways: the last 10 years, Japan Railway and Transport Review, 40, 4-7.
- [4] Ebeling K. 2005. High-speed railways in Germany, Japan Railway and Transport Review, 40, 36-45
- [5] Theurel J., Theurel A., Lepers R. 2012. Physiological and cognitive responses when riding an electrically assisted bicycle versus a classical bicycle. Ergonomics, 55, 773e781.
- [6] Zhou H., Ni Y., Ko J. 2010. "Constructing input to neural Networks for modeling temperature-caused modal variability: mean temperatures, effective temperatures, and principal components of temperatures," Engineering Structures, vol. 32, no.6, pp.1747-1759.
- [7] Dianov V., Gevondian T. 2014. Parking system of high reliability innovation Technologies, Vol. 2. pp 531-535.



## GFRP Donatılı Beton Kaplamaların Türkiye'deki Kaplama Türleri ile Karşılaştırılması

### Comparison of GFRP Reinforced Concrete Pavements with Pavements Types in Turkey

M. Haşim KISA<sup>1</sup>, Özlem BATTAL ŞAL<sup>1,\*</sup>, M. Fethi ERTENLİ<sup>1</sup>, H. Betül UMARUSMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Arş. Gör., Karabük, Türkiye

\* corresponding author ([ozlembattal@karabuk.edu.tr](mailto:ozlembattal@karabuk.edu.tr))

**Özet:** Dünyada karayolu tasarımlarında en çok tercih edilen kaplama türünden biri olan rijit kaplamalar ülkemizde pek rağbet görmemektedir. Ülkemizdeki karayolu kaplamalarının çoğu, hammaddesi bakımından dışa bağımlı olduğumuz esnek kaplamalardır. Tüm yapılarda olduğu gibi karayolu kaplamalarını da deforme eden etmenler; sıcaklık, nem, donma-çözülme, aşırı ve/veya tekrar eden yükler, zararlı kimyasallar şeklinde sıralanabilir. Yapılan çalışmalar beton kaplamaların bu yıpratıcı etkilere karşı asfalt kaplamalardan daha stabil olduğunu göstermektedir. Ancak beton yollarda kullanılan donatının çelik olması durumunda korozyon sorunu kaplama ömrünü kısaltıcı bir etki yapmaktadır. Son yıllarda başta Kanada olmak üzere çeşitli ülkelerde rijit kaplamaların tasarımında cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) donatı kullanımını artmaktadır. Yürütülen bu çalışmanın amacı GFRP donatılı rijit kaplamaları, esnek kaplama ve nervürlü çelik donatı kullanılan beton kaplamalarla karşılaştırmaktır. GFRP donatının çelik donatı karşısında en avantajlı özelliği korozyon probleminin olmamasıdır. GFRP çubuklar, donatı aderansı bakımından çeliğe göre oldukça zayıf olmasına karşın, malzemenin aderans düşüklüğü beton yolların spesifik bölgelerinde kullanılmasıyla avantaja dönüştürülebilir. Aderansın önemli olduğu bölgelerde ise GFRP'li rijit kaplama kesitlerinde daha yüksek donatı oranı seçilmektedir. Ülkemizdeki taşıma gücü zayıf zeminlerde, özellikle su/nem ile temasın fazla, donma/çözülme ve ısı değişim etkilerinin yoğun olduğu bölgelerde esnek kaplama yerine GFRP donatılı beton yol tercih edilmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** GFRP, rijit kaplama, esnek kaplama, beton yol

**Abstract:** Rigid pavements are not so popular in our country, one of the most preferred pavement types in road designs in the world. Most of the highway pavements in our country are flexible pavements that we depend on externally in terms of raw materials. As in all buildings, the factors that wear down the road pavements; can be listed as temperature, moisture, freeze-thaw, excessive and/or repetitive loads, harmful chemicals. Studies indicate that concrete pavements are more stable against these corrosive effects than asphalt pavements. However, the corrosion problem has a shortening effect on the life of the pavement in case of the reinforcement used on concrete roads is steel. In recent years, the utilization of glass fiber reinforced polymer (GFRP) rebar in the design of rigid pavements has been increasing in various countries, especially in Canada. This study aims to compare rigid pavements reinforced with GFRP, flexible pavements, and concrete pavements reinforced with ribbed steel reinforcement. The most advantageous feature of GFRP rebar against steel rebar is that there is no corrosion problem. Although GFRP bars are very weak in terms of bond strength compared to steel, the low adherence of the material can be turned into an advantage by using it in specific areas of concrete roads. The higher reinforcement ratio is chosen in GFRP rigid pavement sections in the areas where bond strength is important. It is recommended to prefer GFRP reinforced concrete road instead of flexible pavements in soils with poor bearing capacity, especially in regions with high contact with water/moisture, freezing/thawing, and heat change effects in our country.

**Keywords:** GFRP, rigid pavement, flexible pavement, concrete road

## 1. Giriş

Karayolu üstyapıları, araçların oluşturduğu trafik etkilerini karşılayarak zemine ileten yapılardır. Trafik yüklerinin emniyetli bir şekilde zemine iletilmesi, sürüş konforu ve sürüş emniyetinin sağlanması, iklim ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olması kaplamaların temel amaçları arasında yer alır [1,2]. Malzeme özelliklerine ve yapım metotlarına göre kaplamalar; rijit, esnek ve kompozit kaplama olarak üçe ayrılmaktadır [1]. Esnek kaplamalar; bitüm, iri ve ince agrega ve fillerin 140-160°C sıcaklıkta plentlerde karıştırılarak tabaka halinde serilip sıkıştırılmasıyla elde edilmektedir. Esnek kaplamaların üst tabakaları yüksek stabilite ve sürüş konforu sağlamak amacıyla bitümlü karışımlarla yapılırken, alt tabakalar dren kabiliyeti yüksek granüler malzemelerden oluşmaktadır [1]. Zemin özellikleri ve trafik yüküne bağlı olarak tabaka kalınlıkları belirlenir. Rijit kaplamalar yüksek trafik etkilerinin olduğu yollarda tercih edilen, granüler malzemeden oluşan alt temel tabakası üzerindeki beton plaklardan oluşmaktadır. Beton plaklar, betonun elastisite modülü ve yüksek dayanımı sayesinde rijit bir plak gibi çalışarak üst yapıya gelen trafik yüklerini büyük ölçüde karşılar. Kompozit kaplamalar ise kullanım ömrüne bağlı olarak zamanla oluşan bozulmalardan ötürü esnek kaplamaların üzerine beton kaplama şeklinde ya da aynı şekilde bozulmuş beton kaplamaların üzerine takviye tabakası olarak bitümlü karışım yapılarak elde edilir.

1950’li yıllardan beri Türkiye karayolu konusunda büyük ilerleme ve gelişmeler yaşamıştır. Bununla birlikte elde edilen sonuçlardan yola çıkarak ulaşım hatlarının niceliği, diğer bir ifadeyle yol uzunlukları üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı görülmüş, toprak yolların revizesindeki ilk aşamada stabilize malzeme kullanıldığı, stabilize malzemeli yolların da esnek kaplamalara dönüştürüldüğü sonucuna varılmıştır [3]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda görülen gelişmelerinden biri de yüksek standartlı yolların yaygınlaşmasıdır. Bu sayede çağdaş bir ulaşım ağına sahip olurken daha ileri teknolojileri de değerlendirme imkânı oluşmaktadır. Bu nedenle esnek kaplamaların geliştirilmesinin yanında rijit kaplamaların da değerlendirilmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. 2019 yılında yapılan çalışmada ülkemizdeki yolların %58’i sathi kaplama, %36’sı asfalt kaplama, %0,02’si beton kaplama olarak yapıldığı ve %6’sının ise bu kaplama türlerinin dışında olduğu belirtilmiştir [4].

Beton yollar malzeme açısından değerlendirildiğinde, üretiminde kullanılan ham maddenin yerli ürün olması ve dışarıya bağımlı olunmaması yönünden büyük bir öneme sahiptir. Özellikle ülkemizde olduğu gibi ağır taşıt trafiğinin sık görüldüğü bölgelerde daha başarılı, daha ekonomik çözüm olması ve yapısal ömrü bakımından diğer alternatifler arasında uzun kullanım ömrüne sahip olması, yolu kullanan sürücüler için gece görüş emniyeti ve yol tutuş özelliği de sayılabilecek avantajları arasındadır. Esnek kaplamaların kullanımı rijit kaplamalara nazaran daha çoktur. Fakat teknik bilgi eksikliği ve eski alışkanlıkların beraberinde getirdiği ön yargıyla beton kaplamaları tercih etmekte geç kalan birçok ülke, artan petrol fiyatları ile düşük beton maliyetlerini dikkate alarak beton kaplama uygulamalarını hayata geçirirken teşvik edici çalışmaları da yürütmektedir. Bu süreçte Hindistan’da doğu- batı, güney- kuzey otoyol geçişlerinde beton kaplama olarak projelendirilip yapılmıştır. Yapılan çalışmada beton kaplamaların; ilk yapım maliyetleri ve öngörülen kullanım ömrü göz önünde bulundurulduğunda daha ekonomik olduğu görülmüştür [5].

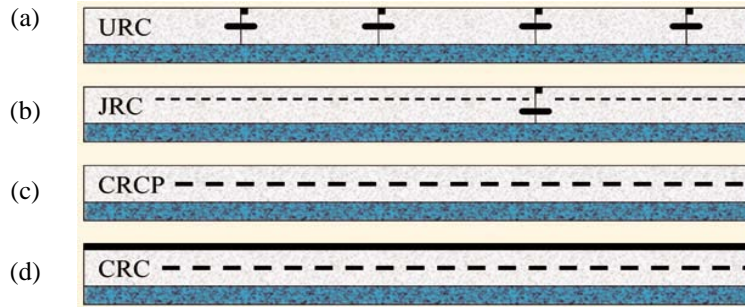
Ülkemizde çimento sanayiinin gelişmiş olması beton kaplamalarının yapımında malzeme temini bakımından büyük bir avantaj sağlayacaktır. Esnek kaplamalarda petrol temini için dışa bağımlı olmamız birçok sorunu beraberinde getirirken, çimento temini konusunda herhangi bir sorun yaşanmayacağı da açıktır.

Mevsim geçişleri sırasında büyük sıcaklık farkları oluşan ülkelerde, esnek kaplamalar diğer kaplamalara göre daha az ömürlü olurken, daha fazla bakım-onarıma ihtiyacı duyarlar. Beton kaplamalar ise mevsimsel değişikliklerden daha az etkilenir, göz ardı edilebilecek ufak kapsamlı bozulmalara uğrarlar Dolayısıyla bakım onarım ihtiyaçları oluşmamaktadır. Türkiye’de genellikle karasal iklim görülürken mevsim geçişlerinde sıcaklık farklılıkları da fazladır. Bu açıdan da kaplamaların daha avantajlı olabileceği görülebilecektir.

Benmokrane vd. [6] 400 m uzunluğunda sürekli donatılı beton kaplamalı yol üzerinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Yolun 306 m’lik kısmı GFRP donatılı, 94 m’lik kısmı çelik donatılı olarak inşa edilmiştir. 6 yıllık izleme sonrasında 30 ayı kapsayan verileri analiz etmişlerdir. Araştırmacılar çelik yerine GFRP kullanılmasını, donatı korozyonunun önlenmesinde ve betondaki çatlaklarının sınırlandırılmasında bir çözüm olarak sunmuşlardır. Kim vd. [7] yaptıkları çalışmalarında beton kaplamalarda kullanılan çelik donatının korozyona uğramasının bakım maliyetlerini arttıran ve hizmet ömrünü azaltan önemli bir sorun olduğunu belirtmişlerdir. Perreault [8] Kanada’nın Quebec eyaletinde buz çözme için karayollarında her yıl 800.000 tondan fazla tuz kullanılmasının çelik donatı korozyonunu ciddi bir sorun haline getirdiğini belirtmiştir. Thébeau and Davidson [9] 2000’li Kanada’daki Quebec eyaletinde çelik donatı kullanılarak yapılan beton yolları incelemişler ve sonrasında yeni yapılacak beton yollarda çevresel koşullardan dolayı oluşacak donatı korozyonunu engellemek için GFRP donatı kullanılmasını önermişlerdir. Liu ve Lin [10] çelik ve GFRP donatı üzerinde yaptıkları testler sonucunda çatlak genişliği, çatlak aralığı ve donatıdaki gerilme göz önünde bulundurulduğunda sürekli donatılı beton kaplamalarda çelik donatı yerine GFRP donatının uygulanabileceği sonucuna varmışlardır.

## 2. GFRP Donatılı Beton Yol

Beton yol uygulamaları derzli donatısız (Şekil 1.a), derzli donatılı (Şekil 1.b), sürekli donatılı (Şekil 1.c) ve kompozit donatılı (Şekil 1.d) olmak üzere 4 farklı şekilde yapılmaktadır.



Şekil 1. Beton yol uygulama şekilleri [11]

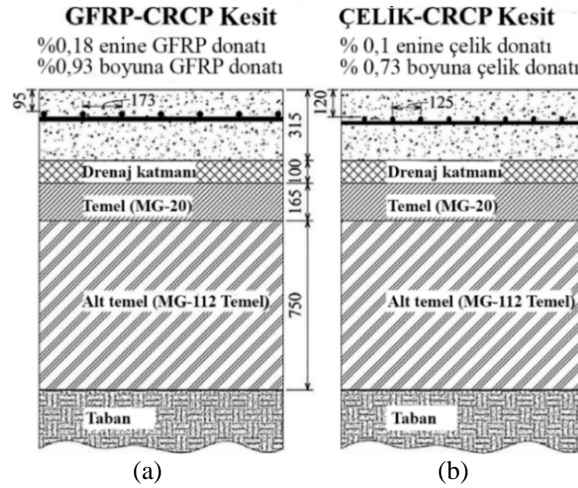
Dünyada donatılı beton yollarda çelik donatı yerine GFRP donatı çubuklarının kullanılması son yıllarda artan bir uygulamadır. Karayollarında kış mevsiminde karşılaşılan buzlanmanın bertaraf edilmesi için tuz ve/veya çözücü kimyasal maddeler kullanılmaktadır. ACI 440 [12]’ta su/nem, tuz ve kimyasal maddeler ile korozyona uğrayan çelik donatının yerine GFRP donatı kullanılması önerilmektedir. GFRP donatılı beton yol yapımı başta Kanada olmak üzere çeşitli ülkelerde uygulanmaktadır. Benmokrane vd. [6] tarafından yapılan çalışma kapsamında Kanada’da yapımı gerçekleştirilen GFRP ve çelik donatılı yolların yapım aşamaları Şekil 2 ve Şekil 3’te, yol kesitleri ise Şekil 4’te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. GFRP donatılı beton yol uygulaması: GFRP çubukların yerleştirilme aşaması (a), yerleştirme sonrası (b) [6]



Şekil 3. GFRP donatılı beton yol uygulaması: beton döküm aşaması (a), döküm sonrası (b) [6]



Şekil 4. Kanada'da uygulanan: GFRP kullanılan sürekli donatılı beton yol kesiti (a), çelik kullanılan sürekli donatılı beton yol kesiti (b) [6]

Amerikan Beton Enstitüsü tarafından çıkarılan FRP Kullanılan Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım şartnamesi [12] aşağıdaki durumlarda;

- Özellikle korozyon problemlerinin ve kimyasal etkilerin yoğun olduğu bölgelerde,
- Elektro manyetik etkilerin olduğu alanlarda,
- Epoksi kaplama veya galvaniz kaplamalı çeliğin kullanıldığı yerlerde çelik yerine GFRP kullanımını önermektedir.

## 2.1. GFRP Donatısının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Yapısal sistemlerde sık kullanılan çelik donatılara göre GFRP donatıların karakteristik malzeme özellikleri göz önünde bulundurulduğunda artı ve eksi yanları bulunmaktadır. Bu açıdan incelendiğinde GFRP donatıların korozyon dayanımları başta olmak üzere, karayollarında tuzlama esnasında ortaya çıkabilecek kimyasallara karşı dayanımları öne çıkan özellikleridir.

Fiziksel özellikleri incelendiğinde GFRP elemanlar ağırlıklarına oranla iyi derecede rijitlik gösterebilmektedir [6]. Çelikten yaklaşık 3 kat daha az birim ağırlığa [13] sahip elemanlar, iletken olmamaları [12] sebebiyle endüstriyel yapılarda tercih edilebilmektedir. Ayrıca anti manyetik olması manyetik alanlarda kullanılabilmesine [12] olanak sağlamaktadır. Ancak fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından olumsuz yanları da bulunmaktadır. Bunların başında GFRP malzemelerin gevrek davranışı [12] gösterilebilir. Yaygın olarak kullanılan çelik malzemenin aksine GFRP elemanlar çekme altında herhangi bir akma bölgesi barındırmamaktadır. Akma bölgesinin bulunmaması, yapılarda oluşması öngörülen sünek davranış beklentisine cevap verilememesine neden olabileceği için tasarım esnasında malzemenin bu durumu göz önünde bulundurulmalıdır.

GFRP elemanların çekme kapasiteleri yüksek olmasına karşın kesme ve eğilme kapasiteleri göreceli olarak daha düşüktür. Aynı zamanda yapısal elemanlarda daha çok tercih edilen çelik ile karşılaştırıldığında daha düşük elastisite modülüne sahiptirler [12]. Doğrusal elastik bölge göz önünde bulundurulduğunda elastisite modüllerinin düşük olması çeliğe göre aynı gerilmeler altında daha fazla birim şekil değiştirme yapmalarına sebep olmaktadır. GFRP malzemelerin birim şekil değiştirmelerindeki artışlar, betonda donatı olarak kullanıldıkları durumlarda daha geniş çatlakların da oluşmasına yol açacaktır. Çatlakların oluşmasında etkili bir diğer parametre de GFRP malzemeler ile diğer malzemeler (beton vb.) arasındaki aderansın ne derece sağlanmış olduğudur.

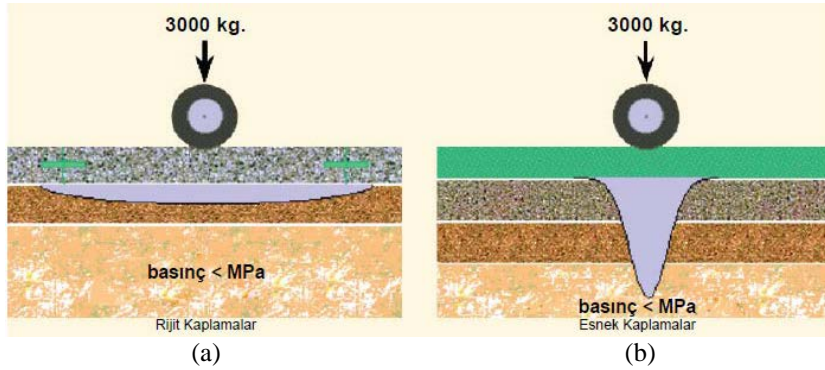
Yapılan çalışmalarda, betonun düz GFRP çubuk elemanlar ile aderansının, nervürlü çelik donatılı elemanlar ile aderansından ortalama olarak %36,24 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [14]. Ancak, araştırmacılar GFRP çubuk elemanların yüzeylerinin kumlanmasıyla aderanslarının da artırılabilirliğini belirtmişlerdir [14]. Yangın vb. durumlarda oluşabilecek yüksek sıcaklıklar GFRP malzemelerin reçinelerinin erimesine sebep olabileceğinden [12] GFRP elemanlar bu etkilere doğrudan maruz bırakılmamalıdır. GFRP ve çelik malzemelerden yapılan donatı çubuklarının karşılaştırmalı malzeme özellikleri Tablo 1’de detaylı olarak sunulmuştur.

**Tablo 1.** Tipik donatı çubuklarının malzeme özellikleri [12]

Malzeme Özellikleri	Çelik	GFRP
Nominal akma gerilmesi, MPa	276 – 517	-
Çekme dayanımı, MPa	483 – 1600	483 – 690
Elastisite modülü, GPa	200,0	35,0 – 51,0
Akma birim şekil değiştirmesi, %	0,14 – 0,25	-
Kopma birim şekil değiştirmesi, %	6,0 – 12,0	1,2 – 3,1
Tipik donatı çubuklarının yoğunlukları, (g/cm <sup>3</sup> )	7,90	1,25 – 2,10

## 2.2. Tasarım ve Uygulama

Trafik yüklerinin yol kaplaması üzerinde oluşturacağı gerilmeler kaplama üst yapısından temel ve alt temele aktarılır ve son olarak zemin tarafından karşılanır. Esnek kaplamalarda trafik yükleri, düşey olarak direk zemine iletilmekte (Şekil 5.b), beton yollar da ise kaplama üzerine gelen trafik yükü kaplama plakasının rijitliği sebebiyle geniş bir alana yaymakta sonrasında zemine aktarmaktadır (Şekil 5.a). Bu sayede beton kaplamaların taşıma gücü asfalt kaplamalarda olduğu gibi taban zemininin taşıma gücüne daha az bağlıdır. Bu nedenle beton yollar zayıf zeminlerde daha iyi bir performans gösterebilmektedir.



Şekil 5. Beton yol (a) ve asfalt yol (b) üzerinde oluşan gerilmelerin taban zeminine aktarımı [11]

Beton yollar her türlü lastik basıncı, katar ağırlığı ve trafik yükünü karşılayacak şekilde tasarlanır ve inşa edilir. Beton kaplamaların en önemli avantajı uzun hizmet ömrü ve dış etkilere karşı yüksek dayanıklılığıdır. Beton yollarda kullanılan donatının korozyondan korunması, beton yolların su, tuz, kimyasal çözücüler vb. etkenlerle karşılaşabileceği zayıf zeminlerde de başarılı bir performans gösterebilmesini sağlar. Bu nedenle korozyon problemi olmayan GFRP donatı tercih edilmesi beton yolun kullanım ömrünün artmasına katkı sunar.

## 2.3. Yapım Maliyetleri

Beton kaplamaların üretiminde yer alan betonun bütün bileşenleri (çimento, agrega, mineral ve kimyasal katkıları) Türkiye’de üretilmektedir. Beton üretiminde ülkemizin tüm dünyada önemli bir tecrübesi ve üstünlüğü bulunmaktadır. Esnek kaplamaların ana bileşeni olan bitümün, hammaddesi olan petrol bakımından ise ülkemiz dışa bağımlı bir konumdadır. Ülkemizdeki yolların üst yapı kaplamasında yerli ve milli bir ürün olan betonun kullanılması ülkemiz ekonomisine büyük katkı sunacağı düşünülmektedir.

Beton kaplamalar ile esnek kaplamaların ilk yapım maliyetleri birbirine yakın olmaktadır [15]. İnşa edilen yolun servis ömrü boyunca ortaya çıkacak bakım/onarım vb. maliyetler açısından değerlendirildiğinde ise beton yollar asfalt yollara kıyasla çok daha düşük maliyetlidir. Betonun yerli ürün olması beton yolun ilk yapım maliyetlerinde avantaj sağlamakla birlikte hizmet ömrünün uzun, bakım giderlerinin düşük olması ömür maliyetleri açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü, bugün karayollarına ayrılan bütçenin büyük bir bölümünün bakım-onarım giderlerinde kullanılmakta olduğunu belirtmektedir [15]. Genellikle bütün yol kaplamaları su ve tuz ile temastan olumsuz etkilenmektedir. Çelik donatı kullanılan beton yollarda donatının su ve tuzdan etkilenmesi ile korozyon problemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çelik donatı yerine GFRP çubukların kullanılması korozyon sorununu ortadan kaldırır. Ancak beton yollarda kullanılacak GFRP



donatıyla yolun ilk yapım maliyeti geleneksel çelik donatılı beton yol maliyetlerine göre daha fazla olacaktır. Bu duruma, GFRP donatının üretimini yapan sınırlı sayıda üreticinin olması önemli bir etkidir.

Yağtu [4] 375 km uzunluğundaki 7 m platform genişlikli Eskipazar köy yollarında beton kaplama uygulanmasının asfalt kaplamaya göre %38,95 daha ekonomik olacağını değerlendirmiştir.

#### **2.4. Bakım Maliyetleri**

Mühendislik yapılarında ekonomik analizlerin, hizmet ömrü maliyeti göz önüne alınarak yapılması gerekir. Yapılan bu analizlerde asfalt ve beton yolların karşılaştırılmalarında ilk maliyete ek olarak hizmet ömrü boyunca bakım ve onarım tekerrürleri ile bunların teknik ve sosyal maliyetleri de öncelikli olarak değerlendirilir. Bunlarla beraber taşıtların yakıt sarfiyatı, aydınlatma masrafları ve çevresel etkiler de dikkate alınır. Bu maksatla yapılmış uygulamalar özellikle trafik hacmi yüksek yollarda ilk maliyetin daha yüksek olması halinde bile hizmet ömrü sonunda asfalt yollara kıyasla beton yolların daha ekonomik olduğunu göstermiştir. Taşıt trafiğinin gün içinde 5.000'den fazla olması halinde beton yollar tercih edilmektedir [11].

Asfalt yolların uygulanmasından 3 ile 5 yıl kadar sonra bakım ve onarım, 10 yıl sonra da kaplama yüzeyinin yenilenmesi ihtiyacı oluşmaktadır. Bakım ve onarımın toplam maliyeti, ilk uygulama maliyetini aşabilir. Artan onarım çalışmaları ve maliyetleri ile yolun ekonomik ömrü kısalmaktadır. Sıklıkla uygulanan bakım ve onarım işlemlerinde yolda trafiğin aksaması, iş ve zaman kaybına neden olmakta, yakıt tüketimini ve dolayısı ile hava kirliliğini arttırmakta, kullanıcılar üzerinde olumsuz şekilde psikolojik etki oluşturmaktadır [11].

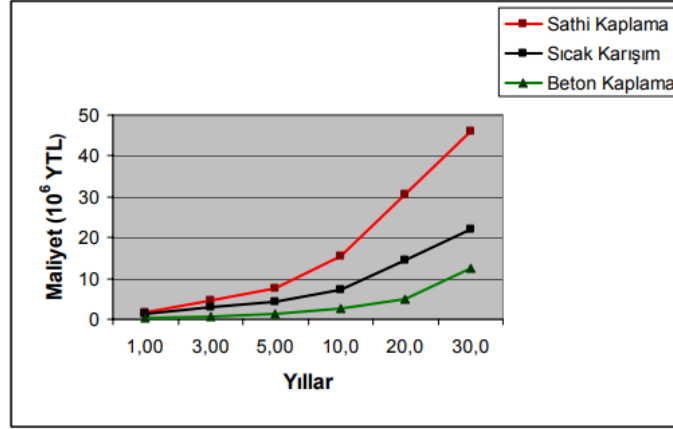
Hizmet ömürleri süresince beton kaplamalar oldukça az bakım ihtiyacı duyarlar. 4 ile 5 yılda bir derz dolgularının kontrolü gerçekleştirilir. Genelde ilk küçük bakımlara 10 ile 12 yıl sonrasında ihtiyaç duyarlar. Yüzey pürüzlülükleri ise 17-18 yıl sonra elden geçirilmektedir [11]. Reflektif özelliğinden dolayı beton kaplamalar oldukça az aydınlatmaya gereksinim duyacakları için aydınlatma amaçlı yapılacak tesislerin yapım maliyeti ile hizmet ömrü süresince oluşacak bakım maliyetleri açısından ekonomik kazanım sağlayacaktır [16].

Karayolu yapılarında özellikle kış aylarında kaplama yüzeyinin don tutmasını engellemek için dökülen tuzun kimyasal etkileri beton ile içerisindeki çelik donatıyı da yıpratıcı olabilmektedir. Yıpranan beton kaplama yüzeyinin onarımına içerisindeki donatının korozyona uğrayıp uğramamış olması da etki etmektedir. Beton kaplamalarda GFRP kullanılması halinde korozyon problemi olmayacağından bakım ve onarım maliyetlerini düşürecektir.

Yapılan bir diğer araştırma ise yapım ve bakım maliyetleri açısından, beton kaplamalı yolların asfalt kaplamalı olanlara göre %13 ile %28 arasında değişen oranlarda düşük maliyetli olduğunu ortaya koymuştur [16]. Hizmet ömrü maliyetleri açısından değerlendirildiğinde beton kaplamaların asfalt kaplamalar göre uzun ömürlü ve az bakım gerektirmesi, kullanıcı açısından ekonomik maliyetlere göre değerlendirme yapıldığında ise beton kaplamaların asfalt kaplamalara göre yakıt tasarrufu sağlaması ve çevre dostu olması beton kaplamaları avantajlı hale getirmektedir.

Şekil 6'da [17] verilen grafikte ülkemizde uygulanan karayolları kaplama türlerine ilişkin bakım maliyetlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Grafikten; bakım maliyeti en fazla olan kaplama çeşidinin sathi kaplama olduğu, sıcak karışım asfalt kaplamanın ilk on yılda çok ciddi bakım

gerektirmeyen 10 yıldan sonra ciddi bakım maliyeti yüklediği, beton kaplamanın ise bakım maliyeti en az olan üst yapı çeşidi olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Yıllara Göre Bakım ve Maliyet İlişkisi [17]

Beton ve asfalt kaplama türleri için yapım, bakım ve hizmet süreleri boyunca meydana gelecek sera gazı emisyonlarının CO<sub>2</sub> eşdeğerleri “Küresel Isınma Potansiyeli” (KIP) olarak hesap edilmiştir. Bu değer, hizmet süresi sonunda trafik hacmi düşük beton yolda asfalt yola göre %19, yüksek trafik hacmine sahip yollarda ise %2 oranında daha fazladır. Bununla birlikte yakıt sarfiyatının beton yollarda %5’lik azalmasıyla bile bu fark kapanmakta, trafik hacmi yüksek beton yollarda KIP değeri ihmal edilebilir bir seviyeye düşmektedir. Aynı zamanda bu durum, bu tip beton yollarda maliyetin azalmasını da sağlamaktadır [11].

## 2.5 Dayanıklılık ve Kullanım Ömrü

Yol tasarımında kullanılacak malzemenin tercihinde yolun ekonomik ömrü süresince vereceği hizmet kalitesi önemli bir faktördür. Bunların yanında malzeme seçiminde teknik ve ekonomik faktörler de dikkate alınmaktadır. Dayanıklılık bu teknik faktörlerden birisidir. Beton kaplama rijit bir malzemedir. Bu kaplamalar elastik bir zemine oturmuş kiriş gibi çalışır, ayrıca üzerine gelen trafik yüklerini de daha geniş bir alana yayarak taban zeminine aktarır. Bu nedenle rijit üst yapı olan beton kaplama taşıma gücü zayıf taban zeminleri üzerinde, esnek üstyapılara oranla daha iyi sonuçlar vermektedir. Esnek kaplamalar ise üzerine gelen yükleri doğrudan bir alt tabakaya iletirler. Zayıf zeminler deformasyona uğruyor ise asfalt kaplamalar da bu çeşitli gerilmeler altında deformasyona uğramakta ve bunun sonucunda da yolun en üst düzeyinde çeşitli oturmalar ve ondülasyonlar gözlenmektedir [18].

Ülkemizin birçok bölgesinde iklim şartlarından dolayı asfalt yol yapım sezonu oldukça kısadır. Karayolları Teknik Şartnamesi ’ne göre asfalt karışımın serilmesi için minimum çevre sıcaklığı gölgede 10°C olmalıdır [19]. Asfaltın düşük sıcaklıkta ve yağışlı havalarda serimi sağlıklı değildir. 10 °C’nin altında yola serilmesi durumunda asfalt kaplama hızla soğumaya başlar ve daha kompaksiyon işlemi tamamlanmadan asfalt katılaşarak sıkıştırılamaz hale gelir. Bu yolların kullanımı sırasında taşıtlardan yakıt, yağ vb. kimyasal maddelerin sızması sonucu bitümün bağlayıcılık özelliği daha çabuk kaybolacağından yolun hizmet ömrü kısalmaktadır. Asfalt kaplamalar belirli bir sıcaklıkta dökülerek, silindirle sıkıştırılması gerekmektedir. Beton kaplamalar ise vibratörlerle sıkıştırılarak işlem gerçekleştirilmekte, ısı kaybı gibi bir sorun söz konusu olmamaktadır [20].

Asfalt kaplamalar trafik, hava koşulları vb. etkenlere bağlı olarak hasar görmesi nedeniyle sık sık bakım ve onarıma gereksinim duymaktadır. Beton kaplamalar ise neredeyse hiç bakım gerektirmemektedir. Beton yolların onarım ihtiyacı asfalt yollara göre küçük bir alanla sınırlıdır [16].

Beton kaplama; mevsim, hava durumu ve iklimlerin sebep olabileceği en kötü koşullara bile dayanabilir. Donma-çözülme olaylarının yer aldığı ağır kış şartlarından sonra yol yüzeyinde derin çukurlar ve tehlikeli çatlak oluşumları meydana gelmez. Ancak beton kaplamayı tüm hava koşullarında sermek de mümkün değildir. Aşırı sıcaklarda beton dökümünde bir dizi önlemlerin alınması gerekir. Beton yol usulüne uygun bir şekilde yapıldıktan sonra iklimsel faktörlerden etkilenmez [21]. Amerikan Devlet Karayolu ve Taşımacılık İdareleri Birliği (AASHTO) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Kanada'da asfalt yolların %61'i bahar koşullarında bozulmaktadır. Oysaki bu oran beton yollarda sadece %5,5'tir [18]. Beton yol, yüzey düzgünlüğünü asfalt kaplamanın aksine hizmet ömrü boyunca korur, sıcak iklim koşullarında yumuşamaz, üzerinden geçen araçlar kalıcı tekerlek izi bırakmaz [11]. Beton yolun asfalt kaplamaya kıyasla bazı dezavantajları da bulunmaktadır, ancak bu dezavantajlar ilerleyen teknolojiler sayesinde giderek azaltılabilmektedir. Beton kaplamaların en önemli üstünlüğü uzun hizmet ömrü sunması ve üstün dayanıklılığıdır. Esnek kaplamaların 10 yıl olan hizmet ömürlerine karşılık, beton kaplamalar yaklaşık 35-40 yıl hizmet ömrü sunması kabulüyle tasarlanır. Böylelikle beton yollar en uzun hizmet ömrü sağlayan üst yapı çözümüdür [16].

### **3. Sonuç ve Öneriler**

Ülkemizde karayollarının büyük çoğunluğunun yapımında esnek kaplama tercih edilmektedir. Esnek kaplamaların petrol bazlı bitüm kullanılarak oluşturulması nedeniyle ülkemiz ekonomisine olumsuz etkileri olmaktadır. Yol kaplamalarında yerli üretim olan betonun tercih edilmesi ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Beton yollarda kullanılan çelik donatı yerine GFRP donatı kullanılması yoğun yağış alan bölgelerde donatı korozyonu problemini ortadan kaldıracaktır. GFRP donatı kullanımı sadece beton yol kaplamalarında değil köprü vb. yapıların kaplamalarında da kullanılabilir, üstelik köprünün kullanım ömrü göz önüne alındığında maliyet ikinci planda kalacaktır.

Ülkemizde GFRP donatı üretimi sınırlı olarak yapılmaktadır. Bu nedenle piyasa fiyatları çelik donatı ile kıyaslandığında bir hayli yüksektir. Üretiminin sınırlı olması sebebiyle beton yollarda GFRP'nin kullanımı yol maliyetini arttırmaktadır. Üniversite ve sanayi iş birliği, GFRP donatı üretimini hızlandıracaktır. GFRP donatı üretimi yapan fabrikaların sayısı artırılarak ürünün piyasa fiyatının düşmesi, gerek karayollarındaki kullanımı ile yolun duraylılığı artırılarak bakım maliyetlerini düşürmesi ve gerekse ihracatının yapılması ile ülke ekonomisine katkı sağlaması öngörülmektedir.

Derzli donatısız veya derzli donatılı beton kaplamalı yollarda kullanılan kayma donatılarından, beton plakaların yol eksenine boyunca hareketine izin vermesi beklenir. Bu nedenle kayma donatısının hem korozyona karşı korunması hem de betonla aderansının azaltılması için donatı bitümlü bir emisyon vb. malzeme ile kaplanır veya plastik kılıf içerisine konularak kullanılır. GFRP'nin düşük aderans ve elastik bölgede daha fazla birim deformasyon yapması gibi dezavantajlı durumlarının, kayma donatısı olarak kullanılması durumunda avantaja dönüşebileceği düşünülmektedir. Ayrıca GFRP donatının korozyon sorununun olmaması da bitümlü emisyon veya plastik kılıf gerektirmeyecektir. Bu alanda kapsamlı deneysel çalışmalar yapılarak konunun değerlendirilmesi gerekir.

## KAYNAKLAR

- [1] Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, 840s, Atlas Yayın Dağıtım.
- [2] Anonim, 2002. Asfalt El Kitabı. İsfalt, Sistem Ofset, 573s. İstanbul.
- [3] Ecevit, O., “Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi İstanbul, Eylül 2007.
- [4] Yağtu, İ., “Rijit Üstyapıların Köy Yollarında Uygulanabilirliği: Eskipazar Örneği”, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Karabük, Haziran 2019.
- [5] Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 2003, ‘Ulusal Beton Yollar Kongresi 18 Aralık 2002 Konuşma Metinleri’, Ankara.
- [6] B. Benmokrane, A. Sanni Bakouregui, H. M. Mohamed, D. Thébeau, and O. I. Abdelkarim, “Design, Construction, and Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavement Reinforced with GFRP Bars: Case Study,” *J. Compos. Constr.*, 2020.
- [7] Kim, S.-M., M. C. Won, and B. F. McCullough. 2000. “Three-dimensional analysis of continuously reinforced concrete pavements.” *Transp. Res. Rec.* 1730 (1): 43–52. <https://doi.org/10.3141/1730-06>.
- [8] Perreault, A., M. Brown, and A. Baril. 2012. “Outline of the Ministère des Transports du Québec’s approach to the environmental management of road salts.” In *Cold Regions Engineering: Sustainable Infrastructure Development in a Changing Cold Environment*, 302–307. Reston, VA: ASCE.
- [9] Thébeau, D., and F. Davidson. 2006. “First experiences with continuously reinforced concrete pavement (CRCP) in Canada.” In *Proc., 10th Int. Symp. on Concrete Roads, Theme I, Concrete Roads and Sustainable Development*. International Society for Concrete Pavements.
- [10] Liu, Z. H., and R. Lin. 2012. “Application research on GFRP bars continuous reinforced concrete pavement design.” In *Computer distributed control and intelligent environmental monitoring*, 162–165. New York: Curran Associates, Inc.
- [11] Yeğınobalı, A., “Niçin Beton Yol?”, *Tçmb / Arge Enstitüsü*, Ankara, 3-28 (2009).
- [12] ACI 440.1R.15, *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars*. 2015.
- [13] A. E. Naaman, “Textile Reinforced Cement Composites: Competitive status and research directions,” in *International RILEM Conference on Material Science*, 2010.
- [14] S. B. Patil and G. S. Manjunatha, “Experimental study on bond strength of GFRP bars.,” in *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [15] <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-yollar/>
- [16] İnternet: Türkiye Hazır Beton Birliği, “Karayollarında Hazır Beton”, <https://www.thbb.org/media/202906/108.pdf>.
- [17] Edis, E., “Asfalt Ve Beton Kaplamalı Yolların Maliyet Yönünden Karşılaştırılması” Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Antakya Temmuz, 2007.
- [18] THBB Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, Mayıs, TMH- Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı (427): (2003).
- [19] [https://www.istanbulteknik.com/docs/asfalt\\_urunleri.pdf](https://www.istanbulteknik.com/docs/asfalt_urunleri.pdf)
- [20] Kozak, M., “Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1): 89-99, (2011).
- [21] Rens, L., “Beton Yollar: Akıllı ve Sürdürülebilir Bir Seçim”, Çeviri Editörü/Editörleri, Avrupa Çimento Birliği Üyesi Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB), Ankara, (2009).



## Geçki Konusunda Farklı Eğilimler ve Jeolojik Yapının Önemi Different Trends in Transition and Importance of Geological Structure

Onur ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Erkan BOZKURTOĞLU<sup>2</sup>

*Onur Öztürk, İTÜ FBE, Maslak 34467 Sarıyer/İstanbul, 533 761 64 34, onur.ozturk@ibb.gov.tr  
Erkan Bozkurtoğlu, İTÜ Maden Fakültesi, Maslak 34467 Sarıyer/İstanbul, 533 225 31 88, erkan@itu.edu.tr*

**Özet:** Ulaşım güzergahları giderek daha önemli hale gelmektedir ve karayolları gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yolların tasarım, işletme ve bakım aşamalarında karar vermede doğru yöntemlerin kullanılması ve geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada, ülkelerdeki gelişmelerle ilgili yeni eğilimler ve güncel çalışmalar verildikten sonra, geçki seçimi ile ilgili bazı akademik çalışmalar da özetlenmiştir. Son olarak çok kriterli seçim yönteminde dikkate alınan jeolojik ve jeoteknik parametrelerin geçki seçiminde nasıl dikkate alınabileceği kısaca anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güzergah, geçki, çok kriterli seçim yöntemi

**Abstract :** Transport routes are becoming more and more important, and roads are used intensively in developed and developing countries. It is inevitable to use and develop correct methods in decision-making in the design, operation and maintenance stages of roads. In this study, after giving new trends and current studies on transition in countries, some academic studies on transition selection are also summarized. Finally, it is briefly explained how the geological and geotechnical parameters taken into account in the multi-criteria selection method can be taken into account in the selection of passes.

**Keywords:** Route, passage, multi-criteria selection method

### 1. Giriş

Karayolu ve demiryolu uzunlukları tüm dünyada giderek artmaktadır. Ulaşım yolları tüm ülkelerin ekonomik ve gelişme açısından can damarı durumundadır. Bu yolların doğru tasarımı, verimli işletimi ve en uygun bakımı oldukça önemlidir. Bu nedenlerle ulaşım yollarından sorumlu kişi ve kurumlar farklı yaklaşımlara yönelmektedir. Bu yaklaşımların eğilimini belirlemeye ve bunların ana fikrini vermeye ilişkin bir araştırma yapılmış ve aşağıda verilen hususların son yıllarda önem kazandığı görülmüştür.

Klasik geçki araştırması sıfır poligonu olarak adlandırılan manuel bir işlem sürecini ifade eder. Manüel yapılan çalışma ile arazinin topografyasına uygun olarak verilen iki ana kontrol noktasının uygun arazi eğimi ile geçirilmesi işlemi amaçlanır. Bu işlemin sonucunda yatayda kırıklı bir hat üzerinde oluşan ardışık noktaların düşeyde gösterimi sonucu boyuna eğim değeri sabit olacak şekilde bir geçki hattı amaçlanır. Bununla amaçlanan; yatay geçişin kırıklı noktalarının oluşturduğu bir hat üzerinden gidildiğinde toprak işi değerinin sıfır olmasıdır.

Yapılan bir yolun bakım maliyetlerinin düşük ve uzun ömürlü olması yolun altyapısı ile son derece ilişkilidir. Bu nedenle yol gövdesinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine verilen önemin artırılmasında fayda bulunmaktadır. 1. Yazarın bu konuda devam eden doktora tezinde alternatifler arasından geçkiye karar vermede katkısı olabilecek bir yöntem geliştirilmektedir. Araştırmada geçki araştırmasının ilk aşaması olan geçkilerin doğrultusunun belirlenmesi ve uygun olanının seçilmesi aşamasında klasik yöntemden farklı olarak zeminle ilgili birçok önemli faktörü daha başlangıçta sürece dâhil eden bir yaklaşım olan karar matrisinin uygulanması önerilmektedir [1].

## **2. Ülkelerdeki Geçkiler Konusunda Güncel Eğilimler**

Ülkelerin yol yapım, bakım ve işletimi açısından önem verdikleri hususlar genelde benzer olmakla birlikte ihtiyaca bağlı olarak farklı uygulamalara da yer verilmektedir.

### **2.1. İngiltere'deki Uygulamalar**

İngiltere'de yeni yapılan bir geçki belirleme çalışması şu şekilde özetlenmektedir; Kent Koridorları M25 güzergâhı için İngiltere'de ulusal yol ağının planlanmasından, işletilmesinden ve geliştirilmesinden sorumlu olan Otoyol Ajansı (Highways Agency) bir rapor hazırlamıştır. Bu Ajans otoyolları incelerken ve gereksinimlerini ortaya koyarken 'rota tabanlı stratejiler' (RBS) yöntemini kullanmaktadır. RBS yerel yönetimlerin ve yerel işletmecilerin yol ağı hakkındaki isteklerini de hesaba katarak ileriye dönük bir planlama ve işletme modeli tanımlamaya çalışmaktadır. RBS'nin iki aşaması vardır [2-3]:

1. Aşama: Bu aşamada yolun yapısal durumu ve işletme gereksinimleri incelenir. Yerel büyüme önceliklerinin trafiği hangi koşullarda etkileyeceğini ve özel teşebbüslerin yol ile ilgili sıkıntılarını anlamaya yardımcı olur.
2. Aşama: Bu aşamada bir önceki aşamadan elde edilen bulgular kullanılarak ileriye dönük işletme, bakım-onarım ve genişletme faaliyetleri planlanır.

Bu aşamalarla RBS; yerel, ulusal ve ticari işletmelerin gereksinimlerini bir potada eriterek, ileride ortaya çıkabilecek trafik sıkışıklığı sorunlarını engellemeye çalışır. Önce güzergâh tanımlanmış ve kapsadığı yollar gösterilmiştir. Bu yollar "stratejik yol ağı" (SRN) olarak adlandırılmıştır. Güzergâhtaki günlük trafik akışları, sıkışık bölgeler, trafik akışını oluşturan araçların özellikleri incelenmiştir. Sonra güzergâhın performansı, yol güvenliği, yolun yapısal durumu, güzergâh işletmesi, teknoloji, korumasız yol kullanıcıları ve çevre ana başlıkları altında güzergâh ile ilgili kritik bulgular paylaşılır.

Güzergâh performansından amaç yolun araç sayıları ve ulusal düzeye oranlanmasıdır. Yolların araç yükünün yol boyunca nasıl değiştiği, trafik akış hızı, araçların ne kadarının yük aracı veya ne kadarının özel araç olduğu ile ilgili bulgular paylaşmış, güzergâhtaki en yoğun bölümler sıralanmıştır. Bu yoğun bölümlerin yoğun olmasına karşın seyahat süreleri de ayrıca incelenmiş ve yoğunluğa rağmen kararlı yollar belirlenmiştir. Sonuç olarak en yüksek gecikme saatlerine veya en kararlı seyahat sürelerine sahip yollar listelenerek dikkate alınmıştır.

Yol güvenliği açısından Ajansın yolların güvenliği konusundaki sorumluluğu sebebiyle SRN'de kazalar incelenmiş ve rakamlar sunulmuştur. Polis raporlarına dayanarak kazalar; kazaya karışan yolcu sayısı, kaza sırasındaki hava durumu ve kaza sebepleri açısından incelenmiştir. Bu bulgulara dayanarak ta çarpışmaların harita üzerinde kümelendiği bölgeleri belirleyip önceliklendirme tanımlaması yapılmıştır. Buna ek olarak şahısların en çok kazaya karıştığı ve zarara uğradığı bölgeler belirlenmiştir.

RBS (rota tabanlı stratejiler), 2 aşamalı olarak hazırlanmaktadır. Aşama 1, yerel büyüme önceliklerine ilişkin daha iyi bir yaklaşım kazandırırken, güzergâhlardaki ve gelecekteki beklenen zorluklarla ilgili performans sorunlarının belirlenmesine yardımcı olacak kanıtları ortaya koyar ve işletme gereksinimlerini dikkate alır. Aşama 2 ise, var olan kanıtları kullanarak öncelikli bir takım zorluklar ve fırsatlar için makul çözümleri ortaya koyacak bir çalışma programı önerir. Eğer uygunsa ancak o zaman işletme, bakım ve yol iyileştirme planlarını kapsayan müdahaleler yapılabilir.

Güzergah belirlenirken yapılan tüm çalışmalar boyunca bölgenin kültürel mirası, ekolojik yapısı ve peyzaj durumunun zarar görmemesi gerekmektedir. Özellikle bu konularda hassas belli başlı bölgelerde çalışma ve projelerin etkilerinin en alt seviyeye çekilmeye çalışılması önem taşımaktadır, [17]. Bunların dışında yol ağının o bölgeye getireceği trafik gürültüsü, su kirliliği riski de düşünülmelidir. Gürültü kirliliği riski olan bölgelerde uygun karayolu tasarımları ve gürültü azaltma teknolojilerinin daha fazla kullanılmasını içeren adımlar atılmalıdır. Su kirliliği oluşma riski taşıyan bölgeler tespit edilmelidir, çünkü gelecek için su kanalları ve yeraltı suyu temiz tutulmalıdır.

## **2.2. İsveç'teki Yaklaşım**

İsveç'te yapılan geçki çalışmalarında dikkate alınan konuların bazıları; bakım onarım ve uzun dönem sürdürülebilirlik planları, yol şebekelerinin durumları, teknolojik sistemler, sürdürülebilir metotların geliştirilmesi ve devamlılığın sağlanmasıdır. İsveç ulusal karayolu yönetimi, İsveç'te genel olarak sektörel sorumluluğu üstlenen otoritedir. İsveç'teki karayolu taşımacılığında, karayolu taşımacılık yönetmeliklerinin hazırlanmasına ve uygulanmasına kadar ve bunlarla birlikte planlama, işletme, inşaat, bakım ve onarımdan sorumludur [4, 5].

## **2.3. Norveç'teki Yaklaşım**

Norveç'te karayolları projesi hazırlanış kapsamında kullanılan yöntem "etki değerlendirmesi" olarak isimlendirilir. Etki değerlendirmesi, karayolu projesi uygulamaya alındığı takdirde olumlu veya olumsuz, parasal anlamda ölçülebilir olsun veya olmasın bütün etkileri değerlendirmeye yönelik bir girişimdir.

Etki değerlendirmesinin amacı iyi bilgilendirmeye karar vermeye yardımcı olmaktır. Etki değerlendirmesinde projenin tüm etkenleri belgelenmek zorundadır. Bu, üzerine çalışılan proje için çözüm seçimi ve diğer projeler arasında önceliklendirme açısından temel oluşturur ve planlama sürecinin önemli bir parçasıdır [6].

Projenin etkileri projenin bulunduğu senaryo ve projesiz senaryolar için çevre tahmin durumu arasında karşılaştırma yapıldığında belirlenebilir. Başka bir deyişle projenin etkileri hakkında bir şeyler söylemek için bir referans senaryo gereklidir.

Sosyo-ekonomik analiz ilgili avantajların ve dezavantajların sistematik bir değerlendirmesi olan ekonomik refah teorisine dayanmaktadır. Birleştirilmiş avantajların dezavantajları aştığı durumlardaki çözümler seçilmelidir. Tüm etkileri parasal olarak ifade etmek mümkün değildir.

Analiz bu nedenle, paraya dönüştürülmüş ve dönüştürülmemiş etkileri birbirinden ayırır. Etki değerlendirmeleri, nedenleri ve etkiler arasındaki ilişkinin bilinmekte olduğunu ve böylece bir projenin veya planın etkisinin belirlenebileceğini varsayar [7].

Sosyo-ekonomik değerlendirme, teorik ve metodik bir şekilde şöyle geliştirilir;

- Her etki sadece bir tema altında değerlendirilir,
- Projeyle ilişkili olmayan koşullardan kaynaklanan etkiler göz ardı edilir,
- Etkilerin zamanla ortaya çıkıp gelişmesine izin verilir,
- Etki zincirindeki sadece bir bağlantı sayılır.

Bu uygulama, çift saymayı önlemek içindir. Mekânsal ve sosyal kalkınma üzerindeki etkileri kısmen veya tamamen sosyo-ekonomik değerlendirmeye dâhil edilmesine rağmen bazen bunlar ayrı ayrı veya diğer yöntemlerle ele alınmak istenir.

Altyapı projeleri uzun ömürlüdür ve bu nedenle farklı alternatiflerin etkileri uzun vadeli bir perspektifle değerlendirilmelidir. Yararlar ve maliyetler çeşitli zamanlarda ortaya çıkacaktır. Tipik olarak etki analizi 25 yıllık bir değerlendirme süresine dayanmaktadır. Bu süre projenin devreye girmesinden itibaren hesaplanır.

İnşaat sırasında dikkate alınan faiz tamamlanma tarihine kadar hesaplanmaktadır. Yol ağındaki projeler ve bazı küçük yatırımlar daha kısa ömürlü olabilir ve bu gibi durumlarda daha kısa değerlendirme süresi seçilebilir. Bütün fiyatlar tahmin yılı fiyat seviyesinde sabitlenerek buna göre değerlendirme yapılır.

#### **2.4. Japonya'daki Gelişmeler**

Mevsimden mevsime değişen güzel doğal manzaralara sahip bir ülke olup aynı zamanda dik arazi oluşumları yanı sıra zayıf jeolojik ortam özelliklerini sergileyen depremlere, fırtınalara, yoğun kar yağışına ve diğer doğal felaketselere maruz kalan bir ülkedir. Bunun yanında trafik kazalarında 5.000 ölüm ve 900.000 trafik kazası geçiren kazazede sayılarına ulaşmış olup bu da her 140 kişiden birinin yaralanması ya da trafik kazasında ölmesi anlamına gelmektedir ki bu sayılar da giderek artmaktadır. Afetler ve kazaları önlemek için çeşitli önlemler alınmaktadır. Bunlar; zararları hafifletmek, hızlı onarımı mümkün kılmak, karayolu trafiğinin güvenilirliğini ve güvenliğini arttırmak ve rahat yaşam ortamları oluşturmak amacını taşır. Bölgesel sakinler ve ilgili kuruluşlarla işbirliği yaparak problem tespiti ve sınıflandırılmasından proje uygulaması faydalarının teyit edilmesine kadar bir problem çözme döngüsü oluşturarak ara yollar için de titiz trafik kazası önlemleri alınmaktadır [8, 9].

Yol yapımı ve iyileştirme projeleri uygulanmakta böylece insanlar güvenli ve rahat yaşama alanları gibi gelişmeleri yaşayabilmektedir. Yol kenarında yeşillendirme ile yüksek kaliteli yaşam ortamları ve bariyersiz yaşama yolları artırılarak yaşlı ve engellilerin rahat ulaşımı sağlanmaya çalışılmaktadır. Japonya'da geçkilere ait çalışmalar yapılırken fazla önem verilen konulardan birisi de konforlu yaşam alanlarını oluşturmaktır.

#### **2.5. Ülkemizdeki Uygulamalar**

Ülkemizde de yolların belirlenmesinde, işletilmesinde, bakımında benzer sorunlar yaşanmaktadır. Geçki araştırması yapılırken daha önce detayları verilen klasik süreç uygulanmaktadır. Bakım onarım süreci ise yollarda ortaya çıkan problemlere ve verilen kararlara göre olmaktadır. Çevresel etkileri ve kaza risklerini en aza indirmek için yapılan uygulamalar henüz yetersiz kalmaktadır.



Yolların bakım maliyetlerinin artmasında ve çevre açısından sorunların giderilememesinde yol geçkisi belirlenirken bazı faktörlerin değerlendirmeye tam alınmamasının etkisi fazladır.

Bu nedenle sürmekte olan doktora çalışmasında alternatif geçkilerden uygun geçki seçiminde birçok etmeni dikkate ve değerlendirmeye alacak olan bir yöntem uygulanmaktadır. Geçkilerin oluşturulmasında yol sınıfına göre belirlenecek olan geometrik standartlar dikkate alınmaktadır. Yolun altyapısının yani yol gövdesinin oluşturulmasındaki temel etmenler ve dikkate alınan diğer etmenler yolun daha sonra işletimi ve bakımı aşamasında oldukça etkili olacağı için bunların seçim sırasında değerlendirmeye baskın olarak katılması hedeflenmiştir.

### **3. Uygun Geçki ve Rota Belirlemek İçin Yapılan Bazı Akademik Çalışmalar**

Teorik olarak planlanan bu çalışmanın manuel işlem sürecinin yerine yatayda ve düşeyde oluşturulacak geçki hattının optimizasyonu için pek çok yöntem ve model literatürde geliştirilerek kullanılmıştır.

Yatay geçki optimizasyonu için kullanılan modeller, düşey geçki tasarımında kullanılan modellere göre daha karmaşık bir yapıdadırlar ve çözüm için düşey geçki optimizasyonunda gerekli olan verilerden daha fazla veri grubuna ihtiyaç duymaktadırlar. Temel olarak ele alınan yatay geçki optimizasyon modelleri; varyasyonlar hesabı, ağ optimizasyonu, dinamik programlama ve genetik algoritmalar şeklinde sıralanmaktadır. Aşağıda bazı çalışmaların kısa açıklaması verilmektedir.

#### **3.1. Fayda/Maliyet Analizi Yönteminin Detaylandırılması**

M&Gu (2004)'ya göre yeni bir yol oluşturma kararı politik, sosyal veya ekonomik faktörlerden etkilenmektedir. Gereksinimi başlatan etken ne olursa olsun rota uyumuna karar vermenin ilkeleri ve süreci esasen aynı olup kriterler farklı olacaktır. Belirli bir güzergah seçimi belirli mühendislik ilkelerine dayanırken inşaat ve gelecekteki işletme/bakım konularının da dahil edilmesi sağlanmalıdır. Bu makalede fayda/maliyet analiz modelinin mühendislik, çevre, sosyal, ekonomik vb. konuların değerlendirilmesinde doğru kullanımının nasıl olacağı tartışılmıştır. Hem mühendisleri hem de mühendis olmayanları karar verme sürecine dâhil eden çalışma yeni bir güzergâh uyumunu tanımlamak için kullanılan araçlara ve ilkelere ilişkin fikir vermektedir [10].

#### **3.2. Yatay Geçkinin En İyi Düşey Profilini Veren Tasarım Programı Hazırlanması**

Bababeik (2012)'e göre yolun dikey yönlü hizalanması büyük ölçüde tasarımcının deneyimine bağlıdır. Yanlış bir tasarım inşaat ve işletme sırasında çok yüksek maliyetler getirebilir. Bababeik (2012), herhangi bir yolda belirlenen yatay profil için en iyi düşey profil sonucunu çıkaran "bir program" önermektedir. İlk olarak matematiksel denklemler kullanılarak, düşey profil formüle edilmiş ve daha sonra geometrik konfigürasyon üretebilmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Gradyan değişikliklerine duyarlı inşaat ve işletme maliyetleri düşey profil değişkenleri olarak kabul edilerek gerçek örnek üzerinden modele eklenmiştir. Program ayrıca yol mühendislerine ve planlayıcılarına profil hakkında pratik bilgiler sağlamaktadır, [11].

#### **3.3. Demiryolu Geçkileri İçin Salınım İterasyonu Metodu**

Houpu W&vd. (2019)'ne göre güvenlik ve konforu sağlamak için mevcut demiryollarını tekrar inşa etmek ve rayları kalibre etmek önemlidir. Temel problem tanjantlar, dairesel kurplar ve geçiş kurpları gibi geometrik öğelerin sınırlarını belirlemektir. Mevcut metotlar yatay hiza

rekreasyonlarını yarı otomatik olarak yeniden üretir ve birkaç kısıtlamayı dikkate alarak sadece yerel olarak optimize edilmiş bir çözüm geliştirir. Houpu W&vd. (2019), yeniden yaratılan geometrik öğelerin aralığı ile ölçülen tüm noktaların geometrik öğelerinin özelliklerinin tutarlı olması prensibini temel alarak eş zamanlı bir şekilde tüm tanjantları, dairesel kurpları ve geçiş kurplarını tanımlayan ve makas yerleşimlerini kategorize eden “salınım iterasyonu” adlı bir metot önermiştir [12].

### **3.4. Güzergâh Tasarımının Formüle Edilmesi ve Uygun Geçki Seçimi Çalışmaları**

Safahi ve Shahbazi (2014) araştırmalarında güzergâh tasarımının çok karmaşık bir süreç olduğunu vurgulamışlardır. Bu süreçte mühendisler genellikle çok çeşitli faktörlerle ve çok sayıda alternatifle karşı karşıya kalırlar. Mühendisler; topoğrafya, zemin durumu, hava kirliliği ve gürültü gibi çevresel etkiler, sosyo-ekonomik faktörler, yolun yük veya yolcu taşımacılığı açısından beklenen hizmet seviyesine dayanarak ekonomik bir güzergâh seçmelidirler [13].

Jha vd. (2006)'ya göre geleneksel güzergâh tasarımı genellikle geniş bir alandan başlayan ardından birkaç olası ulaşım koridoruna daraltılan ve sonunda seçilen koridordaki ayrıntılı güzergâh tasarımlarına odaklanan bir dizi aşamadan oluşmaktadır. Bu prosedür; ulaşım, ekonomi, jeoloji, inşaat, mekanik, çevresel, politika dahil olmak üzere çok çeşitli alanlarda profesyonel değerlendirme gerektirmektedir. Bu araştırmada bir optimizasyon problemi olarak “yol güzergah tasarımının formüle edilmesi” denenmiştir [14].

Çok sayıda değişken (alternatif güzergâhlar) ve birkaç karmaşık kısıtlama nedeniyle bu sorunun önemli olabileceği bilinmektedir. Araştırmada göz önünde bulundurulmuş adımlar:

- Yol tasarımındaki ana ve hassas maliyet bileşenlerini ve önemli kısıtlamaları belirlemek,
- Yol güzergahını optimize eden bir model geliştirmek,
- Önerilen modeli çözen bir algoritma tasarlamak

Modelin bilgisayar programının yapılması ve kolay kullanım için kullanıcı dostu prototip bir yazılım oluşturulması sağlanmıştır.

### **3.5. GIS'in Fizibilite Analizinde Kullanılması**

Kiema (2007)'nin çalışmasında fizibilite analizi için geliştirilen GIS ve çok kriterli analizlere dayanan otomatikleştirilmiş bir prosedür açıklanmaktadır. İyi bir mühendislik çalışması ile gerçekleştirilen yol düzenlemesinin gereklilikleri değerlendirilip fizibilite analizi için uygun faktörler ve kısıtlamalar elde edilmiştir. İlgili dijital harita katmanları daha sonra hazırlanıp faktör ve kısıtlama gereksinimlerini karşılamak için yeniden sınıflandırma yapılmıştır. Katmanlar ağırlıklı olarak çakıştırılıp birleştirilerek maliyet katmanı ortaya çıkarılmaktadır. Kaynak ve maliyet katmanı her biri için en uygun olanın seçildiği koridor boyunca dört alternatif rota oluşturmak için esas hedefle birleştirilmiştir. Bu çalışma, “GIS'in” yol güzergâhı seçiminde vazgeçilmez ve verimli bir araç olduğunu göstermektedir [15].

### **3.6. Jeolojik İncelemeye Bağlı Rota Seçimi**

Run-qiu vd. (2013) makalelerinde Cheng-Lan demiryolu için önermede bulunmuştur. Cheng-Lan demiryolu koridoru iki büyük şehri bağlamakta ve fay hatlarından geçmektedir. Bu çalışmada mühendislik jeolojisi koşullarını ve risklerini değerlendirmek, muhtemel coğrafi riskleri azaltmak veya önlemek ve opsiyonel tasarımlar sunmak adına böylesi bir altyapı inşası için faylar kilit bir konudur. Cheng-Lan demiryolu koridoru boyunca jeolojik inceleme gerçekleştirmiştir. Hat boyunca mevcut aktif faylara, depremlere ve sismik bölgelere özel önem vermiştir. Buna dayanarak yolun rota seçimi jeolojik açıdan tartışılmakta ve buna göre gerekli durumlar için önlemler alınmaktadır. Ana sonuçlar aşağıdaki gibi elde edilmiştir [16, 17]:

- Güzergah seçimi ve sanat yapılarının tayininde toprak kaymaları, kaya düşmeleri ve debiler gibi jeolojik tehlikeler ağırlıklı rol oynar.
- Jeolojik olarak aktif alanda mühendislik açısından tünellerin mükemmel yapılar olduğu kanıtlanmıştır.
- Kaçınılmanın pratik olmadığı durumlarda ve yüksek deprem şiddeti olan bölgelerde mühendislik açısından gerekli koruma önlemleri alınmalıdır.

### **3.7. Açı ve Uzunluğa Dayalı İteratif Yaklaşım**

Tunalıoğlu ve Soycan (2012)'nin yaptığı çalışmada klasik geçki araştırmasına alternatif olarak işlem algoritması ve hesaplama tekniği iteratif olan bir yaklaşım sunulmuştur. "Açı ve Uzunluk ile Gridlerde Arama" olarak adlandırılan bu yaklaşımda geçki hattına ait ara noktaların tespit edilmesi değişen açı değerlerine bağlı oluşturulan arama çemberi üzerindeki noktaların eğim değerlerine ve sabit arama uzunluk değerine bağlı olarak yapılmaktadır. Önerilen yaklaşımda kullanılan amaç fonksiyonu, eğim değerine göre bulunan geçki ara noktalarının yükseklikleri ile mevcut yükseklik değerlerinin farkının minimum olması koşuluna göre düzenlenmiştir. Böylece elde edilen geçki güzergahında kazı-dolgu dengesi sağlanarak toprak işi minimize edilir. Tunalıoğlu ve Soycan (2012)'nin çalışmasında geliştirilen söz konusu bu yaklaşımın test edilmesi amacıyla LIDAR (Light Detection and Ranging) tekniği ile elde edilen bir alana ait yüksek çözünürlüklü üç boyutlu arazi verisi kullanılarak sayısal bir uygulama yapılmıştır [18].

### **3.8. Genetik Algoritma ile Entegre CBS Kullanımı**

Jha vd. (2006) çalışmalarında genetik algoritma ile entegre edilmiş bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile karayolu elemanlarının optimizasyon modeli sunmaktadır. Oluşturulan model ile çeşitli maliyetlerin karayolu elemanlarının seçimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ayrıca karayolu iyileştirme projelerindeki sınırları gerçekçi bir şekilde yansıtan kısıtlı alanlarda optimizasyon yapmışlardır. Araştırma daha önce yayımlanmış bazı gelişmeleri de bir araya getirerek yeni analiz yaklaşımları elde etmişlerdir. Önerilen model ile Maryland eyaletindeki problemi CBS kullanarak çözümlenmişlerdir. Ayrıca önerilen modelin dağlık arazide etkinliğini araştırmak için yapay bir harita kullanılan bir örnek de geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, genellikle ihmal edilen seyahat süresi maliyetinin karayolu elemanlarının optimizasyonu üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermiştir [14].

### **3.9. Genetik Algoritma Kullanımı**

Genetik algoritma (GA) kullanımı; parametre ve sistem tanılama, kontrol sistemleri, robot uygulamaları, görüntü ve ses tanıma, mühendislik tasarımları, planlama, yapay zekâ uygulamaları, uzman sistemler, fonksiyon ve kombinasyonel en iyileme problemleri, ağ tasarım problemleri, yol bulma problemleri, sosyal ve ekonomik planlama problemleri için diğer en iyileme yöntemlerinin

yanında başarılı sonuçlar vermektedir [19]. Diğer yöntemlerden farkı şunlardır:

1. GA, problemlerin çözümünü parametrelerin değerleriyle değil kodlarıyla arar. Parametreler kodlanabildiği sürece çözüm üretilebilir. Bu sebeple GA ne yaptığı konusunda bilgi içermez, nasıl yaptığını bilir,
2. GA, aramaya tek bir noktadan değil noktalar kümesinden başlar. Bu nedenle çoğunlukla yerel en iyi çözümde sıkışıp kalmazlar,
3. GA, türev yerine uygunluk fonksiyonunun değerini kullanır. Bu değer kullanılması ayrıca yardımcı bir bilginin kullanılmasını gerektirmez,
4. GA, gerekirci kuralları değil olasılıksal kuralları kullanır.

Modern bilimde veri kümeleri arasındaki ilişkileri, tecrübelerden de faydalanarak belirlemek, üzerinde çokça çalışılan ve araştırılan bir taslaktır.

#### **4. Karar Matrisi Ve Geçki Seçiminde Kullanılması**

Karar matrisi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Karar matrislerinin jeolojik değerlendirme amaçlı kullanımı Eyüpoğlu (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir [20]. Karar matrisinin geçki seçiminde kullanılması ise birinci yazarın sürmekte olan doktora tez çalışmasında uygulanmaktadır. Söz konusu çalışma için İstanbul İli içerisinde Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nden başlayıp inşaatı devam eden 3. Havaalanına (İstanbul) kadar tasarlanan beş farklı alternatif geçki çalışması yapılmıştır. Önerilen karar matrisleri ile değerlendirme ve uygun geçkiyi belirleme yönteminde klasik süreç değiştirilmekte, jeolojik-jeoteknik parametreler ön plana çıkarılarak, uygun geçkinin seçiminde önemli bazı etmenler dikkate alınmaktadır.

İncelenen kesimde 5 farklı geçkiye ait yatay ve düşey geometri özellikleri ve ilgili km'ler Çizelgeler haline getirilmiştir. Daha sonra bu değerlere bağlı olarak gruplandırma yapılmış ve elde edilen zonlar geçkilere işlenmiştir. Bu işlemler her bir geçki için yapılmış ve elde edilen zonlar geçkilere işlenmiştir.

Oluşturulan bu çizelgelerde belirlenen geçki km aralıklarına bağlı geometrik standart özelliklerini gösteren değerler puanlanarak geçkilere ArcGIS programı kullanılarak aktarılmış ve böylece yapılan zonlama çalışması geçki üzerine de taşınmıştır. İncelenen matris etmen değerlerinin belirlenmesi için daha önce geçki araştırması yapılmış olan altlıkların yanı sıra ArcMap Programı'nın analiz özelliklerinden yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra geçkinin jeolojik ve jeomorfolojik parametreleri, çevre ve trafik faktörleri, altyapı uyumluluk faktörleri de incelenmektedir. Ancak tamamının bu çalışmaya alınması çok kapsamlı olacağından ve çok yer tutacağından dolayı, burada sadece 1. sıradaki matris (Geçkinin Jeoloji ve Jeomorfoloji ile Uyumluluk Matrisi) parametreleri özet olarak verilmektedir.

#### **4.1 İncelenen Jeoloji ve Jeomorfoloji Açısından Önemli Etmenler**

Mühendislik işlerinde doğal ortamların (kayaç, geçiş kayası, zemin) mühendislik özelliklerine etki yapan en önemli faktörler ortamın litolojisi (taş türü/zemin cinsi) ve jeolojik yapısıdır. Her türlü yapının emniyeti ve maliyeti bu iki özeliğin iyi bilinmesine bağlıdır. Bu çalışmada yol geçkisinin belirlenmesinde jeolojik-jeoteknik etmenler aşağıda kısaca özetlenmiştir;

**Yamaç Eğimi:** Geçkilerin arazinin topografik koşullarına uygun geçirilmesi maliyetin düşmesi ve toprak kayması riski açısından oldukça önemlidir. Kazı ve dolgu işlemi yapılması gereken kesimlerde kaymayı önlemek için yamaç eğiminin doğal zemin eğimine olabildiğince uygun

verilmesi gerekir. Dik şevler, yağışın bol olduğu ve zeminin gevşediği zamanlarda ciddi bir kayma tehlikesi gösterirler.

**Su Durumu:** Yeraltı su seviyesinin durumu (statik seviye), akifer parametreleri, kaynak ve sızıntıların tip ve dağılımı, bataklık ve sazlık alanların geçici durumu, yüzey suları ve yüzey suyu-yeraltı suyu ilişkisinin ana hatlarıyla ortaya çıkarılması doğru güzergah belirlenmesinde önemlidir. Yeraltı ve yüzeysel suların dikkate alınarak uygun drenaj sisteminin belirlenmesi hem işletim sırasında doğabilecek sorunları bertaraf eder hem de yolun altyapı ve üstyapı ömrünü uzatır.

**Ayrışma:** Yerkabuğunu oluşturan kayalarda yüzey ya da yüzeğe yakın kesimlerde mekanik ve kimyasal süreçlerle meydana gelen nitelik değişimleridir. Kayalarda ayrışma çeşitli fiziksel etkilere bağlı olarak, minerallerin ve/veya matrisin kimyasal süreçlerle bozulup değişmesi ile veya hem fiziksel hem kimyasal etkinin birlikte etkimesiyle oluşabilir.

**Ortam Cinsi:** Mühendislik jeolojisinde ortamlar doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılır. Doğal ortamlar kayaç, ayrılmış kayaç (geçiş kayası) ve zemin iken yapay ortamlar insan eli ile oluşturulan döküm sahası gibi kontrolsüz ve toprak baraj gövdesi, otoyol taşıyıcı katmanı, sıkıştırılmış temel altı ortam vb. gibi kontrollü dolgulardır. Zeminler yer kabuğundaki kayaların ayrışması ile oluşurlar. Kayaların ayrışıp parçalanmasında yük boşalması, ısı farkları, yağışlar, rüzgâr, su, basınç boşalması, kimyasal olaylar vb. gibi etkenler önemli rol oynamaktadır. Farklı nedenlerle ayrılan kayacın ilerleyen ayrışma sürecinde oluşturduğu kayaç malzemenin yerinde ve/veya taşınma ile yeni yerinde birikmesi ile farklı zemin türleri oluşur (kil, kum, çakıl, organik, marn vb. zeminler).

**Ortam Dayanımı:** Arazide mevcut doğal zemin tabakası veya üzerinde çalışılan kaya ve/veya zemin birimleri yol yüzeyinin altında taşıyıcı temel görevini üstlenmektedir. Yol yüzey malzemelerinin doğrudan bu formasyonlar üzerine döşenmesi yeterli olabilir. Ancak buna karar vermenin asıl ölçüğü mevcut zemin tabakasının yolu kullanacak taşıt ağırlıklarını emniyetli bir şekilde taşıyıp taşımayacağına bilimsel olarak belirlenmesidir.

**Tabaka Yönelimi:** Tabaka yönelimi ile geçki güzergâhı arasındaki uyum veya uyumsuzluk geçki sırasında başta stabilite olmak üzere çeşitli mühendislik sorunlarına sebep olabilir. İstanbul İli'nin genel jeolojisi Paleozoik, Mezozoik, Senozoik, Kuvarterner yaşlı birimler yanı sıra güncel tortu malzemeler ve bitkisel topraktan oluşmuştur [22, 23]. Formasyonların sınır ilişkileri yaygın biçimde tektonik olup, bazı katmanlar uyumsuzdur.

**Süreksizlik Özelliği:** Mikrofissür, fissür, kırık, çatlak, fay, tabaka yüzleri, şistiyet yüzleri, foliasyon yüzleri vb. çizgisel yapılar (süreksizlikler) olup kaya kütlesi içindeki zayıflık düzlemidir. Bu oluşumlar kaya kütlesi boyunca sıfır veya düşük çekme dayanımına sahip olup projelerde çok çeşitli ve değişik mühendislik sorunlarına sebep olabilirler.

**Bitki Örtüsü:** Geçki boyunca ortamın bitki örtüsü ile kaplı olup olmaması, kaplı ise bitkilerin tür ve kök yapısı geçki güzergâhı boyunca alınacak mühendislik önlemleri üzerinde etkili olacaktır. Önerilen geçkilerin belli kesimleri ormanlık alandan geçmektedir.

Karar Matrislerinde değişkenlerin etkileme ve etkilenme ilişkisinin belirlenmesi genel anlamda bir puanlama seçilerek yapılmıştır. Parametrelerin birbirine etkisinin puanlanmasına yarayan kritik sorular hazırlanmıştır. 1. matris (Geçkinin Jeoloji ve Jeomorfoloji ile Uyumluluk Matrisi) için 49 soru, 2. matris (Geçkinin Çevresel Uyumluluk Matrisi) için 64 soru, 3. matris (Geçkinin Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik ile Uyumluluk Matrisi) için 81 soru ve 4. matris (Geçkinin Altyapı ile Uyumluluk Matrisi) için 64 soru hazırlanarak toplam 258 soru oluşturulmuştur. Böylece matris

elemanlarının birbirini etkileme şekli daha somutlaştırılmıştır. Bu sorular doğrultusunda puanlama yapılarak matrislerde değerlendirilme yapılmış ve en uygun geçki araştırılmaya çalışılmıştır. Tez çalışmasında 1. matris ile ilgili değerlendirme tamamlanmıştır. Geçkiler ile ilgili yapılan maliyet analizi ile belirlenen sıralama (ucuzdan pahalıya) Geçkinin Jeoloji ve Jeomorfoloji ile Uyumluluk Matrisi ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sıralama ile ilk üç geçki için aynı olmuş, 4 ve 5 nolu geçki sıralaması değişmiştir. Bu durum jeolojinin geçki güzergâhının belirlenmesindeki öneminin sonuca yansımalarıdır. Böylece geçki seçiminde klasik yöntemin dışında tüm önemli parametreleri dikkate alan ve özellikle jeoteknik ve jeolojik parametrelere ağırlık kazandıran bir yaklaşım geliştirilmiş, devam eden matris çözümleri ile en uygun geçki güzergâhının belirlenmesinde doğa ile uyumlu karar yöntemi hedeflenmiştir. Bu konuda çalışmalar ve farklı yaklaşımlar devam etmelidir. Çünkü tüm dünyadaki yol uzunlukları ve yol inşa, bakım ve işletim maliyetleri düşünüldüğünde daha da iyisini araştırmak kaçınılmazdır.

## **5. Sonuçlar**

Ülkelerin, kurumların, yerel yönetimlerin ulaştırma konusundaki ortak amaçları ulaşım talebini karşılamak, düşük riskli, güvenli, konforu yüksek ulaşım hizmeti sunmak, maliyeti ve arazi kullanımını minimize etmektir. Ancak öncelik verilen veya ağırlık verilen hususlar değişebilmektedir. Bu çalışmada bu konulara dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Ayrıca en uygun geçkinin belirlenmesi için uygulamalı ve akademik çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların amacı en ideal en uygun çözümü bulmaktır. Öne çıkarılan hususlarda o ülkenin koşullarına ve ihtiyaçlarına bağlı olarak kısmen farklılık görülebilmektedir.

Yazarın tezinde incelediği çok kriterli seçim yöntemi olan karar matrisinin en uygun geçkiyi belirlemede nasıl kullanıldığına değinilmektedir. Bu çalışmada geçkiler hakkında yapılmakta olan çalışma konularına dikkat çekmek ve uygun geçki belirleme çalışmalarının hala devam ettiğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

## **KAYNAKLAR**

- [1] KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü, “Yol Altyapısı”, Ankara, 2010.
- [2] Highways England, Kent corridor to M25 (M2 and M20) “Route Strategy”, April, 2015.
- [3] Highways England, Route Strategies, Our high-level approach to informing future investment on roads, 2015.
- [4] ATB VÄG, “Swedish pavement and overlay design specifications”, Vägverket Publ VV 2000:111, Swedish, 2000.
- [5] Vegverket, “Swedish National Road Administration (SNRA)”, Sweden, 2001.
- [6] Statens Vegvesen, Norwegian Public Roads Administration, “Impact assessment of road transport projects”, 2005.
- [7] Norwegian Road Federation, Cambridge Systematics, Final Report, “Norwegian Road Network Strategic Assessment: Re-examining the Estimation of Costs and Benefits of Investments in Road Transport in Norway”, 2012.
- [8] Odoki JB, Kerali HGR, “HDM-4 Volume four Analytical Framework and Model Descriptions”, 2000.
- [9] Road in Japan, Road Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, “Transport and Tourism, Initiatives to Ensure Safety, Security and Comfort”, Chapter 1, 2014.
- [10] Michell & Gu, A Holistic Approach to Route Selection Based on Whole Life Costs, “Conference on Railway Engineering”, Darwin, June, 2004.
- [11] Bababeik M.; Monajjem Saeed, Optimizing Longitudinal Alignment in Railway with Regard to

- Construction and Operating Costs, *Journal of Transportation Engineering*, November 2012 (1395), 138(11): 1388-1395, 2012.
- [12] Wei Li & Hao Pu, et al., “A Method for Automatically Recreating the Horizontal Alignment Geometry of Existing Railways, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*”, 34 71-94, 2019.
- [13] Yousef Shafahi and M. J. Shahbazi, “railway alignment”, *Journal of Cold Regions Engineering*, 2014.
- [14] Jha, M.K., Schonfeld, P.M.,Jong, J.C. et. al., “Intelligent Road Design”, WITpress, Southampton, Boston, 2006.
- [15] John Kiema, “GIS-Based Railway Route Selection for the Proposed Kenya Sudan Railway: Case study of Kitale- Kapenguria Section”, *Journal of Cold Regions Engineering*, 2007.
- [16] HUANG Run-qiu, Li Yan-rong, QU Ke, WANG Ke, “Engineering Geological Assessment for Route Selection of Railway Line in Geologically Active Area: A Case Study in China”, Science Press and Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [17] Jong, J. C., Jha, M. K. & Schonfeld, P., Preliminary “highway design with genetic algorithms and geographic information systems”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 15(4), 261–71,2000.
- [18] Tunaliolu N., Soycan M., “An Alternative Approach Based On Angle And Distance In Horizontal Route Design”, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, YTÜ*, 2012.
- [19] Jong, J. C. & Schonfeld, P., An evolutionary model for simultaneously optimizing three-dimensional highway alignments, *Transportation Research Part B Methodological*, 37(2), 107–28, 2003.
- [20] Eyüboğlu, R., ‘Harşit Vadisi Doğankent (Giresun)-Yurtköyü (Gümüşhane) Arasının Yamaç Duraylığı Açısından İncelenmesi’ İTÜ-FBE, Jeoloji Müh. Dr. Tezi, 1999.
- [21]
- [22] Özgül N.,”İstanbul İl Alanının Jeolojisi” İBB, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, Aralık, 2011. Özgül N., “Stratigraphy and Some Structural Features of the Istanbul Paleozoic”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol 21, pp 817-866, TÜBİTAK, 2011



## Otonom Araçlarda Trafik Akımı ve Veriminin İncelenmesi

### A Review of Traffic Flow and Efficiency on Autonomous Vehicles

Mehmet Çağrı KIZILTAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Istanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, [mckiziltas@ticaret.edu.tr](mailto:mckiziltas@ticaret.edu.tr)*

**Özet:** Otonom araçlar yüzyılın hareketlilik olgusunun merkezinde yer almaktadır. Ulaştırma ve kentleşmede belirli bir nüfuz oranına ulaştığında çığır açıcı değişimlere neden olacaktır. Bu çalışmada ilk olarak otonom araçların özellikleri ve gelişimine değinilmiştir. Ardından ise hücreli otomasyondan bahsedilmiş, akabinde trafik akımı ve bu bağlamda da verim ve düzen açıklanmıştır. Sonrasında hızlanma konusu açıklanmış bu kapsamda bulgular ortaya konularak nihai değerlendirme verilmiştir. Son olarak da sonuçlar ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom araçlar, trafik verimi, ulaştırma sistemi

**Abstract:** Autonomous vehicles are placed on center of these century's mobility phenomena. When autonomous vehicle reaches to a sufficient penetratio rate, transport and urbanization will have innovative changes. In this paper firstly features and development of autonomous vehicles are mentioned. Then cellular automation is expressed and traffic flow and in this context efficinecy and rhythm of traffic are revealed. After these acceleration issue is explained and findings are presented nad evaluations are given. Lastly conclusions are shared.

**Keywords:** Autonomous vehicles, traffic efficiency, transportation system

## 1. Giriş

Bağlantılı ve otonom araçlar (CAV\_BOA)-pazar nüfuz oranı ile karayolu kapasitesi arasındaki ilişki ise sayısal olarak analiz edilmiş olup trafik sistemleri üzerinde bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) muhtemel etkilerine dair çeşitli görüşlerin temin edilmesi sureti ile sayısal analizler de icra edilmiştir. Yakın dönemde bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) hızlı gelişimi dâhilinde bağlantılı yeteneğine sahip tam otomatik araçlar yakın bir gelecekte bir gerçeğe dönüşecektir. Çalışmalar ise bu ortaya çıkan teknoloji dâhilinde yürütülmektedir. Talebpour ve Mahmassani ise çeşitli uygun teknoloji kabulleri dâhilindeki farklı modelleri kullanan bağlantılı ve otonom araçları (CAV\_BOA) da kapsayan farklı tiplerdeki araçları simüle etmek adına kullanılan bir kurgu ortaya koymaktadır.

Gora ve Rub ise çeşitli temel kapsamlar ve kabulleri; kendinden sürüslü bağlantılı araçlar için ortaya koymuştur. Bu tarz çalışmalar kapsamında temel hipotezler ise bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) teknik özelliklerine dayalı olarak bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) modellenmesi adına kullanılmaktadır. Bu gibi bir diğer kabul ise maksimum hız olup sınırlandırılmıştır çünkü bunun nedeni ise sensörün tespit mesafesi aralığı olmaktadır [1]. Hücreli otomasyon (CA\_HO) modeli bir tip ayrık (münhasır) model olup son birkaç on yılda mikroskobik trafik modellemesi



sahasında ileri bir düzeyde uygulanmaktadır. Araçsal sürüş davranışının tanımlanmasının yeterliliğine ilave olarak gerçek bir trafiğin özel karakteristiklerine uyarlamada basitlik ve esneklik gibi avantajlar ise sürekli modellere kıyasla mikroskobik bir ölçekte nispeten daha düşük hassasiyetle olmasına karşın, önceki çoğu çalışmalarda gösterilmektedir.

Örneğin Tian ve arkadaşları ise yarı dengeli durum, trafik salımları, aşama değişimleri ve diğer gerçek trafik akımı dinamiklerinin yeniden üretilmesi adına bir iki durumlu güvenlik hız modelini (TSM\_IDM) teşkil etmektedir. Hâlihazırdaki bir modeller dizisini iki durumlu güvenlik hız modeli (TSM\_IDM) ile karşılaştırmakta ve iki durumlu güvenlik hız modelinin (TSM\_IDM) en iyi performansı icra ettiğini tespit etmiştir. Dolayısı ile de düzenli araçların modellenmesi açısından durumlu güvenlik hız modeli (TSM\_IDM) yeni model altlığı olarak seçilmiştir.

## **2. Hücresel Otomasyon**

Hücresel otomasyon (CA\_HO) modeli de aynı zamanda trafik akımı üzerinde ortaya çıkan teknolojilerin muhtemel etkilerinin çalışılması adına uygulanmaktadır. Kerner ise trafik bozulmaları ile ilgili olarak klasik trafik teorilerinin eksikliklerini analiz etmiş ve söz konusu bu teorilere dayalı olan trafik akım modellerinin; trafik akımı üzerinde diğer akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) uygulamaları ya da otonom sürüşün muhtemel etkilerinin analizi adına güvenilir olmayabileceği sonucuna varmıştır. Dahası da üç aşamalı teorinin kurgusundaki trafik akım modeli; trafik akımı üzerindeki otonom sürüş etkilerinin analiz edilmesi adına önerilmektedir. Üç aşamalı teorinin kurgusundaki trafik akım modeli ise yarı dengeli serbest akım üzerinde F->S dönüşümü (serbest akımdan senkronize trafik akımına) vasıtası ile trafik akımındaki bozulmaları göstermekte ve çözümlenmektedir. Kerner ise karma trafik akımı koşulları altında otonom sürüş performansı ile ilgili daha ileri incelemeler yapmıştır ve otonom sürüşlerinin muhtemel trafik bozulmaları altında azalabileceğini ve artabileceğini bulmuştur. Dolayısı ile de bu tarz çalışmalar kapsamında ise heterojen bir akım modeli konvansiyonel araçların içinde kurulmuştur ve bağlantılı ve otonom araçlar (CAV\_BOA) mikroskobik trafik modellemesi sahasında yakın dönem gelişmelerine dayalı olarak eş zamanlı bir şekilde dikkate alınmıştır. Düzenli araçların modellenmesi adına iki durumlu güvenlik hız modeli (TSM\_IDM) uygulanmaktadır. Bağlantılı ve otonom araçlar (CAV\_BOA) modellenir iken heterojen akım modelinde yeni kurallar teşekkül etmektedir.

Bir hücresel otomasyon (CA\_HO) modelinde karayolu kesimi hücrelere bölünmektedir ve zaman ise zaman adımlarına bölünmektedir. Her bir zaman adımında her bir hücre münhasıran iki duruma sahip olmakta olup hem bir araç tarafından işgal edilmekte ve hem de boş olmaktadır. Simülasyon; periyodik sınır koşulu altında 10 kilometrelik iki şeritli bir karayolu kesiminde yürütülmektedir. İlk olarak simülasyon; karayolu kesiminde mega trafik tıkanıklığında rassal olarak dağılan konvansiyonel araçlar ve bağlantılı ve otonom araçları (CAV\_BOA) içermektedir [2].

Velodyne Lidar HDL-64E; tespit mesafesi aralığında  $120 \pm 2$  metre aralığında tespit yeteneğine sahip olmaktadır. Tespit aralığı (TA\_DR) ise 120 metredir. Bu tarz çalışmalar kapsamında Ayrık kısa mesafeli iletişim (DSRC\_AKMİ) teknolojisindeki bağlantılı araçlarda kullanılan tipik iletişim aralığı mesafesi ise 300 metredir. Bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) maksimum hızı ise  $\sqrt{2b_{maks}} \cdot \sqrt{TA}$  olarak verilmektedir. Trafik akım koşulları altında otonom araçlar (OA) ve düzenli araçlar (DA) arasındaki performans farklılıklarının araştırılması adına aynı  $V_{maks}$ ; simülasyonda konvansiyonel araçlar için kullanılmaktadır [2].

## **2.1. Trafik Akımı**

Bağlantılı ve otonom araçların (OA) girişi; otoyol sürüş çevresinde değişimler getirecektir. Bağlantılı araç teknolojisi ise trafik yönetim merkezi kararları ve mücavir trafik koşulları hakkında gerçek zamanlı bilgi temin etmektedir. Bu gibi bir bilginin; güvenlik ve hareketliliği geliştirir iken konforu ve buna karşılık sürücülerin verimliliğini de arttırması öngörülmektedir. Bağlantılı araç teknolojisi aynı zamanda da otonom araçların (OA) güvenilirliği ve verimliliğini daha da arttırabildiği halde bu söz konusu araçlar iletişim olmaksızın araç içi sensörleri ile münhasıran işletilebilmektedir. Sürüş sahasında bağlantılı ve otonom araçların (OA) muhtemel etkilerini sınavan çeşitli çalışmalar yapılır iken literatürdeki modelleme yaklaşımlarının çoğu ise bağlantılandırma ve otomasyon arasında bir ayrıma gitmemekte olup farklı tasarlanmış donanım senaryolarının göstergeleri ile ilgili birçok cevaplanmamış soru ortada kalmaktadır. Bağlantılandırılmış yeni çevreyi modeller iken bu söz konusu iki teknoloji arasında ayırım yapan kapsamlı bir ivmelenme kurgusuna ihtiyaç bulunmaktadır. Bu tarz çalışmalar kapsamında belirgin iletişim yeterlilikleri ile farklı araç tiplerinin simüle edilmesi adına teknolojiye uygun çeşitli modellerden faydalanan bir kurgu ortaya konmaktadır. Ortaya çıkan trafik akım davranışının denge analizi ise bağlantılı ve otonom araçların (OA) farklı nüfus oranlarını ifade etmektedir. Söz konusu bu analizler ortaya çıkarmaktadır ki bağlantılı ve otonom araçlar (OA) dizi dengesini arttırmaktadır. Dahası da otomasyon şok dalgası şeklinin ve model kabulü altındaki yayılmaların önlenmesinde daha etkili olarak telakki edilmektedir. Dengeye ilave olarak verimlilik üzerindeki bu söz konusu teknolojilerin etkileri ise keşfedilmiş olup belirli nüfus senaryoları altında artan önemli miktarlardaki potansiyel verime işaret etmektedir [3].

## **2.2. Hız Alma**

İvmelenme davranışı literatürde ileri bir düzeyde çalışılmış ve farklı karmaşıklık düzeylerindeki çeşitli modeller, vurgulanan ivmelenme karar alması prosesini kapsamak adına ortaya konmuştur. Maalesef ki bu söz konusu modellerin çoğu, iletişim yokluğu durumundaki sürücü davranışlarını kapsamak adına tasarlanmıştır. Bu söz konusu modelleme yeterlilikleri ise gerekli iletişim araçları ile donatılmış araçların münhasıran bir bölümünün olduğu bir karma sahada hatta daha da sınırlandırılmış bir durumda olmaktadır. Otonom araçların (OA) eklenmesi ise sahadaki karmaşayı daha da arttırmaktadır. Dolayısı ile de bu kapsamdaki çalışmalar, böyle bir karma sahadaki sürücü davranışları üzerindeki değişimleri kapsayan mikroskobik simülasyon modellerindeki sınırlamaları ifade etmek adına bir ivmelenme kurgusunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda da ivmelenme modellerinin tanımlanması dâhilinde bir ivme kurgusu incelemesi ortaya konulmaktadır.

Bu söz konusu araçların sürücüleri ne diğer araçlardan bilgi temin edebilmektedir ve ne de trafik yönetim merkezinden (TMC\_TYM) bilgi temin edebilmektedir. Sadece karayolu işaretlemelerinden (konvansiyonel trafik işaretleri) bilgi alabilmektedirler. Bunlar aynı zamanda da mücavir alandaki diğer sürücülerin davranışlarını da kabaca algılayabilmektedirler. Dahası da ivmelenme davranışları da ihtimaliyete dayalı bir yapıdadır ve diğer sürücüleri gelecek davranışları hakkında net değillerdir. Söz konusu bu belirsizlik, trafik kazası ortaya çıkışına da neden olabilmektedir. Otonom araçların (OA) mücavir alandaki diğer araçları sürekli izlemeleri adına yeterliliklerinin dikkate alınması dâhilinde bir otonom araç (OA) diğer sürücülerin davranışları hakkında net bilgiye sahip olmaktadır. Dahası bu söz konusu araçlar sürüş sahasındaki hemen hemen ani herhangi bir değişime tepki verebilmektedir. Dolayısı ile de bir deterministik ivmelenme model kurgusu, bu söz konusu sahanın modellenmesi adına uygun olmaktadır. Bu tarz çalışmalar kapsamında 2006 yılında Van Arem ve arkadaşları ile 1993 yılında ise Reece ve Shafer tarafından yapılan önceki çalışmalara dayalı olarak otonom araçların (OA)

modellenmesi adına bir yaklaşım sunulmaktadır. Söz konusu bu yaklaşımın temel katkısı ise modelleme prosesinde sensör özelliklerini hesaba katmasıdır. Diğer bir deyiş ile münhasıran sensörler, ivmelenme modeli adına bir girdi verisi üretmek için simüle edilmektedir. Not edilmelidir ki bu söz konusu çalışma; benzer sensörler ile bütün otonom araçların (OA) donatıldığını kabul etmektedir [4].

### **3. Bulgular**

Bağlantılı ve otonom araçlarla (CAV\_BOA) ilgili gerçek veri yoksunluğundan dolayı; uyarlanabilir seyir kontrol (USK\_ACC) prosesi için gerekli unsurlar Kerner tarafından yürütülen bir çalışmada takip edilmiştir. Burada  $K_1= 0,14$  ve  $K_2= 0,9$  uyarlanabilir seyir kontrol (USK) katsayıları dâhilinde  $T_{USK}$  münhasıran 1,1 saniye değerini alacaktır. Dahası iki karşılaştırmalı deney; bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) daha ileri yetkinliklerini ifade eden 0,8 saniye ve 0,5 saniye  $T_{USK}$  değerleri dâhilinde eş zamanlı olarak yürütülmektedir. Bu aynı zamanda da trafik akımı üzerinde bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) etkiler hakkında ilave bilgi temin edilmesine yardımcı olmaktadır. Şerit değişim olasılığı bir unsur olup şerit değişim prosesindeki rassallıkla ilişkilendirilmektedir. Bu kapsamda şerit değiştirme olasılığı 0,2 olarak teşekkül etmekte olup şerit değiştirme olasılığı için hücresel otomasyon (CA\_HO) modelinde kullanılan tipik bir değerdir. Burada 0,1, 0,2, 0,3 değerleri dâhil olmak üzere şerit değiştirme olasılığı için çeşitli değerlerin performansı karşılaştırılmaktadır [5]. Nihai olarak üç simülasyon dizisi, temel diyagramlardaki verim ve dağılımlar üzerinde bağlantılı ve otonom araçların (OA) eş zamanlı etkilerini araştırmaktadır. Daha hassas bir şekilde ise düzenli araçların (DA) sayısı %10 ile sınırlandırıldığında bağlantılı araçların (BA) ve otonom araçların (OA) farklı pazar penetrasyon oranlarının 6 farklı terkihi simüle edilmektedir. Şu not edilmelidir ki söz konusu bu simülasyonlarda ana hat akımı 220 araç/şerit\_saat olarak alınmaktadır. Örneğin 40 araçlık bir dizi ve %10'luk pazar nüfuz oranları için titreşimli rejim eşiği hem otonom araç (OA) ve hem de bağlantılı araçlar (BA) için 0,7 olmaktadır. Bunun ile beraber %90'luk pazar penetrasyon oranları dâhilindeki etki ise daha yüksek değerlerde olmaktadır. Daha az reaksiyon süresi ve daha az belirsizlik ise bu söz konusu farklılık için temel nedeni teşkil etmektedir.

Otonom araçlar (OA) münhasıran sensör tespit aralığında bulunan araçları gözlemleyebildiğinden dolayı da otonom araç (OA) hızının, sensör tespit aralığında durmak adına yeteri kadar az olması gerekliliği kabulü mantıklı görünmektedir. Bu da; karar alma zamanında sensörler tarafından seçilemeyen sensör tespit aralığının sağ dışında tam bir durmada bir aracın bulunduğu kabulüne denk gelmektedir. Dahası eğer ki öndeki araç seçili ise, eğer öndeki araç kendi maksimum yavaşlama ivmesine ulaşmaya ve tam bir durma yapmaya karar verir ise otonom aracın (OA) hızının durmaya imkân verecek ölçüde az olması gerekliliği kabulü de mantıklı olmaktadır [5].

### **4. Değerlendirme**

Bağlantılı araçlar (BA) ve otonom araçlar (OA) karayolu ulaştırma sisteminin geleceğini şekillendirecektir. Söz konusu bu teknolojiler; hareketlilik, güvenlik, konfor ve yakıt tüketimini artırma eğiliminde iken salımları ise düşürmektedir. Bunun ile de beraber söz konusu bu gelişmelerin miktarı ise bilinmemektedir ve sürüş sahasındaki etkilerin analizi adına literatürdeki ileri düzeyli çabalara karşın, halen de kapsamlı çalışmalara yönelik ciddi bir gereksinim bulunmaya devam etmektedir [6]. İvmelenme kurgusunu, sürücülerin beklentilerini de içerecek bir şekilde geliştirmek ise gelecek araştırmaları için bahse konu olmaktadır. Not edilmelidir ki çeşitli modeller; düzenli, bağlantılı ve otonom araçların (OA) modellenmesi adına potansiyel olarak kullanılabilir olmaktadır.

Bu tarz çalışmalar kapsamındaki model seçimi ise söz konusu bu araçların modellenmesinde hâlihazırdaki son teknolojiye dayalı olmaktadır. Dolayısı ile de bu tarz çalışmalar kapsamında ifade edilen sonuçlar görsel ve açıklamalı olup kesin modelleme, söz konusu bu sistemlerin gerçek hayattaki uygulamalarının güncel gözlemlerini gerektirmektedir. Bir bağlantılı ve otonom aracın (CAV\_BOA) hızı yeterince az olmalıdır ancak böylelikle sensör mesafesi dışındaki herhangi bir olaya tepki verebilir. Bu tarz çalışmalar kapsamında gelecek bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) modellenmesi noktasındaki çalışmalar için bir temel teşkil edecek şekilde hizmet sunulmaya çalışılmaktadır denebilir. Bu bağlamda sonlu bir uzunluk dâhilindeki heterojen bir araçlar dizisinin dengesi ise, düzenli, bağlantılı ve otonom araçların (OA) farklı bir terkihi ile bağlantılı ve otonom araçların (OA) farklı pazar nüfuz oranlarını araştırmaktadır. Trafik akımında dengedeki bağlantısallık ve otomasyonun etkilerinin büyütülmesi adına düzenli araçların unsurları, bir düzenli araç dizisindeki oldukça denge dışı bir trafik akımının oluşturulması adına uyarlanmaktadır. İlk durum düzenli ve bağlantılı araçlardan meydana gelen bir sürüş sahasını incelemektedir.

## **5. Sonuçlar**

Karayolu kapasitesindeki bir artışın muhtemel etkisi ise simülasyon deneyleri vasıtası ile gösterilen büyüme mekanizmaları ile doğrulanmaktadır. Kapasiteye nazaran büyüme unsuru ise konvansiyonel araçlara kıyasla münhasıran bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) gelişimine dayalı olmaktadır. Büyüme unsurunun daha hassas hesaplanması adına bağlantılı ve otonom araçlar (CAV\_BOA) ile ilgili olarak daha kesin ampirik veriye gereksinim duyulmaktadır. Bağlantısallık açısından ise kısa mesafeli işletim vasıtası ile araç bağlantısı münhasıran mesafe sensörünün aralığını genişletmek için kullanılmaktadır. Münhasıran o andaki en öndeki araca verilen cevap dikkate alınmakta olup örneğin herhangi çoklu beklenti uygulanmamaktadır. Bunlar bu söz konusu tarz çalışmalardaki ana sınırları tayin etmektedir. Analizin çoklu beklemeğe ilerletilmesi ise gelecekteki çalışmalar için araştırma yönü tayinini teşkil etmektedir. Burada ise bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) ampirik veri yoksunluğu sorunu ise bu söz konusu ortaya çıkan teknolojinin gelişimi süresince yayınlanan veri ile bağlantılı olarak çözümlenebilmektedir [7].

Özellikle de bağlantılı ve otonom araçlar (CAV\_BOA) için işletim kuralları ise uyarlanabilir seyir kontrol (USK) ile kısa mesafe iletişim vasıtası ile araçlar arası bağlantı yolu ile otonom sürüş dâhil olmak üzere ortaya çıkan teknolojinin yeni karakteristiklerini dikkate alacak bir şekilde teşekkül etmektedir. Simülasyonlar ise heterojen bir akımın içerisindeki değişen bağlantılı ve otonom araçlar (CAV\_BOA) ve pazar nüfuz oranları altında yürütülmektedir. Karayolu kapasitesi üzerinde bağlantılı ve otonom araçların (CAV\_BOA) etkisi sayısal olarak incelenmektedir.

## **KAYNAKÇA**

- [1] D.J. Fagnant, K. Kockelman, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 77 (2015) 167–181.
- [2] W. Gruel, J.M. Stanford, Assessing the long-term effects of autonomous vehicles: a speculative approach, *Transp. Res. Proc.* 13 (2016) 18–29.
- [3] N. Lu, N. Cheng, N. Zhang, X. Shen, J.W. Mark, Connected vehicles: solutions and challenges, *IEEE IoT Journal* 1 (4) (2014) 289–299.
- [4] Wilson, R.E., Ward, J.A., 2010. Car-following models: fifty years of linear stability analysis – a mathematical perspective. *Transport. Plan. Technol.* 34 (1), 3– 18.



- [5] Zhao, L., Sun, J., 2013. Simulation framework for vehicle platooning and car-following behaviors under connected-vehicle environment. *Proc. – Soc. Behav. Sci.* 96, 914–924.
- [6] Talebpour, A.,Mahmassani, H., Hamdar, S., 2011. Multi regime sequential risk-taking model of car-following behavior. *Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board* 2260 (1), 60–66.
- [7] Talebpour, A.,Mahmassani, H.S., 2014. Modeling acceleration behavior in a connected environment. In: *Mid year Meetings and Symposium Celebrating 50 Years of Traffic Flow Theory*, Portland, OR.



## Deniz Ulaşımı Kaynaklı Hava Kirliliği ve Azaltma Amaçlı Düzenlemeler

### Sea Transport Air Pollution and Regulations for Mitigation

Oğuz ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Zübeyde ÖZTÜRK<sup>2</sup>, Eda TURAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Technical University (Naval Architecture and Maritime Faculty, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey, 05332850762, ozturko@yildiz.edu.tr)

<sup>2</sup> Istanbul Technical University (Civil Engineering Faculty, Transportation Department, Istanbul, Turkey, ozturkzu@itu.edu.tr)

<sup>3</sup> Yıldız Technical University (Naval Architecture and Maritime Faculty, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Istanbul, Turkey, edaturan@yildiz.edu.tr)

**Özet:** - Tüm ulaşım türlerinde olduğu gibi deniz ulaşımında da hava kirliliği meydana gelmektedir. Özellikle yük taşımacılığında global ölçekte büyük paya sahip olan deniz taşımacılığının hava kirliliğine etkisi de büyük boyutlardadır. Hava kirliliği, dünya atmosferine zararlı veya aşırı miktarda madde verildiğinde ortaya çıkar. İnsanlarda ve diğer canlılarda bu tür kirleticiler hastalıklara, alerjilere ve hatta ölüme neden olabilmektedir. Günümüzde bu etkilerin önüne geçmek için deniz ulaşımında dünya genelinde düzenlemeler ve çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde bu konuya henüz gerektiği kadar önem verilmemektedir. Çalışmada, deniz taşıtları kaynaklı hava kirliliği ve azaltma çalışmaları hakkında farkındalık oluşturmak için global ölçekteki durum ve yapılan düzenlemelere yer verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Deniz ulaşımı, hava ulaşımı, hava kirliliği

**Abstract:** - As with all transportation modes, air pollution occurs in sea transportation. The impact of maritime transportation, which has a large share in global freight in air transportation, on air pollution is also large. Air pollution occurs when harmful or excessive material is given to the earth's atmosphere. Such pollutants in humans and other living things can cause diseases, allergies, and even death. Today, in order to prevent these effects, arrangements and studies are made worldwide in maritime transportation. In our country, this issue is not given as much importance as necessary. In the study, the situation on the global scale and the arrangements are made in order to raise awareness about the air pollution and reduction works caused by the watercraft.

**Keyword:** Sea transportation, air transportation, air pollution

### 1. Giriş

Uluslararası ticaretin % 85-90'ını su taşımacılığı ile sağlandığı bilinmektedir. Bu, aynı zamanda mal ve hizmet talebini karşılamak için vazgeçilmez bir faktör olan en ucuz ulaşım şeklinin denizyolu ulaşımı olduğunu göstermektedir. Yük taşımada payı yüksek olan deniz ulaşımının hava kirliliğine de önemli etkisi olmaktadır. Hava kalitesini etkileyen emisyonlar, hava kirletici emisyonlar ve sera gazı emisyonlarını içerir. Yaygın olarak hava kirleticiler olarak adlandırılan hava kirliliği emisyonları, havada bulunan ve akut veya kronik olarak insan sağlığı sorunlarına ve olumsuz çevresel etkilere neden olan türlerdir.

Hava emisyonları doğal veya antropojenik kökenlidir. Bu kirlilik bileşenleri bölgedeki insanların çoğunu etkileme potansiyeline sahiptir. Hava kirleticileri birincil ve ikincil hava kirleticilerini içerir. Birincil hava kirleticileri doğrudan kaynaklardan çevreye yayılır. Bunlar arasında, parçacık halindeki maddeler (PM), kükürt dioksit, nitrik oksitler, hidrokarbon, uçucu organik bileşikler, karbon monoksit ve amonyak bulunmaktadır.

İkincil hava kirleticileri ise, iki veya daha fazla birincil kirleticinin kimyasal reaksiyonları veya normal atmosferik bileşenlerle reaksiyonlar yoluyla üretilir. İkincil hava kirleticilerinin örnekleri yer seviyesindeki ozon, formaldehit, duman ve sistir. Partikül madde, havada asılı katı parçacıkların ve sıvı damlacıkların bir karışımıdır. Partikül madde doğrudan atmosfere rüzgarla üflenmiş toz ve toprak, deniz tuzu spreyi, polen ve sporlar şeklinde gönderilen birincil kirleticiler ve ikincil kirleticilerdir [1, 2].

## **2. Denizyolu Ulaşımının Hava Kirliliğine Etkisi**

Okyanus kaynaklı ticaret son yirmi yıldır istikrarlı bir şekilde artmaktadır ve küreselleşmiş dünya ekonomisinde önemli bir rol oynamaya devam etmektedir. Gemi trafiğinde beklenen büyüme, gemi emisyonları daha fazla kontrol edilmedikçe, yerel hava kalitesi sorunlarına ve küresel iklim değişikliği risklerine önemli ölçüde katkıda bulunacaktır. Ancak bugüne kadar, gemi-çevre performansındaki iyileşmeler, nakliye faaliyetindeki ve gemi görevlerindeki artışla büyük ölçüde yetersiz kalmıştır. Gemi emisyonları, küresel hava kirliliğine katkıda bulunmanın yanı sıra, kıyı bölgelerinde hava kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır .

Özellikle kıyı bölgelerindeki gemi emisyonlarıyla ilişkili yerel ve bölgesel hava kalitesi sorunları, halk sağlığı üzerindeki etkileri ve sera gazı emisyonları nedeniyle endişe yaratmaktadır. Hava kirliliğine maruz kalma, erken ölüm, kanser, kalp ve solunum hastalıkları gibi bir dizi sağlık riski ile ilişkilidir. Ayrıca limanla ilgili faaliyetlerden kaynaklanan hava kirliliği, liman işçilerinin ve yakınındaki liman bölgesi sakinlerinin sağlığını olumsuz yönde etkilemekte ve bölgesel hava kirliliği sorunlarına sebep olmaktadır. Hava kirletici emisyonları nispeten düzensiz kaldığı için, gemilerde ve liman tesislerinde tüketilen yakıt başına ton miktarı dünyanın en kirletici yanma kaynakları arasındadır [3]. Bunun dışında gemi sanayi tesisleri de liman alanlarına yakın konumlanmaktadır. Bu yüzden bu yerleşim şekli kirlilik oranını arttırmaktadır. Şu anda, uluslararası nakliye ve liman endüstrisi, gemiden ve diğer ulaşım modlarından kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için yakıt kalitesinin iyileştirilmesi ve gemi motoru teknolojisinin yanı sıra limandaki operasyon değişiklikleri gibi yeni yöntemleri benimsemişlerdir.

Liman işletmesinden kaynaklanan hava kirliliği ve sağlık üzerindeki etkileri de çok ciddidir. Gemilere, kamyonlara, trenlere ve kargo elleçleme ekipmanlarına güç sağlayan limanlardaki dizel motorlar, yakın topluluklarda yaşayan işçilerin ve insanların sağlığını etkileyen ve bölgesel hava kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunan çok miktarda hava kirliliği yaratır. 2000 Kaliforniya'da yapılan bir çalışmaya göre dizel egzozunun kanser risklerini arttırdığı, dizel egzozunun hava kirliliğinden kaynaklanan kanser riskinin yüzde 70'inden sorumlu olduğu tespit edilmiştir [4]. İnsan sağlığını etkileyebilecek limanlardaki dizel motorlardan kaynaklanan başlıca hava kirleticileri arasında PM, uçucu organik bileşikler (VOC), NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> bulunur. Limanlardaki kirliliğin sağlık üzerindeki etkileri insanlarda astım, diğer solunum yolu hastalıkları, akciğer kanseri ve erken ölüm olarak görülebilir. Dünyadaki büyük limanlar yerleşim bölgelerine, okullara ve oyun alanlarına oldukça yakındır. Limanlara yakınlık nedeniyle, yakınındaki yerleşmeler hava kirliliği nedeniyle

olağanüstü yüksek sağlık riskleriyle karşı karşıyadır. Bu alanların çoğu düşük gelirli topluluklardır, bu da çevresel adalet endişelerini gündeme getirmektedir. Ayrıca tankların ve petrol platformlarının patlaması ve yangınlarıyla meydana gelen deniz kazaları, çarpışmalar veya arızalar çevre üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Ayrıca, gemi kaynaklı emisyonlar küresel olarak, özellikle kıyı ve sahil bölgelerinde, 60 000'den fazla insanın ölümüne sebep olmaktadır. Yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan gemiler uzun mesafelerde de kullanımları için bu gemilerden türeyen emisyonların etkisizliğini uzun mesafelerde göstermektedir. Bu da hava kalitesi sorununu önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca hava kirliliği belirlenen standartlara ve düzenlemelere bakılmaksızın artmaktadır. Bu nedenle insan sağlığını iyileştirmek ve çevreyi korumak için daha fazla önlem alınması gerekmektedir [5].

Deniz taşımacılığında kaynaklanan çevresel kaygılar 2000li yılların başında artmaya başlamıştır. Ancak uluslararası kaynaklanan kirlilik uluslararası düzenleme araçlarından hariç tutulmuştur. Ulaşım araçları içerisinde en büyük paya sahip olan araç hiç şüphesiz gemilerdir. Bir geminin işletme giderlerinin % 50'sinden fazlası genellikle akaryakıt maliyeti olduğundan, dünyadaki gemi işletmecilerinin çoğu, deniz enerji santrallerinde yakıt tasarrufundaki avantajları nedeniyle bozulmuş kalıntı ağır akaryakıt kullanır. Bununla birlikte, bu parçalanmış ağır yağlar, yüksek seviyelerde asfalt, karbon kalıntıları, kükürt ve metalik bileşiklerin yanı sıra yüksek viskozite, düşük setan sayısı ve düşük uçuculuk özelliklerine sahiptir. Deniz dizel motorlarında, kazanlarda ve yakma fırınlarında yakma işlemi sırasında bu yakıtlar önemli miktarda zararlı gaz açığa çıkarır. Bu yüzden yeni sayılabilecek gemilerde bile eski model makinelerin kullanıldığı bilinmektedir. Bu eski makinelerin kullanımından dolayı fosil kaynaklı yakıtların harcanma miktarları artmaya devam etmektedir. Bunun sonucunda da havayı daha çok kirletmektedirler [2].

Dünya ticaretinin yüzde 90'ından fazlası 90.000 gemi tarafından dünya okyanuslarında taşınır. Gemiler enerji için yakıt yakar ve fosil yakıt kullanan tüm ulaşım türleri gibi, gemiler de küresel iklim değişikliğine ve asitleşmeye önemli ölçüde katkıda bulunan karbondioksit emisyonları üretiyor. İklim değişikliği ve halk sağlığı etkileri ile en yakından bağlantılı olan gemi kaynaklı kirleticiler arasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>) ve partikül madde bulunur. Çoğu gemi, en kirlili dizel kamyonlardan 50 kat daha fazla toksik kirletici üreten düşük dereceli yakıt yakar. Gemilerin atık yakma fırınları, dioksin ve civa gibi kansere neden olan kimyasallar da dahil olmak üzere toksik kimyasallar yayar. Bir yolcu gemisi, her gün 12.000 otomobile eşdeğer baca ve egzoz emisyonları üretir [3, 4]. Küresel ölçekte, deniz taşımacılığı endüstrisinin insan faaliyetlerinden kaynaklanan toplam emisyon içindeki payı:

CO<sub>2</sub>: % 2.2 yıl başına

NO<sub>x</sub>: % 15 yıl başına

SO<sub>x</sub>: % 13 yıl başınadır.

Kullanım süresi genellikle deniz taşıtlarında kara ulaşımındaki araçlara göre önemli ölçüde daha uzundur. Önceden de bahsedildiği gibi, bu gemiler genellikle hava kirliliğini yayabilecek nispeten eski motorlar tarafından çalıştırılır. Ayrıca, deniz araçları için kullanılan yakıt kalitesi genellikle otomotiv sektöründe kullanılan yakıtların kalitesi ile karşılaştırılamaz [5]. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), okyanus gemilerinin 2007 yılında 1,12 milyar-ton karbondioksit yaydığını tespit etti. Bu, 205 milyondan fazla arabadan veya tüm Amerika Birleşik Devletleri'nde kayıtlı olan arabadan daha fazla yıllık sera gazı emisyonlarına eşdeğerdir. Denizcilik endüstrisi, küresel iklim değişikliği sorununun da önemli bir kısmından sorumludur. Küresel karbondioksit emisyonlarının yüzde üçünden fazlası



okyanus gemilerine atfedilebilir. Bu, büyük karbon yayan ülkelerle karşılaştırılabilir bir miktardır ve endüstri hızla büyümeye devam etmektedir [6].

### **2.1. Nakliye, Kargo Gemilerinin Etkisi**

Nakliye ve kargo işlemleri için kullanılan denizyolu ulaşımında yıllar içinde dünyanın çeşitli yerlerinde artışlar yaşanmıştır. Küresel gemi nakliyesinden kaynaklanan sülfür dioksit, partikül madde ve sera gazlarının emisyonları 1990 ve 2007 yılları arasında 585'ten 1096 milyon tona çıkmıştır. Küresel taşımacılıktan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonları 2006 yılı için yaklaşık 1 milyar tondur. Şu anda da uluslararası gemi nakliye taşımacılığı küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının % 3'ünden sorumludur. 2005 yılında Avrupa'yı çevreleyen denizlerde (Baltık Denizi, Kuzey Denizi, Atlantik'in Kuzey-Doğu kısmı, Akdeniz ve Karadeniz), uluslararası nakliyeden kaynaklanan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonlarının 1.7 milyon ton olduğu belirlenmiştir. Kuzey ve Baltık Denizi ve İngiliz Kanalı'ndaki Sülfür Emisyon Kontrol Alanlarında %0,1 MARPOL sınırının 2015 yılı başından itibaren uygulanması nedeniyle, bu bölgelerde gemi kaynaklı kükürt emisyonları önemli ölçüde azalmıştır. 2020 yılında, sülfürü nakliye yakıtında %0,5 ile sınırlayan küresel kükürt kapağının uygulanmasıyla, kalan AB denizlerinde emisyonlar daha da azaltılacaktır[4]. 2020 yılına kadar, Avrupa çapında uluslararası nakliyeden kaynaklanan NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonlarının, toplam 25 Avrupa Birliği üye ülkesindeki tüm kara tabanlı mobil, sabit ve diğer kaynaklardan gelen toplam emisyonlara eşit veya hatta aştığı söylenmektedir. Bu rakamların sadece uluslararası ticaretteki gemilere atıfta bulunduğunu ve ülkelerin iç su yollarında nakliyeden veya aynı ülkenin her bir ülkenin iç istatistiklerinde verilen limanları taşıyan gemilerden kaynaklanan emisyonları içermediğine dikkat edilmelidir. Yani verilen istatistik değerleri sadece uluslararası sularda yapılan taşımacılığa ait hava kirliliklerini göstermektedir. Aynı zamanda ülke içinde yapılan deniz taşımacılıklarıyla da ülkenin hava kirliliği artmaktadır [7, 8].

Deniz taşıtları için düşük emisyonlu bir nakliye bölgesinin oluşturulması düşüncesi, ABD'deki 90 000 kargo gemisinden kaynaklanan kirliliğin, yılda yaklaşık 60 000 ölüme yol açtığını ve ayrıca akciğer ve kalp hastalıklarından kaynaklanan sağlık maliyetlerinin yılda 330 milyar dolara mal olduğunu gösteren ABD'ne ait akademik araştırmaların arkasından gündeme gelmiştir. Uluslararası nakliye nedeniyle düşük hava kalitesi, son bilimsel çalışmalara göre, dünya çapında yılda yaklaşık 400.000 erken ölüme yol açmaktadır [9].



**Şekil 1.** Nakliye, kargo gemileri.

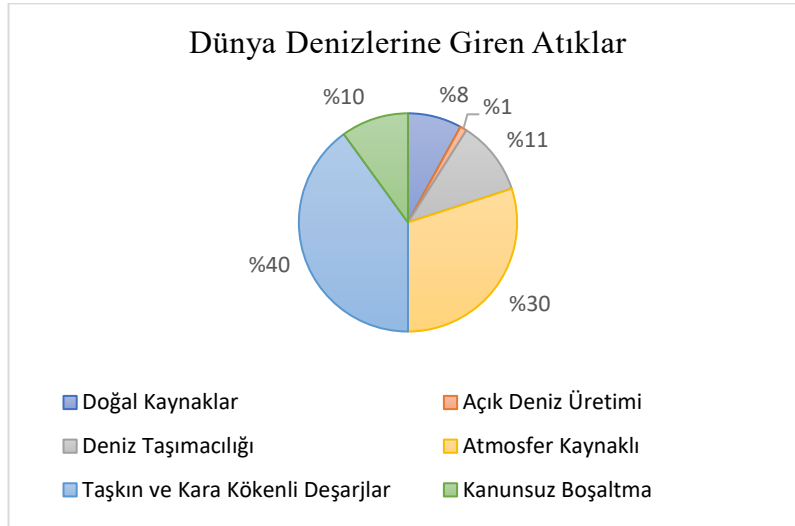
### 3. Uluslararası Anlaşmalar Ve Düzenlemeler

Gemi ve liman kaynaklı kirliliği azaltmak için belirli sayıda kuruluş bünyesinde uluslararası bazı anlaşmalar yapılmaktadır. Ancak burada bu konuda en önemli olanlarından kısaca bahsedilmektedir.

#### 3.1. Uluslararası Denizcilik Örgütü –IMO (International Maritime Organization)

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), gemicilik sektörüne etki eden her türlü teknik konuyla ilgili olarak, uluslararası ticaretle uğraşan ülkelerin mevzuat ve uygulamaları açısından hükümetler arasında işbirliği sağlamak, denizcilikle ilgili çeşitli uluslararası sözleşmelerin, navigasyon, deniz kurtarma ve gemilerin yapısal ve ekipman gereksinimlerini kapsayan düzenlemelerin hazırlanmasından sorumludur. Şu anda okyanus taşımacılığı alanındaki en güçlü uluslararası organizasyon olan IMO'ya 150'den fazla ülke üyedir. Uluslararası Denizcilik Örgütü dünya deniz ticareti ve çevresel etkileri üzerine ciddi çalışmalar yapan, uluslararası düzeyde yaptırım gücü olan bir örgüttür.

Şekil 2de, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) verilerine göre dünya denizlerine giren atıklar; doğal kaynaklardan % 8, açık deniz üretiminden % 1, deniz taşımacılığı kaynaklı % 11, atmosfer kaynaklı % 30, taşkın ve kara kökenli deşarjlar % 40, kanunsuz boşaltma (gemilerden ve uçaklardan, karada ve denizde üretilen atıklar) % 10 oranlarında olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Dünya denizlerine giren atıklar (NEPA, 2015).

IMO, küresel olarak alınan tedbirlerle ve düşük emisyonlu alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasıyla emisyonları 2020'ye kadar %20 ve 2050'ye kadar %50 oranlarında azaltmayı hedeflemiştir.

#### 3.2. MARPOL 73/78 Anlaşması

MARPOL denizlerin gemiler tarafından işletme veya kaza nedeniyle kirlenmesinin önlenmesini amaçlayan uluslararası temel antlaşmadır. Ağır akaryakıtların yanması sonucu oluşan SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasına ilişkin mevzuat yürürlüğe girmiştir. Bu, 1997'de kabul edilen ve 29 Mayıs 2005'te yürürlüğe giren MARPOL Ek VI "Gemilerden Hava Kirliliğinin Önlenmesi için Yönetmelikler" 1'in bir konusudur. IMO'nun denizyolu ulaşımında gemilerden kaynaklanan hava kirliliğini azaltmaya ilişkin düzenlemesinde bazı sınır değerler belirlenmiştir. İlk olarak, MARPOL Ek VI standartları motor hızına göre değişen NO<sub>x</sub> emisyonları için sınırlar koymuştur. O günden bu

yana MARPOL Ek VI, % 4,5 kükürtlü bir küresel sınır getirmektedir. Gemi yakıtında izin verilen en yüksek kükürt içeriği küresel olarak azalacaktır; 1 Ocak 2012'den itibaren yeni sınır % 3,5 ve 1 Ocak 2020'den itibaren yeni sınır % 0,5 olması planlanmıştır [10]. MARPOL Ek VI'ya göre, denizcilikte kullanılan yakıtın kükürt içeriği % 4.5'la sınırlandırılmaktadır. İlave olarak kükürt içeriğinin % 1,5dan fazla olamayacağı "SO<sub>x</sub> Emisyonu Kontrol Alanlarını" tanımlar. Ekim 2008'de MARPOL'un revize edilmiş Ek VI'sı ve revize NO<sub>x</sub> Teknik Kanununu onaylanmıştır. Yeni revizyon, önceki eke kıyasla NO<sub>x</sub> ve kükürt sınırlarını önemli ölçüde daraltmakta ve ayrıca 1 Ocak 1990'dan 1 Ocak 2000'e kadar inşa edilen gemilerden NO<sub>x</sub> emisyonlarını yöneten gereksinimleri de içermektedir.

### **3.3. ECA ve SECA Bölgeleri (Emisyon Kontrol Alanı, Kükürt Emisyon Kontrol Alanı)**

2012 yılında IMO, gemi emisyon kapakları uygulayarak NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ve partikül maddeyi belirlenmiş alanlarda en aza indirmek için emisyon kontrol alanlarını tanıtmıştır. Emisyon Kontrol Alanlarında veya ECAS'ta daha sıkı gerekliliklere sahip küresel sınırlar vardır, şu anda IMO tarafından belirlenen dört ECAS bulunmaktadır. Ek VI Protokolünde yeralan Regülasyon 14-SO<sub>x</sub> (Kükürt Oksit)'e göre Ek VI'ya taraf devletler, sahip oldukları deniz alanlarında çevre ve insan sağlığını korumak amacıyla gemi kaynaklı hava kirliliğini azaltmaya yönelik özel alanlar ilan etme konusunda yetkilendirilmişlerdir. Bu alanlar genel olarak emisyon türüne göre "Kükürt Emisyon Kontrol Alanı" (SECA) veya NO<sub>x</sub> ve PM dahil olmak üzere "Emisyon Kontrol Alanı" (ECA) olarak isimlendirilmektedirler. Ek VI Protokolünde yeralan Regülasyon-NO<sub>x</sub>'e göre; dizel makinelerden NO<sub>x</sub> çıkışı, sınırları aştığı takdirde bu makinelerin çalıştırılması yasaklanmıştır. Günümüzde (ECA) ilan edilen özel alanlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Baltık Denizi Bölgesi-(SO<sub>x</sub>);
2. Kuzey Denizi Bölgesi-(SO<sub>x</sub>);
3. Kuzey Amerika Bölgesi-(SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM);
4. Karayip Denizi Bölgesi-(SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM);

Bazı bölgelerde temiz yakıt kullanılması belli bir takvim dahilinde şart koşularak, bu yolla SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> salınımlarının azaltılması hedeflenmektedir.

### **3.4 EPA (Amerika Birleşik Devletleri Koruma Ajansı)**

EPA, hızla artan uluslararası ticaretin çevresel etkilerini azaltmak için uluslararası olarak çalışmaktadır. ABD ve yurtdışındaki EPA, sanayi ve diğer kuruluşlar, deniz taşımacılığı e havacılıktan kaynaklanan iç emisyonları azaltmak için birçok yasal ve gönüllü işler gerçekleştirmektedir. Bu girişimler sayesinde yurt içinde ve dışında bazı emisyonların azaltılması sağlanmıştır. Bununla birlikte bu ulaştırma türlerinin doğası gereği (büyük ölçüde ulusal sınırların dışında faaliyet göstermektedir), tek başına yurtiçi eylemler bu sektörlerin enerji tüketimini veya emisyonlarını kontrol etmekte zorlanmaktadır.

Uluslararası alanda çalışan ABD ve diğer ülkeler, IMO'nun Gemilerden Kaynaklanan Kirliliği Önleme Uluslararası Sözleşmesi'nin (MARPOL) Ek VI'sı uyarınca sıkı deniz yakıt kalitesi ve motor emisyon standartları oluşturmuştur. Birleşmiş Milletler sistemi içindeki denizcilik işleri için uzmanlaşmış ajans olan IMO aracılığıyla hareket ederek, uluslararası ticaret modellerindeki bozulmalardan kaçınırken, deniz emisyonlarında önemli derecede azalmalar sağlamıştır [11].

Limanlarda sadece ilk yapılanma ve büyüme aşamasında değil, rutin işlemler sırasında da yerleşim alanlarını ve çevreyi koruyucu önlemler almak zorunludur.



Şekil. Barselona Limanı

Limanların alanlarını yenileme ya da geliştirme çalışmalarını fırsat bilmeli ve temiz yakıt, ekipman gibi emisyon azaltma kriterleri hayata geçirilmelidir.

#### 4. Sonuçlar

Dünyada hareketlilik arttıkça, deniz taşımacılığının payı da artmaktadır. Buna paralel olarak da hava kirliliğinde artış olmaktadır. Limanların ve denizyolu taşıtlarının tüm faaliyetlerinin ayrı ayrı ele alınarak, kirletici özellik ve miktarlarının belirlenmesi, çevresel risklerini tayin etmek ve gereken önlemleri almak açısından oldukça önemlidir. Liman alanı içerisinde, seyir sırasında ve hotelling aşamasında gemilerin ve varsa liman sahasında bulunan endüstri kuruluşunun ayrı ayrı detaylı çevresel etkileri değerlendirilmeli, kirletici kaynakları kontrol edilmeli, gereken atık azaltıcı ve önleyici düzenlemeler yapılmalı, oluşan atıkların arıtma teknolojileri ile giderilmesi ve nihai atıkların dönüşümü veya imhası sağlanmalıdır. Deniz ulaşımı kaynaklı hava kirliliğini oluşturan emisyonları azaltmak için uluslar arası anlaşmalar ve yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Böylece daha düşük sınır değerler ortaya konularak, gemi kaynaklı kirlilik azaltılmaya çalışılmaktadır.

#### KAYNAKÇA

- [1]Tan, Z. (2016), *Air Pollution And Greenhouse Gases: From Basic Concepts To Engineering Applications For Air Emission Control*. Singapore: Springer.
- [2]Han, C. (2010). *Strategies to Reduce Air Pollution in Shipping Industry*.
- [3]OCEANA (2016). *Needless Cruise Pollution: Passengers Want Sewage Dumping Stopped*.
- [4]*Shipping's Impact On Air Quality* (2020) Retrieved from <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/shipping-and-environment/shipping's-impact-air-quality>
- [5]Mueller, D., Uibel, S., Takemura, M., Klingelhofer, D., & Groneberg, D. A. (2011). *Ships, Ports And Particulate Air Pollution - An Analysis Of Recent Studies*.



- [6]OCEANA (2018). *Shipping Pollution*, Retrieved from <https://eu.oceana.org/en/shipping-pollution-1>
- [7]Bailey, D., & Solomon, G. (2004). *Pollution Prevention at Ports: Clearing the Air*. San Francisco, USA.
- [8]Komar, I., & Lalić, B. (2015). *Sea Transport Air Pollution*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/books/current-air-quality-issues/sea-transport-air-pollution>
- [9]Vidal, J. (2009). *Health Risks of Shipping Pollution Have Been 'Underestimated'*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/environment/2009/apr/09/shipping-pollution>
- [10]Burgen, S. (2019). *Barcelona Port Is Worst In Europe For Cruise Ship Air Pollution*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/cities/2019/jun/07/barcelona-port-is-worst-in-europe-for-cruise-ship-air-pollution>.
- [11]Ecohustler, T., & Mellen, M. (2019). *One Corporation To Pollute Them All*. Retrieved from <https://ecohustler.com/article/one-corporation-to-pollute-them-all/>



## Altgeçit/Üstgeçit Kullanımının Yaya Alışkanlıkları Açısından Değerlendirilmesi

### Evaluation of Underpass / Overpass Use in Terms of Pedestrian Habits

Halil İbrahim YUMRUTAŞ<sup>1</sup>, Şeyda ÇINAR SARISOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Karabük, Türkiye, iyumrutas@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Karabük, Türkiye, scsarisoy@karabuk.edu.tr

**Özet** - İnsanoğlu var olduğu günden beri çeşitli ihtiyaçları doğrultusunda bir yerden bir yere ulaşabilmek için döneme uygun malzemelerle ve yapım teknikleri ile köprü denilen yapılar inşa etmişlerdir. Önceleri araçlar için ve yayalar için aynı köprüler kullanılırken daha sonra taşıt sayısının artışı ve yayaların güvenliği açısından köprüler, araç ve yaya köprüsü olarak ayrılmışlardır. Trafik şehir merkezlerine doğru artmasından dolayı yayaların güvenli bir şekilde karşıdan karşıya geçişlerinin sağlanması ve trafik akışının kesilmemesi amacıyla yaya köprüleri de üstgeçit ve altgeçitler olarak inşa edilmiştir. Yaya geçitlerinin inşasında ahşap, betonarme, çelik veya kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Ancak günümüzde daha spesifik bir amaç doğrultusunda inşa edilecek olan yaya üst/altgeçitlerinden hangisinin tercih edilmesi gerektiği hususunda çeşitli belirsizlikler bulunmaktadır. Bu çalışmada Karabük-Safranbolu bölgesinde yer alan yaya üst ve altgeçitlerinin envanteri oluşturulmuş, çelik ve betonarme olarak inşa edilmiş iki farklı üstgeçit ile betonarme bir altgeçit seçilerek kullanıcılar nezdinde mukayese yapılmıştır. Bunun için 3 farklı lokasyonda her biri 100'er kişi olmak üzere toplamda 300 kişiyle yüz yüze anket çalışmaları gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar SPSS (statistical package for social sciences) yazılımı vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Anket çalışmaları ve yerinde gözlemler ile kullanıcılar tarafından ortaya konulan güvenlik, kullanım kolaylığı/konfor, zaman tasarrufu, altgeçit/üstgeçit tercihi, estetiklik gibi hususlarda avantaj ve dezavantajları tablo ve grafikler eşliğinde ortaya konulmuştur. Ülkemizde altgeçit/üstgeçitlerin imalatında yeterli düzeyde standart, tasarım ve güvenlik kriteri bulunmamakta olup çalışmanın yetkili mercilerin karar verme süreçlerinde yararlanabileceği bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Köprü, üstgeçit, altgeçit, menfez, SPSS.

**Abstract** - Humankind has built structures called bridges with materials and construction techniques appropriate to the period in order to reach from a place to another place to meet various needs since its existence. Previously, the same bridges were used for vehicles and pedestrians, but then bridges were separated for vehicles and pedestrians due to the increase in the number of vehicles in terms of safety. Pedestrian bridges were also built as overpasses and underpasses in order to ensure that pedestrians cross the street safely due to the increase in traffic towards the city centers. Generally concrete, stone, steel, and wooden materials are used in the construction of pedestrian over/underpasses. However, there has still been an uncertainty when preferring the construction of over or underpass. In this study, an inventory of pedestrian overpasses and underpasses in Karabük-Safranbolu region was presented in the light of various parameters. Two kind of overpasses

(constructed as steel and reinforced concrete) and an underpass were selected, and compared in the light of users opinion. In this regard, face-to-face surveys were carried out with 300 people in 3 different over/underpass locations, and the results were evaluated through SPSS (statistical package for social sciences) software. The advantages and disadvantages of over/underpasses in terms of safety, ease of use/comfort, saving of time, user preference, aesthetic, construction period are revealed by means of the survey studies, data collected by General Directorate of Highways (KGM) and on-site observations, and then presented with tables and graphics. There hasn't been any standard, regulation, code or design and safety criteria for the construction of underpasses/overpasses in our country and it is thought that this study will contribute to decision making process of related authorities such as municipalities, general directorate of highways etc.

**Keywords:** *Bridge, overpass, underpass, culvert, SPSS.*

## 1. Giriş

Köprü genel olarak bir dere, nehir veya bir vadi üzerinden geçmek için yani aşılması zor doğal engelleri aşmak için ya da karayolu, demiryolu vb. engelleri geçmek için inşa edilmiş yapılardır. Ahşap, kâgir, betonarme çelik ayaklar veya kemerler üzerine yapılan bir yoldur. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik şartnamesine göre ise; köprü, hesap açıklığı 10 m ve üzeri akarsu, vadi, karayolu, demiryolu gibi engelleri geçmek amacıyla kullanılan karayolu yapısıdır [1]. Sadece yayaların karşıdan karşıya geçmelerine olanak veren yapılara ise yaya köprüsü ya da yaya geçiti denir. Yaya köprüleri de (geçitleri) yaya üstgeçiti ve yaya altgeçiti olarak ikiye ayrılır.

Trafik denilince akla ilk önce araçlar gelmektedir. Fakat trafik yayaların, hayvanların ve araçların karayolu üzerindeki hal ve hareketleri olarak tanımlanmıştır. Ülkemiz ve dünya genelindeki istatistikler incelendiğinde trafik kazalarının başlıca ölüm sebepleri arasında olduğu bilinmektedir. Trafik kazalarına ait detaylı analizler yapıldığında ise araç ve yaya etkileşimi sebebiyle ortaya çıkan yaralanma ve ölüm olaylarının oldukça önemli bir rol teşkil ettiği görülmektedir. Çizelge 1'de görüleceği üzere TUIK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre ülkemizdeki trafik kazalarının yaklaşık %10 u yaya kaynaklı olmaktadır [2].

Buradan hareketle, yaya-arac etkileşiminin dikkate alınması gereken ve üzerinde tartışılarak çözüm üretilmesi gereken bir husus olduğu aşikardır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentsel alanlarda toplanan yüksek nüfus, hızlı modernleşme ve kentleşme, hem araç sürücüleri hem de yayaların trafik kurallarına riayet derecelerinin düşüklüğü gibi sebeplerle bu problem giderek daha da önemli hale gelmektedir. Sürdürülebilir ulaşım hareketinin önemli bir parçası olan ve trafikte her zaman yüksek risk altında bulunan, korunmasız yol kullanıcıları olan yayaları korumak için üstgeçitler/altgeçitler kent yaşamının vazgeçilmezleri arasındadır.

Mutto, M. vd. (2002) çalışmalarında belirli bir lokasyonda yaya üstgeçiti yapılmadan önceki ve sonraki durumu karşılaştırmışlardır. Trafiğin yoğun olduğu ve yoğun olmadığı saatlerde 123 yaya ile anket çalışması yapılmış ve bu yayalara güvenlik, kullanılabilirlik vb. sorular sorulmuştur. Yayaların çoğunluğu üstgeçitlerin fazla merdivenli oluşları, yetersiz aydınlatma, üstgeçitleri çocukların oyun alanına çevirmeleri ve reklam panolarının konulmasından kaynaklı görüntü kirliliği gibi rahatsızlıklarını dile getirmişlerdir. Netice olarak üstgeçit inşasının sadece bir mühendislik çözümü olduğu, esas çözümün ise kullanıcıların (yayaların) üstgeçit kullanımı konusunda bilinçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır [3].

**Cizelge 1.** Trafik kazalarına neden olan kusurlar (TUİK).

Trafik kazalarına neden olan kusurlar											
Faults causing road traffic accidents											
Kusurlar - Faults											
Yıl	Toplam	Sürücü	Toplam kusura	Yolcu	Toplam kusura	Yaya	Toplam kusura	Yol	Toplam kusura	Araç	Toplam kusura
		kusuru	oranı (%)	kusuru	oranı (%)	kusuru	oranı (%)	kusuru	oranı (%)	kusuru	oranı (%)
Year	Total	Driver faults	Ratio to total faults	Passengers faults	Ratio to total faults	Pedestrian faults	Ratio to total faults	Road defects	Ratio to total faults	Vehicle defects	Ratio to total faults
2002	538 346	521 227	96.82	1 254	0.23	12 867	2.39	1 332	0.25	1 666	0.31
2003	568 364	551 467	97.03	882	0.16	13 208	2.32	1 255	0.22	1 552	0.27
2004	640 906	623 578	97.30	710	0.11	13 987	2.18	1 216	0.19	1 415	0.22
2005	730 623	711 572	97.39	769	0.11	14 882	2.04	1 603	0.22	1 797	0.25
2006	851 150	834 681	98.07	739	0.09	13 789	1.62	1 100	0.13	841	0.10
2007	922 004	903 860	98.03	795	0.09	15 086	1.64	994	0.11	1 269	0.14
2008	167 231	151 386	90.53	713	0.43	13 995	8.37	698	0.42	439	0.26
2009	155 982	139 758	89.60	640	0.41	14 181	9.09	958	0.61	445	0.29
2010	157 970	141 728	89.72	564	0.39	14 171	9.86	992	0.69	515	0.36
2011	174 605	157 494	90.20	677	0.39	14 860	8.51	1 044	0.60	530	0.30
2012	181 266	161 076	88.86	797	0.44	17 672	9.75	1 124	0.62	597	0.33
2013	183 030	162 327	88.69	774	0.42	16 458	8.99	1 913	1.05	1 558	0.85
2014	193 215	171 236	88.62	901	0.47	18 115	9.38	1 841	0.95	1 122	0.58
2015	210 498	187 980	89.30	915	0.43	18 522	8.80	1 916	0.91	1 165	0.55
2016	213 149	190 954	89.59	869	0.41	18 612	8.73	1 717	0.81	997	0.47
2017	213 325	191 717	89.87	782	0.37	18 095	8.48	1 619	0.70	1 112	0.52
2018	217 898	194 928	89.46	1 916	0.88	18 394	8.44	1 300	0.60	1 360	0.62

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Jandarma Genel Komutanlığı  
Source: General Directorate of Public Security and General Command of Gendarmerie

Jandarma ve trafik polisi sorumluluk bölgesindeki kazaları kapsar  
Includes road traffic accidents in responsibility area of traffic police and gendarmerie

2008 yılından itibaren sadece ölümlü yaralanmalı kazalara ait kusur bilgileri verilmiştir.  
Since year 2008 the detail of faults causing road traffic accidents is given only for accidents involving death and personal injury.

Mahdavinejad, M. vd. (2012) çalışmalarında yaya alt geçitlerini sağlık ve psikolojik açıdan değerlendirmiş, yapılan anket çalışmaları ile de birtakım sonuçlar ortaya koymuşlardır [4]. Wu, Y. vd. (2014) çalışmalarında yayaların üstgeçitleri tercih etmelerinde etkili faktörleri incelemişlerdir. Bu doğrultuda 1131 kişi ile anket çalışması gerçekleştirmişler ve üstgeçitlerin tercihinde sekiz ana etkenin (cinsiyet, yaş, kariyer, eğitim düzeyi, ehliyet sahipliği, geçiş süresi, başka bir alternatif yolun varlığı ve mesafesi) rol aldığını ortaya koymuşlardır [5]. Önelçin ve Alver (2018) çalışmalarında üstgeçit bölgelerinde kuraldışı geçiş yapan yaya davranışlarını ve yürüyen merdivenin üstgeçitlerin kullanım oranına etkisini incelemişler, yaya üstgeçitlerinde yürüyen merdivenlerin artırılması ve düzenli bakım/onarım yapılması gerektiği, yayaların üstgeçitleri kullanmaksızın karşıya geçmelerini önlemek amacıyla refüjlere bariyerler konulması gerektiği, hepsinden öte yayaların bilinçlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır [6].

Bu çalışmada Karabük-Safranbolu bölgesinde yer alan iki üstgeçit (biri çelik, diğeri betonarme prefabrik) ve bir altgeçit seçilerek Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilen veriler ve yerinde yapılan anket çalışmaları ile estetiklik, güvenlik, kullanım kolaylığı/konfor, altgeçit/üstgeçit tercihi, zaman tasarrufu, inşaat süresi gibi hususlarda birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Ülkemizde altgeçit/üstgeçitlerin imalatında yeterli düzeyde standart veya kriter bulunmamaktadır. Sadece TS 12576 standardı ile "Şehir içi yollar-kaldırım ve yaya geçitlerinde ulaşılabilirlik için yapısal önlemler ve işaretlemelerin tasarım kuralları" ortaya konulmuştur. Ancak bu standart altgeçit veya üstgeçit tercihi noktasında yeterli olmamakta sadece tüm potansiyel kullanıcıların ulaşılabilirliğinin efektif olarak sağlanabilmesine yönelik birtakım öneriler sunulmaktadır.

Bu Çalışmanın yetkili mercilerin karar alma süreçlerinde yararlanabileceği bir kaynak olacağı ve bu bağlamda bir boşluğu dolduracağı düşünülmele birlikte daha etkili bir karar mekanizması geliştirilebilmesi için bir standart kılavuz hazırlanması gerekmektedir.



## **2. Kentiçi Yaya Köprüleri (Üstgeçitler) ve Altgeçitler**

Yaya köprüleri; çeşitli malzemeler ile (ahşap, taş, betonarme, metal, kompozit), farklı yapım teknikleri ile (kiriş, kemer, konsol, asma), konumları açısından farklı amaçlar doğrultusunda (karayolu, demiryolu, akarsu üstgeçitleri) ve erişim imkanları bakımından farklı hizmet türlerinde (merdivenli, rampalı, merdivenli asansörlü, merdivenli rampalı ve yürüyen merdivenli) tasarlanabilirler. Şekil 1’de birtakım yaya üstgeçitleri örnekleri sunulmuştur. Altgeçit ise; karayolunun diğer bir karayolunun veya demiryolunun altından geçmesini sağlayan yapıdır [7]. Bir başka tanıma göre ise; yayaların bir başka yolun altından geçmelerini temin eden yürüyüş yoludur [8]. Bazı durumlarda hidrolojik açıdan tasarlanan mühendislik yapıları olan menfezler aynı zamanda altgeçit işlevi de görmekte olup bazı durumlarda sadece yaya veya araçlar için özel olarak tasarlanmaktadır. Betonarme prefabrik kutu (box) olarak imal edilebildiği gibi yerinde dökme betonarme olarak da imal edilebilmektedirler. Şekil 2’de birtakım yaya altgeçitleri örnekleri sunulmuştur.



**Şekil 1.** Yaya üstgeçit örnekleri

### **2.1. Karabük-Safranbolu Bölgesi Yaya Üst/altgeçitleri**

Karabük –Safranbolu yolu, Karayolları Genel Müdürlüğü 15. Bölge sorumluluğunda bulunan 2x3 bölünmüş, ana arter bir yoldur. Karabük ilinin nüfusu 248.014’dür. Safranbolu ilçesinin nüfusu ise 67.042’dir. Karabük ilinde (ilçeler dahil) trafiğe kayıtlı araç sayısı ise 66.565’dir [9,10]. Karabük Safranbolu bölgesinde Karabük Kardemir kavşağından başlayıp Safranbolu otogarına kadar devam eden aralıktaki alt/üst geçitlerin konumları Şekil 3’de uydu görüntüsü üzerinde verilmiş olup aşağıda liste halinde sunulmuştur. Buna göre;

- 1- Karabük Otogarı önü üstgeçiti
- 2- Emniyet önü (Balıklar Kayası Mevkii) yaya üst geçidi (LOKASYON 1)
- 3- Fen Lisesi Okullar bölgesi yaya üstgeçiti
- 4- Kireç Ocağı Mevki yaya üstgeçiti
- 5- Safranbolu Otogarı önü yaya üstgeçiti

6- Jandarma önü yaya üstgeçiti (LOKASYON 2)

7- Ulusoylar önü yaya altgeçiti (LOKASYON 3)

Çalışma kapsamında söz konusu bölgede 3 farklı lokasyonda 1 adet çelik kirişli üstgeçit (Emniyet önü), 1 adet betonarme prefabrik kirişli üstgeçit (Jandarma önü) ve 1 adet yerinde dökme betonarme altgeçit (Ulusoylar önü) seçilerek çeşitli mukayeseler gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. Yaya altgeçit örnekleri



Şekil 3. Karabük-Safranbolu yaya alt/üstgeçit uydu görüntüsü

### **2.1.1. Emniyet önü yaya üstgeçiti (Lokasyon 1)**

2013-2014 yılları arasında, Karabük-Safranbolu bölünmüş yolunun 3+750 km'sinde Karabük Balıklar kayası mevki Emniyet Müdürlüğü bölgesine inşa edilen, 40,00 m açıklığında, asansörlü ve merdivenli olarak yapılmış çelik kirişli yaya üstgeçitidir. Asansör boşluğu olmasına rağmen asansör bulunmamaktadır. Şekil 4.'de uydu fotoğrafı ve yersel fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4. Emniyet önü yaya üstgeçiti uydu fotoğrafı ve yersel fotoğrafı

### **2.1.2. Jandarma önü yaya üstgeçiti (Lokasyon 2)**

2011 yılında Karabük-Kastamonu bölünmüş yolunun 4+500 km'sinde 35,10 m açıklığında, betonarme prefabrik kirişli olarak inşa edilmiş yaya üstgeçitidir. Şekil 5.'de uydu fotoğrafı ve yersel fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 5. Jandarma önü yaya üstgeçiti uydu fotoğrafı ve yersel fotoğrafı

### **2.1.3. Ulusoylar önü yaya altgeçiti (Lokasyon 3)**

2010 yılında Kastamonu-Karabük bölünmüş yolunun 100+765 km'sinde 4,00x3,00 m kesitinde ve 25,00 m boyunda, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilmiş yaya altgeçitidir. Şekil 6'da uydu fotoğrafı üzerinde altgeçitin bulunduğu nokta ve yersel fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6. Ulusoylar önü yaya altgeçiti uydu fotoğrafı ve yersel fotoğrafları

### 3. Yaya Alt/Üstgeçit Mukayesesi

Herhangi bir bölgede ihtiyaç ortaya çıkması durumunda yaya üstgeçiti veya altgeçitinden hangisinin tercih edilmesi gerektiği karar vericiler açısından bir sorun oluşturmaktadır. Her iki türün de birtakım parametreler (güvenlik, kapasite, zaman tasarrufu, maliyet, estetiklik, arazi topografyası, kamulaştırma, yerel talepler, geçit yapılması düşünülen yörenin tarihi, kültürel ve turistik nitelikleri, kamunun gereksinimleri vb.) açısından birbirlerine karşı birtakım avantaj ve dezavantajları bulunmakta olup bu bölümde kullanıcılar nezdinde bir mukayese yapılmakta ve yetkili mercilerin karar verme aşamalarına katkı sunulması hedeflenmektedir. Bu kapsamda söz konusu bölgede 3 farklı lokasyonda seçilen 3 farklı türdeki alt/üstgeçit mukayesesi gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Anket çalışması

Çalışma kapsamında Şekil 3’de uydu fotoğrafı üzerinde belirtilen 3 farklı lokasyonda (emniyet önü üstgeçiti, jandarma önü üstgeçiti, ulusoylar önü altgeçiti), pik saatlerde ve her biri 100’er kişi olmak üzere toplamda 300 kişiyle yüz yüze anket çalışması gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar SPSS (statistical package for social sciences) yazılımı vasıtasıyla değerlendirilmiş, tablo ve grafikler eşliğinde sonuçlar ortaya konulmuştur.

##### 3.1.1. Emniyet önü yaya üstgeçiti (Lokasyon 1)

Emniyet müdürlüğünün bulunduğu bölgede Karabük-Safranbolu bölünmüş yolunun 3+750 km’inde inşa edilen çelik yaya üstgeçitinde 100 kişiye çeşitli sorular sorularak anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışması sonucunda elde edilen bilgiler, SPSS yazılımı kullanılarak istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Bu lokasyonda ankete katılan 100 kişiden 44’ü erkek 56’sı ise kadındır.

##### ▪ Üstgeçit kullanma sıklığı



Şekil 7. Üstgeçit kullanma sıklıkları

Yapılan gözlemlerde 81 kişi üstgeçiti kullanmıştır. Üstgeçiti kullananların cinsiyete ve yaş dağılımına göre ne sıklıkla kullandıkları tespit edilmiştir. Buna göre 31 kişi her zaman, 11 kişi sıklıkla, 21 kişi ara sıra ve 18 kişi nadiren üstgeçiti kullandıklarını beyan etmiş olup üstgeçiti kullanma sıklıkları Şekil 7’de, eğitim durumlarına göre dağılımı ise Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Üstgeçiti kullanımının eğitim durumuna göre dağılımı.

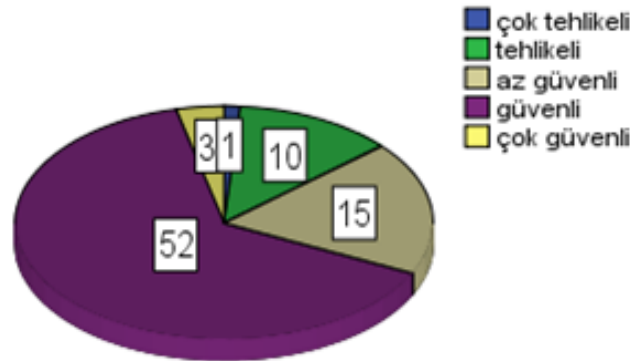
	Eğitim durumu				Toplam
	ilköğretim	ortaöğretim	üniversite	lisansüstü	
Üstgeçit nadiren	1	2	15	0	18
arasıra	5	0	15	1	21
sıklıkla	2	1	7	1	11
herzaman	0	2	27	2	31
Toplam	8	5	64	4	81

Buna göre; 31 kişi üstgeçiti her zaman, 11 kişi de sıklıkla tercih etmekte olup geri kalan 58 kişi ya hiç kullanmamakta ya da ara sıra/nadiren kullanmaktadır yani üstgeçit kullanmama oranı üstgeçit kullanma oranından daha fazladır.

Eğitim durumunun üstgeçiti kullanma açısından önemli olduğu, eğitim seviyesinin artışına paralel olarak bilinçlenmenin arttığı ve kural dışı geçişin azaldığını Çizelge 2’ye göre söyleyebiliriz.

Ayrıca kural dışı geçiş yapan 19 kişiye kural dışı geçişi ne sıklıkla yaptıkları sorulmuş ve 8 kişi her zaman, 4 kişi sıklıkla, 5 kişi ara sıra ve 2 kişi ise nadiren kural dışı geçiş yaptıklarını beyan etmişlerdir.

#### Üstgeçit güvenliği



Şekil 8. Üstgeçitten yapılan geçişin güvenlik açısından değerlendirilmesi.

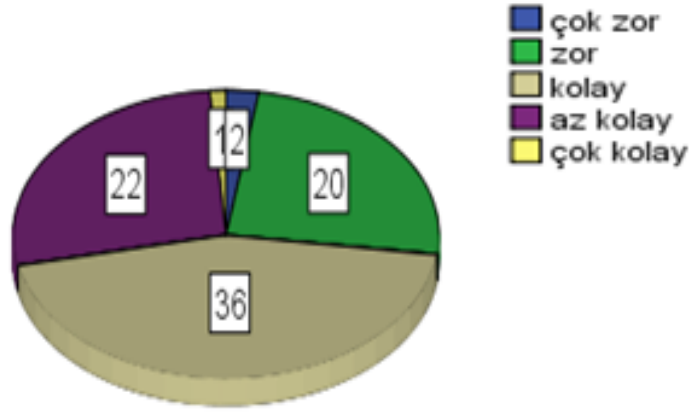
Üstgeçiti kullanan yayalardan, yapılan geçişin altgeçite nazaran güvenlik açısından değerlendirilmeleri istenmiştir. 3 kişi çok güvenli, 52 kişi güvenli, 15 kişi az güvenli, 10 kişi tehlikeli, 1 kişi çok tehlikeli cevabını vermiş olup Şekil 8’de pasta grafik ile gösterilmiştir.

Kural dışı geçiş yapan yayalardan yapılan geçişin güvenlik açısından değerlendirilmeleri istendiğinde, 2 kişi güvenli, 3 kişi az güvenli, 11 kişi tehlikeli, 3 kişi çok tehlikeli cevabını vermiştir.

Buna göre genel kanı; üstgeçitlerden geçişin güvenli olduğunun, kural dışı geçişlerin ise tehlikeli olduğunun bilindiği yönündedir.

#### ▪ **Kullanım kolaylığı/konfor**

Üstgeçiti kullanan yayalardan, yapılan geçişin kullanım kolaylığı/konfor açısından değerlendirilmesi istenmiştir. 2 kişi çok zor, 20 kişi zor, 22 kişi az kolay, 36 kişi kolay, 1 kişi çok kolay olduğunu söylemiş olup Şekil 9’da pasta grafik ile sunulmuştur.



Şekil 9. Üstgeçidin kullanım kolaylığı.

Kural dışı geçiş yapan yayalara, yapılan geçişin kullanım kolaylığı/konfor açısından değerlendirilmesi istenmiş, 4 kişi zor, 10 kişi kolay, 2 kişi az kolay, 3 kişi çok kolay olduğunu söylemiştir. Buna göre; genel eğilim üstgeçit kullanımının kolay/konforlu olduğu yönündedir.

#### ▪ **Üstgeçit/altgeçit tercihi**



Şekil 10. Üstgeçit yerine altgeçit olması tercihi

Üstgeçidi kullanan yayalara yöneltilen “Burada üstgeçit yerine altgeçit olsaydı tercih eder miydiniz?” sorusuna 66 kişi evet, 25 kişi hayır yanıtını verirken 9 kişi ise fikrinin olmadığını söylemiş olup Şekil 10’da pasta grafik olarak görülmektedir.

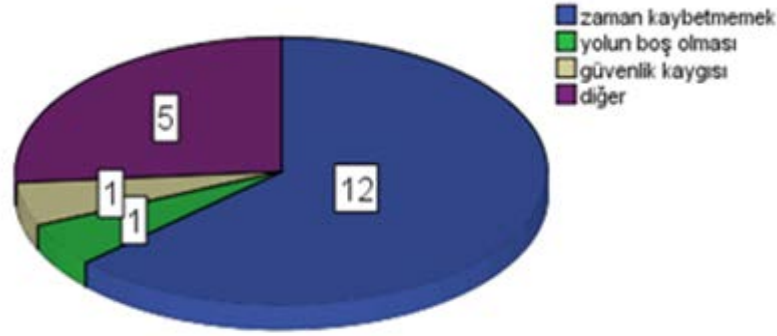
Evet cevabı verenlerin büyük çoğunluğunun altgeçit tercih etmesinin sebepleri genel olarak üstgeçitte merdiven basamak sayının çok fazla olması, merdiven inip çıkmanın zor olması ve asansör veya yürüyen merdiven bulunmamasıdır. Hayır cevabı verenler ise altgeçidin üstgeçide göre güvenlik açısından tehlikeli olması, altgeçitlerde ışıklandırmanın yetersiz ya da bozuk olması gibi sebepler

sunmuşlardır. Buradan hareketle üstgeçitlerin genel olarak enerji kaybı veya yorulmaya (üşengeçlik) bağlı, altgeçitlerin ise güvenlik kaygıları sebebiyle tercih edilmediği söylenebilir.

#### ▪ Kural dışı geçiş nedenleri

Kural dışı geçiş yapan 19 yayaya neden bu geçişi tercih ettikleri sorulduğunda 12 kişi zaman kaybetmemek, 1 kişi güvenlik kaygısı, 1 kişi yolun boş olmasını neden gösterirken 5 kişi ise diğer sebeplerden dolayı kural dışı geçiş yaptığını söylemiş olup Şekil 11’de pasta grafik olarak görülmektedir.

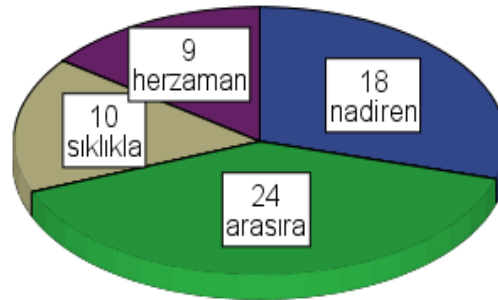
Elde edilen neticeler yukarıda da ifade edildiği üzere, üstgeçitlerin genel olarak enerji kaybı veya yorulmaya (üşengeçlik) bağlı olarak tercih edilmediğini ayrıca zaman kaybı olarak görüldüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 11. Kural dışı geçiş nedenleri.

#### 3.1.2. Jandarma önü yaya üstgeçiti (Lokasyon 2)

100.yıl mahallesinde jandarma önünde Kastamonu-Karabük bölünmüş yolunun 4+500 km’inde inşa edilen prefabrik yaya üstgeçitinde 100 kişiye çeşitli sorular sorularak anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışması sonucunda elde edilen bilgiler, SPSS yazılımı kullanılarak istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Bu lokasyonda ankete katılan 100 kişiden 58’i erkek 42’si ise kadındır.



Şekil 12. Üstgeçiti kullanma sıklıkları.

Yapılan gözlemlerde 61 kişi üstgeçidi kullanmıştır. Üstgeçiti kullananların cinsiyete ve yaş dağılımına göre ne sıklıkla kullandıkları tespit edilmiştir. 9 kişi her zaman, 10 kişi sıklıkla, 24 kişi ara sıra ve 18 kişi nadiren üstgeçiti kullandıklarını beyan etmiş olup üstgeçiti kullanma sıklıkları Şekil 12’de, eğitim durumlarına göre dağılımı ise Çizelge 3’de sunulmuştur.

Buna göre; 9 kişi üstgeçiti her zaman, 10 kişi de sıklıkla tercih etmekte olup geri kalan 81 kişi ise ya hiç kullanmamakta ya da ara sıra/nadiren kullanmaktadır yani üstgeçit kullanmama oranının bir hayli yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

Eğitim durumunun üstgeçiti kullanma açısından önemli olduğu, eğitim seviyesinin artışına paralel olarak bilinçlenmenin arttığı ve kural dışı geçişin azaldığı düşünülmektedir ancak bu lokasyonda gerçekleştirilen anket çalışmasında Çizelge 3'e göre üstgeçiti kullanan deneklerin neredeyse tamamına yakınının eğitim durumunun üniversite seviyesinde olması sebebiyle mukayese yapmak doğru olmayacaktır.

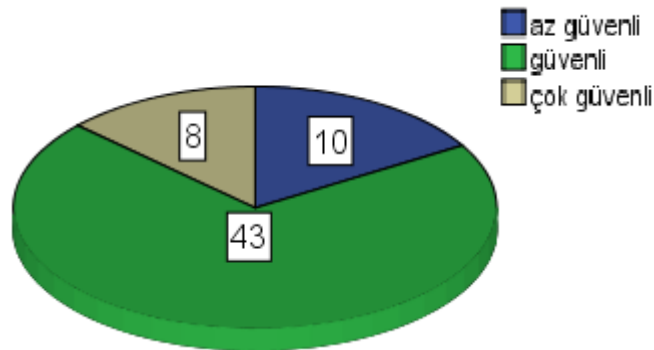
Çizelge 3. Üstgeçit kullanımının eğitim durumuna göre dağılımı.

	Eğitim durumu			Total
	ilköğretim	ortaöğretim	üniversite	
Üstgeçit nadiren	0	0	18	18
arasıra	1	0	23	24
sıklıkla	0	0	10	10
herzaman	0	1	8	9
Total	1	1	59	61

Ayrıca kural dışı geçiş yapan 39 kişiye kural dışı geçişi ne sıklıkla yaptıkları sorulmuş ve 20 kişi her zaman, 8 kişi sıklıkla, 8 kişi ara sıra ve 3 kişi ise nadiren kural dışı geçiş yaptıklarını beyan etmişlerdir.

#### Üstgeçit güvenliği

Üstgeçiti kullanan yayalardan, yapılan geçişin altgeçite nazaran güvenlik açısından değerlendirilmeleri istenmiştir. 8 kişi çok güvenli, 43 kişi güvenli, 10 kişi az güvenli, cevabını vermiş olup Şekil 13'de pasta grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 13. Üstgeçitten yapılan geçişin güvenlik açısından değerlendirilmesi.

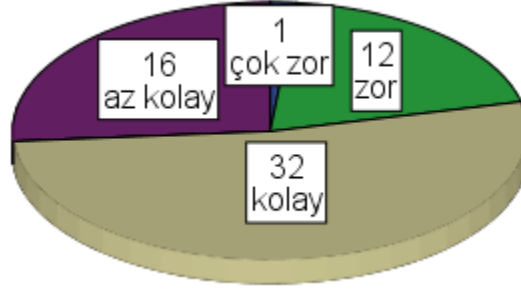
Kural dışı geçiş yapan yayalardan yapılan geçişin güvenlik açısından değerlendirilmeleri istendiğinde, 4 kişi güvenli, 11 kişi az güvenli, 20 kişi tehlikeli, 4 kişi çok tehlikeli cevabını vermiştir.



Buna göre genel kanı; üstgeçitlerden geçişin güvenli olduğunun, kural dışı geçişlerin ise tehlikeli olduğunun bilindiği yönündedir.

#### ▪ *Kullanım kolaylığı/konfor*

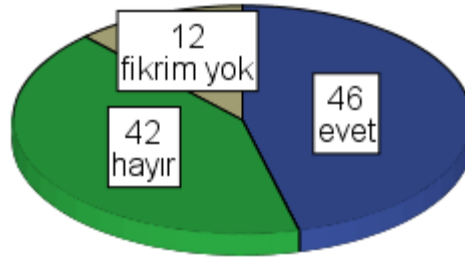
Üstgeçiti kullanan yayalardan, yapılan geçişin kullanım kolaylığı/konfor açısından değerlendirilmesi istenmiştir. 1 kişi çok zor, 12 kişi zor, 16 kişi az kolay, 32 kişi kolay olduğunu söylemiş olup Şekil 14’de pasta grafik ile sunulmuştur.



Şekil 14. Üstgeçitin kullanım kolaylığı.

Kural dışı geçiş yapan yayalara, yapılan geçişin kullanım kolaylığı/konfor açısından değerlendirilmesi istenmiş; 1 kişi zor, 17 kişi kolay, 4 kişi az kolay, 17 kişi çok kolay olduğunu söylemiştir. Buna göre; genel eğilim üstgeçit kullanımının kolay olduğu yönündedir.

#### ▪ *Üstgeçit/altgeçit tercihi*



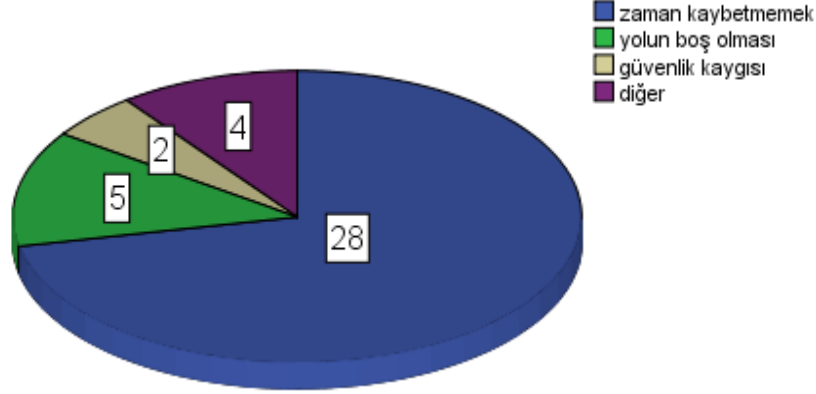
Şekil 15. Üstgeçit yerine altgeçit olması tercihi.

Üstgeçiti kullanan yayalara yöneltilen “Burada üstgeçit yerine altgeçit olsaydı tercih eder miydiniz?” sorusuna 46 kişi evet, 42 kişi hayır yanıtını verirken 12 kişi ise fikrinin olmadığını söylemiş olup Şekil 15’de pasta grafik olarak görülmektedir.

Evet cevabı verenlerin büyük çoğunluğunun altgeçit tercih etmesinin sebepleri genel olarak üstgeçitte merdiven basamak sayının çok fazla olması, merdiven inip çıkmanın zor olması ve asansör veya yürüyen merdiven bulunmamasıdır. Hayır cevabı verenler ise altgeçitin üstgeçite göre güvenlik açısından tehlikeli olması, altgeçitlerde ışıklandırmanın yetersiz yada bozuk olması gibi sebepler sunmuşlardır. Buradan hareketle üstgeçitlerin genel olarak enerji kaybı veya yorulmaya (üşengeçlik) bağlı, altgeçitlerin ise güvenlik kaygıları sebebiyle tercih edilmediği söylenebilir.

#### ▪ Kural dışı geçiş nedenleri

Kural dışı geçiş yapan 39 yayaya neden bu geçişi tercih ettikleri sorulduğunda 28 kişi zaman kaybetmemek, 2 kişi güvenlik kaygısı, 5 kişi yolun boş olmasını neden gösterirken 4 kişi ise diğer sebeplerden dolayı kural dışı geçiş yaptığını söylemiş olup Şekil 16'da pasta grafik olarak görülmektedir.



Şekil 16. Kural dışı geçiş nedenleri.

Elde edilen neticeler yukarıda da ifade edildiği üzere, üstgeçitlerin genel olarak enerji kaybı veya yorulmaya (üşengeçlik) bağlı olarak tercih edilmediğini ayrıca zaman kaybı olarak görüldüğünü ortaya koymaktadır.

#### 3.1.3. Ulusoylar önü yaya altgeçiti (Lokasyon 3)

Kastamonu-Karabük bölünmüş yolu 100+765 km'sinde inşa edilmiş olan yerinde dökme betonarme yaya altgeçitinde 100 kişiye çeşitli sorular sorularak anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışması sonucunda elde edilen bilgiler, SPSS yazılımı kullanılarak istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Bu lokasyonda ankete katılan 100 kişiden 68'i erkek 32'si ise kadındır.

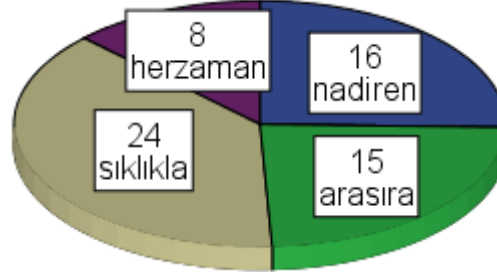
#### ▪ Altgeçit kullanma sıklığı

Yapılan gözlemlerde 63 kişi altgeçiti kullanmıştır. Altgeçiti kullananların cinsiyete ve yaş dağılımına göre ne sıklıkla kullandıkları tespit edilmiştir. Buna göre 8 kişi her zaman, 24 kişi sıklıkla, 15 kişi ara sıra ve 16 kişi nadiren altgeçiti kullandıklarını beyan etmiş olup altgeçiti kullanma sıklıkları Şekil 17'de, eğitim durumlarına göre dağılımı ise Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Altgeçit kullanımının eğitim durumuna göre dağılımı.

		Eğitim durumu				Toplam
		ilköğretim	ortaöğretim	üniversite	lisansüstü	
Altgeçit	nadiren	1	2	12	1	16
	arasıra	2	0	12	1	15
	sıklıkla	2	6	15	1	24
	herzaman	0	3	5	0	8
Toplam		5	11	44	3	63

Buna göre; 8 kişi altgeçiti her zaman, 24 kişi de sıklıkla tercih etmekte olup geri kalan 68 kişi ya hiç kullanmamakta ya da ara sıra/nadiren kullanmaktadır. Yani altgeçit kullanmama oranının bir hayli yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

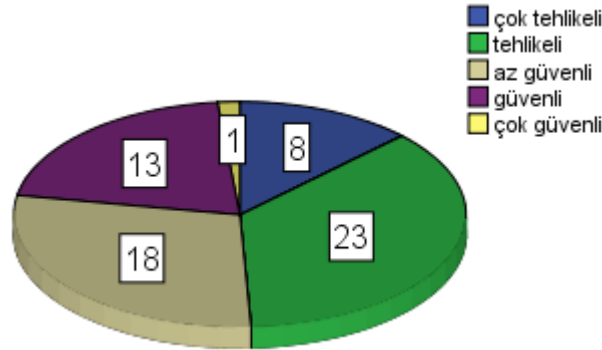


Şekil 17. Altgeçiti kullanma sıklıkları.

Eğitim durumunun altgeçiti kullanma açısından önemli bir parametre olabileceği düşünülmüştür. Eğitim seviyesinin artışına paralel olarak bilinçlenmenin artacağı ve kural dışı geçişin azalacağı beklenmektedir ancak bu lokasyonda gerçekleştirilen anket çalışmasında Çizelge 4'e göre genel kanının tam tersi yönünde bir netice elde edilmiştir.

Ayrıca kural dışı geçiş yapan 37 kişiye kural dışı geçişi ne sıklıkla yaptıkları sorulmuş ve 23 kişi her zaman, 10 kişi sıklıkla, 3 kişi ara sıra ve 1 kişi ise nadiren kural dışı geçiş yaptıklarını beyan etmişlerdir.

#### ▪ *Altgeçit güvenliği*



Şekil 18. Altgeçitten yapılan geçişin güvenlik açısından değerlendirilmesi.

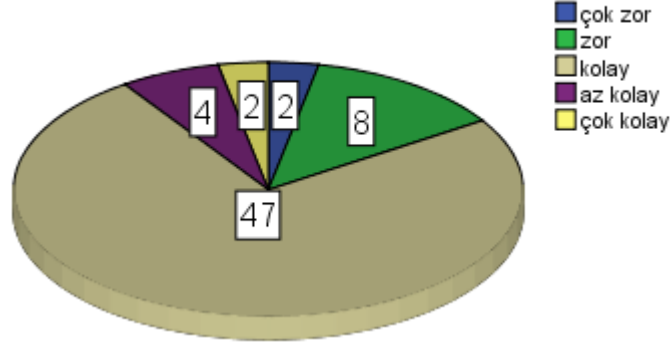
Altgeçiti kullanan yayalardan, yapılan geçişin üstgeçite nazaran güvenlik açısından değerlendirilmeleri istenmiştir. 1 kişi çok güvenli, 13 kişi güvenli, 18 kişi az güvenli, 23 kişi tehlikeli, 8 kişi çok tehlikeli cevabını vermiş olup Şekil 18'de pasta grafik ile gösterilmiştir.

Kural dışı geçiş yapan yayalardan yapılan geçişin güvenlik açısından değerlendirilmeleri istendiğinde, 2 kişi güvenli, 3 kişi az güvenli, 11 kişi tehlikeli, 3 kişi çok tehlikeli cevabını vermiştir.

Buna göre genel kanı; altgeçitlerden geçişin güvenlik ile ilgili bir kaygı oluşturduğu, kural dışı geçişlerin ise tehlikeli olduğunun bilindiği yönündedir.

▪ **Kullanım kolaylığı/konfor**

Altgeçiti kullanan yayalardan, yapılan geçişin kullanım kolaylığı/konfor açısından değerlendirilmesi istenmiştir. 2 kişi çok zor, 8 kişi zor, 47 kişi kolay, 4 kişi az kolay, 2 kişi çok kolay olduğunu söylemiş olup Şekil 19’da pasta grafik ile sunulmuştur.



Şekil 19. Altgeçitin kullanım kolaylığı.

Kural dışı geçiş yapan yayalara, yapılan geçişin kullanım kolaylığı/konfor açısından değerlendirilmesi istenmiş, 2 kişi çok zor, 2 kişi zor, 22 kişi kolay, 1 kişi az kolay, 10 kişi çok kolay olduğunu söylemiştir. Buna göre; genel eğilim altgeçit kullanımının konfor açısından kolay olduğu yönündedir.

▪ **Altgeçit/üstgeçit tercihi**



Şekil 20. Altgeçit yerine üstgeçit olması tercihi.

Altgeçiti kullanan yayalara yöneltilen “Burada altgeçit yerine üstgeçit olsaydı tercih eder miydiniz?” sorusuna 71 kişi evet, 28 kişi hayır yanıtını verirken 1 kişi ise fikrinin olmadığını söylemiş olup Şekil 20’de pasta grafik olarak görülmektedir.

Evet cevabı verenlerin büyük çoğunluğunun altgeçit yerine üstgeçit tercih etmesinin sebepleri genel olarak altgeçitin üstgeçite göre güvenlik açısından riskli görülmesi ve altgeçitlerde ışıklandırmanın yetersiz ya da bozuk olmasıdır.

Hayır cevabı verenler üstgeçitte merdiven basamak sayısının çok fazla olması, merdiven inip çıkmanın zor olması ve asansör veya yürüyen merdiven bulunmaması gibi sebepler öne sürmüşlerdir.

Buradan hareketle genel olarak altgeçitlerin güvenlik kaygıları sebebiyle, üstgeçitlerin ise enerji kaybı veya yorulmaya (üşengeçlik) bağlı olarak tercih edilmediği söylenebilir.

#### ▪ Kural dışı geçiş nedenleri

Kural dışı geçiş yapan yayaya neden bu geçişi tercih ettikleri sorulduğunda 12 kişi zaman kaybetmemek, 5 kişi güvenlik kaygısı, 14 kişi yolun boş olmasını neden gösterirken 6 kişi ise diğer sebeplerden dolayı kural dışı geçiş yaptığını söylemiş olup Şekil 21’de pasta grafik olarak görülmektedir.



Şekil 21. Kural dışı geçiş nedenleri.

Elde edilen netice, altgeçitlerin genel olarak zaman kaybetmemek adına ve güvenlik açısından tercih edilmediğini ayrıca zaman kaybı olarak görüldüğünü ortaya koymaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Ulaşım, insanlık tarihi boyunca ekonomik ve sosyo-kültürel gelişim için yaşamsal bir faktör olagelmıştır. Uygun ulaşım olanaklarının varlığı ya da yokluğu nedeniyle; uluslar, bölgeler, şehirler, endüstriler, kurumlar, işletmeler gelişmiş ya da geri kalmıştır. Günümüzde de ulaştırma imkanlarının gelişmişliği ile ülkelerin veya bölgelerin gelişmişliği arasındaki paralellik belirgin bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Özellikle küreselleştirme olgusu ulaşımın önemini her geçen gün daha belirgin hale getirmektedir.

Ulaşım; insanın, canlı ve cansız diğer varlıkların bir noktadan diğer bir noktaya belli bir amaçla yer değiştirmesidir. Trafik ise; ulaşımın gerçekleştirilmesinde kullanılan araçlar (otomobil, otobüs, kamyon vb.) ve bu araçlar dışındaki hareketli nesnelerin (yayalar ve hayvanlar) karayolu veya demiryolu üzerindeki hareketi olarak ifade edilebilmektedir ancak hem araç içerisinde sürücü olarak hem de araç dışında yaya olarak “insan” faktörü trafiği birincil derecede etkileyen bir unsurdur. Ulusal veya uluslararası trafik kazaları istatistikleri incelendiğinde bilhassa araç ve yayaların etkileşiminden doğan kazaların ihmal edilemeyecek boyutlarda olduğu bilinmekte ve bu soruna çeşitli çözümler üretilmektedir.

Özellikle kentsel yollarda yaya ve araçların daha az etkileşimini sağlamak, araç trafiğindeki kesintileri ve buna bağlı zaman kayıplarını önlemek, muhtemel hatalı geçişler nedeniyle ortaya çıkabilecek kazaları önlemek gibi sebeplerle yaya üstgeçit veya alt geçit uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Altgeçit/üstgeçit inşasında güvenlik, kapasite, zaman tasarrufu, maliyet, estetiklik, arazi topografyası, kamulaştırma, yerel talepler, geçit yapılması düşünülen yörenin tarihi, kültürel ve turistik nitelikleri, kamunun gereksinimleri vb. birtakım parametreler bulunmaktadır. Ancak karar vericiler (Karayolları Genel Müdürlüğü, Belediyeler, İl Özel İdareler) açısından bu iki türden (altgeçit/üstgeçit) hangisinin tercih edilmesi gerektiği noktasında birtakım yol göstericilere ihtiyaç bulunmaktadır.

Ülkemizde altgeçit/üstgeçitlerin inşasında yeterli düzeyde standart veya kriter bulunmamaktadır. Sadece TS 12576 standardı ile “Şehir içi yollar-kaldırım ve yaya geçitlerinde ulaşılabilirlik için yapısal

önlemler ve işaretlemelerin tasarım kuralları” ortaya konulmuştur. Ancak bu standart, altgeçit veya üstgeçit tercihi noktasında bir öneri sunmamakta sadece tüm potansiyel kullanıcıların ulaşılabilirliğinin efektif olarak sağlanabilmesine yönelik birtakım öneriler sunmaktadır.

Bu çalışmanın yetkili mercilerin karar alma süreçlerinde yararlanabileceği bir kaynak olacağı ve bu bağlamda bir boşluğu dolduracağı düşünülmekle birlikte daha etkili bir karar mekanizması geliştirilebilmesi için bir standart kılavuz hazırlanması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında, Karabük-Safranbolu bölgesinde yer alan yaya üst ve altgeçitlerinin envanteri oluşturulmuş, çelik ve betonarme prefabrik olarak inşa edilmiş iki farklı üstgeçit ile yerinde dökme betonarme bir altgeçit seçilerek kullanıcı tercihleri açısından mukayeseler gerçekleştirilmiştir.

Altgeçit/üstgeçit tercihinin sadece temel bir mühendislik yaklaşımı ile çözülemeyeceği, kullanıcıların tercihlerinin de dikkate alınması gerektiği değerlendirilmektedir. Bu bağlamda 3 farklı lokasyonda her biri 100’er kişi olmak üzere toplamda 300 kişiyle yüz yüze anket çalışması gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar SPSS yazılımı vasıtasıyla değerlendirilmiştir. Anket çalışmaları ve yerinde gözlemler ile kullanıcılar tarafından ortaya konulan güvenlik, kullanım kolaylığı/konfor, zaman tasarrufu, altgeçit/üstgeçit tercihi, estetiklik gibi hususlarda avantaj ve dezavantajları tablo ve grafikler eşliğinde ortaya konulmuştur. Buna göre;

- Üstgeçit veya altgeçit kullanmama oranı oldukça yüksektir. Bu durum üzerinde düşünülmesi ve çözümler üretilmesi gereken bir husustur.
- Eğitim seviyesi artışının altgeçit/üstgeçit kullanım oranlarını artıracak beklenmekte iken bu beklentiyi net olarak teyit edecek neticeler elde edilememiştir. Buradan hareketle bu problemin sadece eğitim ile ilgili olmadığı, sosyolojik, psikolojik, kültürel vb. birçok açıdan ele alınması gerektiği düşünülmektedir.
- Genel kanı; üstgeçitlerden geçişin güvenli olduğunun, altgeçitlerden geçişin ise güvenlik ile ilgili bir kaygı oluşturduğunun ancak kural dışı geçişlerin ise tehlikeli olduğunun bilindiği yönündedir.
- Genel eğilim üstgeçit/altgeçit kullanımının kolay/konforlu olduğu yönündedir.
- Üst geçitler genel olarak enerji kaybı veya yorulmaya (üşengeçlik) bağlı, altgeçitler ise daha ziyade güvenlik kaygıları sebebiyle tercih edilmemekte ve her ikisinin kullanımı da zaman kaybı olarak görülmektedir.

## KAYNAKLAR

[1] Karayolu Genel Müdürlüğü, “*Karayolu Teknik Şartnamesi 2013*”, kısım:101/14 (2019).

[2] İnternet: [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1051](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051) Erişim tarihi: 04.09.2019

[3] Mutto, M., Kobusingye, O.C.,Lett R.R., “*The effect of on pedestrian injuries on a major highway in Kampala-Uganda*”, African Health Sciences 89-93 (2002).

[4] Mahdavinejad, M., Hosseini, A., Alavibelmana,M., “*Enhancement HSE factors in pedestrian underpass regarding to chemical hazards,Mashhad,İran*”, Procedia - Social and Behavioral Sciences 51: 10-14 (2012).



[5] Wu, Y. vd. (2014) “*Identification of contributing factors to pedestrian overpass selection*”, Journal of traffic and Transportation Engineering 1 (6):415-423 (2014).

[6] Önelçin, P., Alver, Y., “*Üst geçit bölgelerinde kural dışı geçiş yapan yaya davranışlarının irdelenmesi ve yürüyen merdivenin üst geçit kullanım oranına etkisi*”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24 (6): 1100-1106 (2018).

[7] “*Karayolu Trafik Yönetmeliği*”, 18.07.1997 tarih ve 23053 sayılı Resmî Gazete, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.

[8] *Pedestrian facilities guidebook*, 2002, Washington state Department of Transportation County Road Administration Board

[9] İnternet: <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, Erişim tarihi: 04.09.2019

[10] İnternet: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30636>, Erişim tarihi:04.09.2019



## Mikro Düzeyli Trafik Simülasyon Programlarının Karşılaştırmalı Analizi Sakarya İli Tunatan Kavşağı Örneği

### Comparative Analysis of Micro Level Traffic Simulation Programs Example of Sakarya Province Tunatan Intersection

Furkan Abdurrahman SARI<sup>1</sup>, Hakan GÜLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya/TÜRKİYE  
[furkansari@sakarya.edu.tr](mailto:furkansari@sakarya.edu.tr)

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya/TÜRKİYE  
[hguler@sakarya.edu.tr](mailto:hguler@sakarya.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada; karayollarında güvenlik, kapasite ve hız açısından kritik öneme sahip olan kavşakların tasarımında hem mevcut hem de gelecekteki karayolu ulaşım talebine yukarıda belirtilen niteliklere sahip bir çözüm sunabilmek adına kamu, özel ve akademik çevrelerce yaygın olarak kullanılan mikro düzeyli trafik simülasyon programlarının karşılaştırmalı bir analizi yapılacaktır. Bilimsel niteliğe sahip ulaşım verilerinin simülasyon programlarına girilmesi sırasında programların sürücü davranışları ve araç hareketlerini canlandırırken arka planda çalıştırdıkları algoritmalara ait değişkenlerin neler olduğunun bilinmesi elde edilecek canlandırmanın gerçeğe yüksek yakınlıkta olmasını sağlamaktadır. Her ne kadar toplanan trafik verilerine ait tüm parametrelerin bilinmesi, simülasyon programlarına bu verilerin en ince ayrıntısına kadar girilmesi sağlansa bile programların sahip olduğu özel yazılım yapıları sebebiyle bu programlar arasında benzerliklerin yanı sıra farklılıklar da gözlemlenmektedir. Yukarıda izah edilen nedenlerle bu programların arzu edilen faydayı sağlaması için zayıf ve güçlü yönlerinin ortaya konması akademik alanla beraber kamu ve özel çevreler için de bir gereklilik olarak karşımızda durmaktadır. Bu bilgiler ışığında Sakarya ilinde hem ulaşım açısından önemli bir konumda hem de tasarımsal olarak eşsizliği ile öne çıkan Tunatan kavşağı belirlenerek geleneksel yöntemlerle sabah, öğle ve akşam zirve saatlerde kameralarla çekimler yapılarak araç sayımları gerçekleştirilmiştir. Tunatan kavşağının “Vissim 8” ve “Aimsun 20” programlarına ayrı ayrı modelleri oluşturularak trafiğin niteliğiyle alakalı tüm parametreler ayrı ayrı iki programa da tanımlanmıştır. Daha sonra programlar çeşitli faktörler üzerinden kullanıcı görüşleri alınarak değerlendirilmiş ve Likert ölçeğinden de yararlanılarak puanlandırılmıştır. Böylelikle trafik simülasyon çalışmalarında doğru yazılımın kullanılmasıyla ilgili öneriler geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro-Simülasyon Programı, Kavşak, Simülasyon, Vissim, Aimsun, Karşılaştırma

**Abstract:** In this study; A comparative analysis of micro level traffic simulation programs, which are widely used by public, private and academia, will be made to provide a solution with the above-mentioned qualities to both current and future transport demand in the design of intersections, which are critical in terms of safety, capacity and speed on highways. During the entry of scientific transportation data into simulation programs, knowing what the variables are used by the programs to perform the simulation ensures that the simulation is close to reality. Although all parameters of traffic data are known and all of these data are entered into simulation programs, there are similarities as well as differences between these programs due to the special software structures of the programs. For the



reasons explained above, revealing the weaknesses and strengths of these programs in order to provide the desired benefits is a necessity for the public and private as well as the academia. With this information, the Tunatan intersection, which stands out both in terms of transportation and with its unique design, was determined in Sakarya province, and then the vehicle counts were made by recording cameras at peak hours in the morning, noon and evening using traditional methods. The model of the Tunatan intersection was created in "Vissim 8" and "Aimsun 20" programs, and all parameters related to the quality of the intersection were defined in two programs separately. Later, the programs were evaluated by taking user opinions on various factors and scored using the Likert scale. Thus, recommendations for using the correct software in traffic simulation studies have been developed.

**Keywords:** Micro-Simulation Program, Intersection, Simulation, Vissim, Aimsun, Comparison

## 1. Giriş

Tunatan kavşağının çalışmaya konu edilmesinde kavşağın yedi adet akım kolunun kesişim noktasında yer alması ayrıca sinyalsiz dönel adalarla trafiğin kontrollü bir biçimde sağlanması bizler için başlıca motivasyon kaynağı oluşturmıştır. Eş düzey kavşaklar, kavşağı oluşturan yolların sayısı ile bu yolların birleşme şekillerine yani geometrik durumlarına, ayrıca kavşaktaki denetim tarzına göre çeşitli tiplere ayrılırlar (Yayla, 2004). Tunatan kavşağı bu sınıflandırma koşullarına tâbi tutulduğunda kol sayısına göre çok kollu, trafiğin denetlenme biçimine göre ise dönel adalı bir kavşak olduğu ifade edilebilse de aslında iki adet dört kollu ve bir adet de üç kollu toplamda üç adet dönel kavşağın tümleşik bir halde bulunması ile sınıflandırmanın sınırlarını zorlayarak aşan bir kavşaktır. Kavşağın kendine has özellikleri simülasyon programlarına hem geometrik hem de trafik özelliklerini birebir aktarmayı zorlaştırmakta ancak bizlere bir o kadar da programların yeteneklerini test etme fırsatı vermektedir. Kavşağın Google Earth'den alınmış görüntüsü Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tunatan Kavşağı

Kavşak tasarımı için gerekli verilerin başında bütün yönlerdeki trafik sayımları gelmektedir (KGM Karayolu Tasarım El Kitabı, 2005). Bu çalışmada sayımlar kameralar aracılığı ile yüksek çözünürlükte çekilen görüntülerden faydalanılarak gerçekleştirilmiş böylece araç tiplerinin de net olarak ayrılması sağlanmıştır. Bununla trafik akımının içerisindeki farklı araçların kavşağın performansı üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Kavşaktaki ağ tasarımı gerçeğe birebir uygun olarak çizilerek hali hazırda elimizde mevcut olan Vissim ve Aimsun programlarının simülasyon aşamasına gelene kadar sergiledikleri performans Rensis Likert (1932) tarafından Thurstone ölçeğinin basitleştirilmiş bir versiyonu olarak geliştirilen Likert Ölçeği (Cramer ve Howitt,2004: 89) ile kullanıcı görüşleri dikate alınarak derecelendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

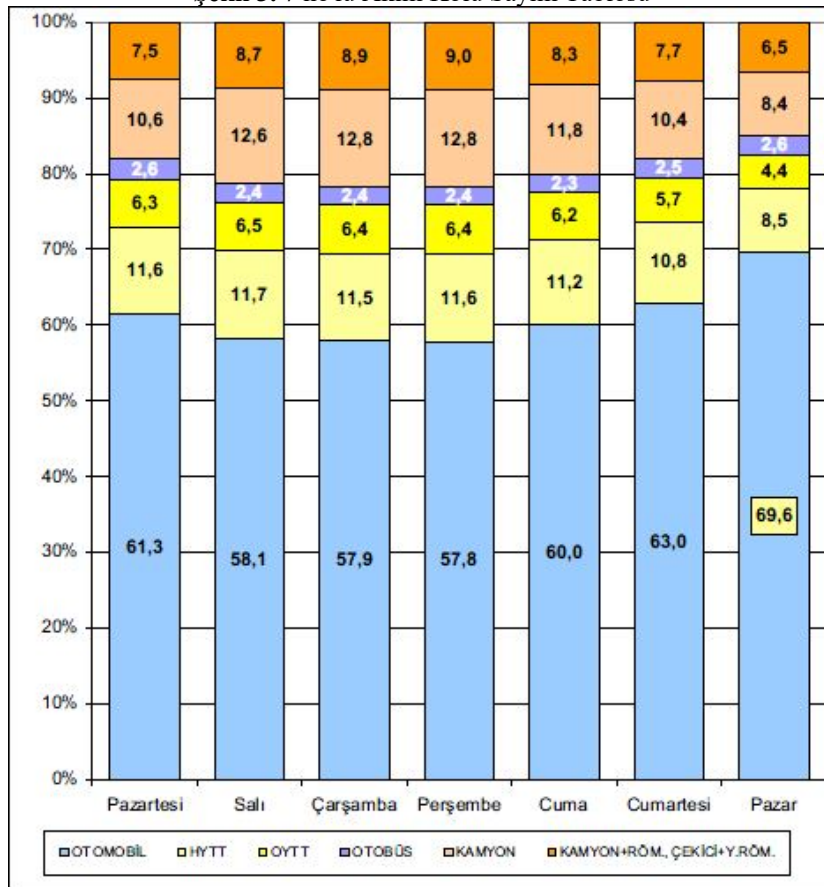
Herhangi bir yere ait doğru ve sağlıklı bir trafik etüdünün yapılabilmesi için trafik sayım ve gözlemlerinin doğru ve kurallara uygun olarak yapılması gerekmektedir (Kutlu, 1964; Gedizlioğlu, 2002). Çalışmada kullanılan trafik verileri 21 Temmuz 2020 günü sabah, öğle ve akşam saatlerinde bir gün önceden kavşağa gidilerek yapılan keşif sonucu belirlenen kavşağın kuzey ve güney tarafını ayrı ayrı gören iki farklı binanın çatısından çekilen video görüntülerinin analizi sonucu elde edilmiştir. Kavşaktaki ağ örgüsünün kavşağı yekpare bir şekilde ele alarak sayım yapmayı imkansızlaştırması nedeniyle kavşak Şekil 2'deki gibi iki bölgeye ayrılmak suretiyle etüde tâbi tutulmuştur. Veriler elde edilirken Excel üzerinde izahat ve sayım föyleri hazırlanarak sayım toplama tabloları oluşturulmuştur. Bu tablolara bir örnek teşkil etmesi adına Şekil 3'te 7 no'lu akım koluna ait Excel tablosu gösterilmiştir. Yapılan çekimlerin ise hafta içi Salı gününde yapılması ise tesadüfi değil bilinçli bir tercih olmuştur. Taşıt sınıflarının günlere göre toplam trafik içindeki dağılımını gösteren grafiğe (Devlet Yolları Trafik Akımı Özellikleri ve Trafik Parametreleri, 2009) göre Salı günü hafif yüklü ticari taşıt oranının en yüksek olduğu trafikteki otomobil oranının da en düşük olduğu üç günden biridir bu grafik Şekil 4'te gösterilmiştir. Kavşağın en yoğun olduğu zaman bu şekilde yakalanmıştır.



Şekil 2. Tunatan kavşağı kollara ayrılmış

21.07.2020																											
ÇEKİM SAATI	Otomobil		Motosiklet		Büs-Panelya		Ticari Taksi		Dalmuş (Toplu)		Belediye Otobüsü		Kamyon		Tır		Tur Otobüsü		İş Makinası		Toplam		GENEL				
	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-1	7-8	7-AKIM		
07:00	07:15	27	5	0	1	13	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	45	6	51		
07:15	07:30	35	9	1	0	16	2	2	0	5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	60	12	72			
07:30	07:45	53	11	3	1	14	0	7	1	3	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0	0	85	13	98			
07:45	08:00	70	12	1	1	22	1	3	0	5	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	103	15	118			
08:00	08:15	80	37	8	1	24	6	4	0	4	0	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	125	45	170			
08:15	08:30	113	20	5	0	29	2	2	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	154	22	176			
08:30	08:45	107	23	5	1	36	7	6	0	7	0	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	167	31	198			
08:45	09:00	97	22	2	3	23	3	4	0	4	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	132	29	161			
09:00	09:15	108	17	9	2	30	4	4	0	6	0	1	0	5	1	0	1	0	0	0	0	163	25	188			
09:15	09:30	191	26	0	0	22	1	5	2	6	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	225	31	256			
09:30	09:45	104	26	1	0	19	3	5	0	4	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	137	29	166			
09:45	10:00	105	21	2	0	18	1	7	1	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	140	23	163			
12:00	12:15	114	23	3	1	18	3	4	0	5	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	149	27	176			
12:15	12:30	110	19	3	2	6	4	4	1	5	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	131	28	159			
12:30	12:45	120	30	3	0	14	4	7	0	5	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	154	34	188			
12:45	13:00	114	31	3	0	18	1	3	1	5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	145	33	178			
13:00	13:15	134	26	4	0	16	6	7	2	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	168	35	203			
13:15	13:30	109	25	4	1	14	2	2	0	4	0	0	0	4	3	0	1	0	0	0	0	137	32	169			
13:30	13:45	130	31	3	1	25	2	0	1	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	166	36	202			
13:45	14:00	137	29	3	1	14	2	2	0	6	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	164	34	198			
16:00	16:15	139	25	2	2	16	6	1	0	4	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	166	34	200			
16:15	16:30	144	27	7	0	25	8	2	1	6	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	189	37	226			
16:30	16:45	141	17	2	0	32	1	4	0	4	0	0	0	3	2	0	0	5	0	0	0	191	20	211			
16:45	17:00	129	28	6	0	34	6	5	0	6	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	185	34	219			
17:00	17:15	162	33	4	2	21	3	1	2	4	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	196	41	237			
17:15	17:30	163	29	4	1	23	2	3	0	6	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	204	32	236			
17:30	17:45	179	38	3	1	29	3	3	2	5	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	223	45	268			
17:45	18:00	157	36	3	0	23	4	3	0	5	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	193	42	235			
18:00	18:15	166	29	7	3	22	2	4	0	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	207	34	241			
18:15	18:30	165	36	4	2	33	3	4	1	6	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	215	44	259			
18:30	18:45	159	46	1	0	26	4	4	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	196	50	246			
18:45	19:00	152	44	3	1	27	5	2	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	191	50	241			
																							6108				

Şekil 3. 7 no'lu Akım Kolu Sayım Tablosu



Şekil 4. Taşıt Sınıflarının Günlere Göre Toplam Trafik İçindeki Dağılımı

## 2.1. Çalışmanın Metodolojisi

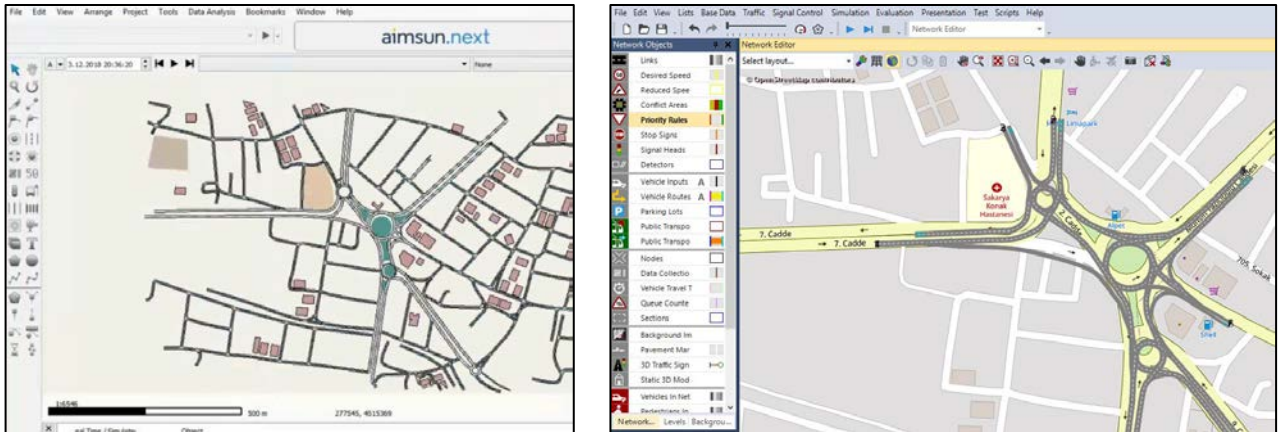
Çalışmamızda toplanan veriler “Vissim” ve “Aimsun” mikro-simülasyon programlarına girilirken her ikisinin de çeşitli parametreler üzerinden gösterdiği performanslar Likert ölçeği vasıtasıyla 1 ile 5 arasında programları kullanan kullanıcıların görüşü alınarak puanlamak suretiyle derecelendirilerek programların topladıkları puanlar karşılaştırılmış böylelikle sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca kullanıcıların vermiş oldukları puanlar için açıklama yapmaları da istenmiştir. Karşılaştırmaya esas olarak alınan 11 parametre Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Likert ölçeğine göre karşılaştırma tablosu

No	Parametre	Likert ölçeği					Açıklama
		1	2	3	4	5	
1.	Arayüz ve kullanım kolaylığı						
2.	Verileri içe ve dışa aktarma yeteneği						
3.	Ağ tasarımı ve yolların çizimi						
4.	Ulaşım planı yapabilme						
5.	Araç tiplerini özelleştirebilme						
6.	Trafik akım oranlarını ayarlama						
7.	Üç boyut (3D) yeteneği						
8.	Simülasyon video kaydı						
9.	Toplu Taşıma						
10.	Data toplama						
11.	Ücretlendirme						

### 2.1.1 Arayüz ve Kullanım Kolaylığı

Programların her ikisi de kullanışlı bir arayüze sahip dikkatlice incelendiğinde her ikisi ile de istenilen menüler kolaylıkla bulunabilmektedir. Ancak Aimsun programı sahip olduğu katman mantığı ile diğer programlarla benzeştirilerek daha çabuk bir şekilde hızlı kullanıma imkan vermektedir. Ayrıca Aimsun altında bulunan Open Street Map verisinden yararlanarak yolları tek bir komutla oluşturabilmektedir. Buradaki puanlamada Aimsun 5 puan alarak 4 puan alan Vissimden bir adım öne geçmektedir. Arayüzlerin birer görüntüsü yan yana Şekil 5’te gösterilmiştir.

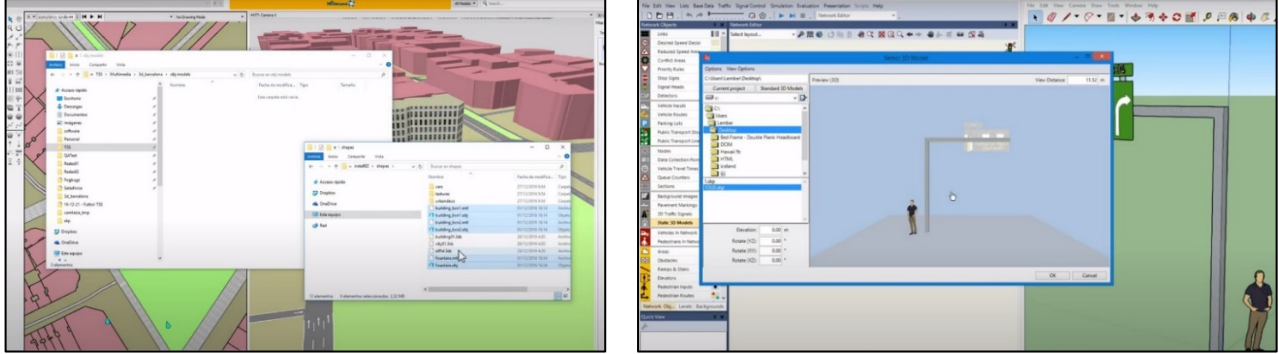


Şekil 5. Programların Arayüz Görüntüleri Aimsun(Solda), Vissim (Sağda)

### 2.1.2 Verileri İçe ve Dışa Aktarma Yeteneği

Farklı formatlarda bir çok veriyi, sahip oldukları veri alt yapıları sayesinde kolayca kullanıp

işleyebilen iki program da bu performans parametresinden 4 puan ile aynı puanı almaktadır. 4 puan ile derecelendirilmelerinin sebebi ise özellikle farklı çizim objelerinin dosyaya atılması sırasında daha kullanıcı dostu olabilecekleri düşünülmektedir. Başka programlardaki çizimlerin import edilmesine dair ekran görüntüleri Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6.Çizim Ekleme Görüntüleri Aimsun(Solda),Vissim(Sağda)

### 2.1.3 Ağ Tasarımı ve Yolların Çizimi

Simülasyona konu olan kavşaktaki yolların kavşaktaki ağ yapısı nedeni ile bir o kadar karışık ve geometrik açıdan son derece fazla çeşitliliğe sahip olması, tasarımın gerçektekine hangi oranda benzeyeceği hakkında çalışma öncesinde merak konusu olmuştur. Ancak iki programda bu açıdan yeterliliklerini göstererek 5 puan almışlardır. Kavşaklardan ağ tasarımına bir örnek Şekil 7’de sunulmuştur.



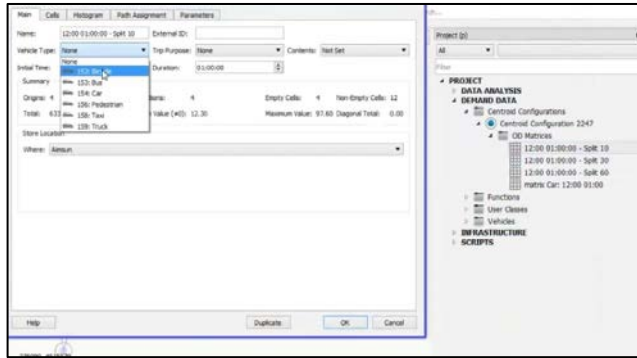
Şekil 7. Ağ Tasarım Örneği Aimsun (Solda), Vissim (Sağda)

### 2.1.4 Ulaşım Planı Yapabilme

Bu parametrede Aimsun bir kaç adım öne geçmektedir. Çünkü Vissim böyle bir özellik içermemekte, Vissim adı verilen ayrı bir program ile ulaşım planlama işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Burada Aimsun 5 puan alırken Vissim 1 puanda kalmaktadır.

### 2.1.5 Araç Tiplerini Özelleştirebilme

Her iki programda da araç tiplerini istenildiği gibi özelleştirmek ve trafikteki araç kompozisyonunu istenildiği gibi programlara tanımlayabilmek mümkün. Burada ikisi de 5 puan almaktadır. Araç tiplerinin girilmesine dair görüntüler .Araç Tiplerinin İşlenmesi Aimsun(Solda), Vissim(Sağda) Şekil 8’de gösterilmektedir.



Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	50: 50 km/h	0,831
2	200: HGV	50: 50 km/h	0,015
3	300: Bus	50: 50 km/h	0,019
4	610: kamyonet	50: 50 km/h	0,107
5	630: ticari	50: 50 km/h	0,029

Şekil 8.Araç Tiplerinin İşlenmesi Aimsun(Solda), Vissim(Sağda)

### 2.1.6 Trafik Akım Oranlarını Ayarlama

Her iki programda ile trafik akımının kollara veyahut araç tiplerine göre istenilen yere istenilen oranda dağıtmak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ancak burada BS (Başlangıç-Son) matris yapısı ile hali hazırda bulunan bir ulaşım verisi programa girilmek istendiğinde Aimsun bir adım daha kolay bir şekilde bu işlemi gerçekleştirmektedir. Bu nedenden ötürü Vissim 4 puan alırken Aimsun 5 puan ile derecelendirilmiştir. Oranların tanımlanması ile alakalı veri girişi görüntüleri Şekil 8 de gösterilmiştir.

	2248: KUZZEY	2249: BATI	2250: GÜNEY	2251: DOĞU	Total
2248: KUZZEY		400	250	350	1000
2249: BATI	536		796	452	1774
2250: GÜNEY	123	976		785	1884
2251: DOĞU	678	453	546		1677
Total	1337	1829	1582	1587	6335

Operation: Split

Operation Parameters

Percentage

1	30
2	60
3	10

Automatic Factor  Split Duration

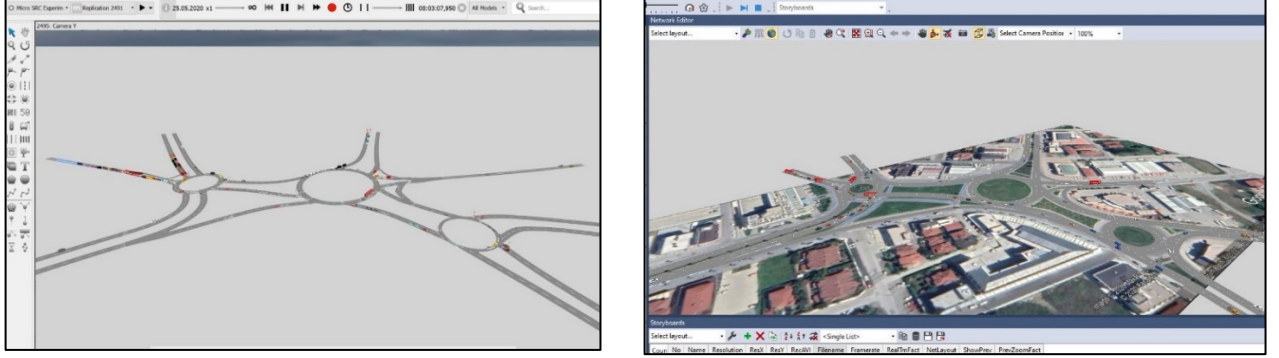
Execute

DesSpeedDistr	RelFlow
50: 50 km/h	0,753
50: 50 km/h	0,017
50: 50 km/h	0,184
50: 50 km/h	0,010
50: 50 km/h	0,036

Şekil 9.Akım Oranları Aimsun(Solda), Vissim(Sağda)

### 2.1.7 Üç Boyut (3D) Yeteneği

Her iki programın da üç boyutlu simülasyon yetenekleri oldukça gelişmiştir. Dışardan istenilen her üç boyutlu şekil import (İçe aktarım) edilebildiği gibi simülasyon yürütülürken de üç boyutlu görüntüler gayet sağlıklı bir şekilde elde edilmektedir. Her iki program da 5 puan ile derecelendirilmiştir. Simülasyondan elde edilen üç boyutlu bir görüntü Şekil 10'da sunulmaktadır.



Şekil 10. Simülasyondan 3 Boyutlu Bir Görüntü Aimsun(Solda), Vissim(Sağda)

### **2.1.8 Simülasyon Video Kaydı**

İki programın da içinde bulunan video modülü ile simülasyonların kaydını gerçekleştirmek ve istenilen yere kamera eklemek, kameralar arası geçiş yapmak mümkün. Bu performans paramteresinde her iki program da 5 puan ile derecelendirilmiştir.

### **2.1.9 Toplu Taşıma**

Aimsun toplu taşıma ile alakalı tüm düzenlemelerin yapılabilirdiği bir platform olarak gözükrken Vissim ise bu özellikleri kısıtlı bir şekilde sunmakta ve toplu taşıma planlaması ile alakalı tüm özellikleri yine ancak Visum üzerinde kullanıcılara sunmaktadır. Burada Vissim 2 puan alırken Aimsun 5 puan ile derecelendirilmiştir.

### **2.1.10 Data Toplama**

Data toplama işlemlerini her iki program da farklı menüler üzerinden kendi arayüzlerinde gerçekleştirmektedir. Toplanmak istenen veriler programlara tanımlanarak verisi toplanmak istenilen yol kesimi programa gösterilmek suretiyle elde edilmektedir. Ancak Aimsun istenilen verileri daha derli toplu bir biçimde elde etmemizi sağlamıştır. Vissim'in verileri ise biraz daha ham veri olarak kullanıcıların karşısına çıkmaktadır. Burada Vissim 4 puan ile derecelendirilirken Aimsun 5 puan ile derecelendirilmiştir.

### **2.1.11 Ücretlendirme**

Burada amaç programların bir değerlendirmesini yapmak olduğu için fiyat vermeyi uygun görmemekle beraber Vissim programının daha az özelliklere sahip olmasına rağmen Aimsun'ın 3 katı fiyat etiketiyle kullanıcıya sunulmuş olması çok büyük bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Derecelendirmeye gelindiğinde ise Vissim 1 puan alırken Aimsun 4 puan almaktadır.

## **3. Sonuçlar**

Yapılan çalışma neticesinde verilen derecelendirme ile kullanıcıların her iki programa vermiş oldukları puanlar Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Toplam puanlardan görüldüğü üzere Aimsun programı Vissim programından daha yüksek puan almıştır. Her iki programın da analiz yeteneklerinin eşit düzeyde olduğu söylenebilir.

**Tablo 2.** Aimsun Puan Cetveli

No	Prametre	Likert ölçeği				
		1	2	3	4	5
1.	Arayüz ve kullanım kolaylığı					5
2.	Verileri içe ve dışa aktarma yeteneği				4	
3.	Ağ tasarımı ve yolların çizimi					5
4.	Ulaşım planı yapabilme					5
5.	Araç tiplerini özelleştirebilme					5
6.	Trafik akım oranlarını ayarlama					5
7.	Üç boyut (3D) yeteneği					5
8.	Simülasyon video kaydı					5
9.	Toplu Taşıma					5
10.	Data toplama					5
11.	Ücretlendirme				4	
Toplam=		53				

Tablo 3. Vissim Puan Cetveli

No	Prametre	Likert ölçeği				
		1	2	3	4	5
1.	Arayüz ve kullanım kolaylığı				4	
2.	Verileri içe ve dışa aktarma yeteneği				4	
3.	Ağ tasarımı ve yolların çizimi					5
4.	Ulaşım planı yapabilme	1				
5.	Araç tiplerini özelleştirebilme					5
6.	Trafik akım oranlarını ayarlama				4	
7.	Üç boyut (3D) yeteneği					5
8.	Simülasyon video kaydı					5
9.	Toplu Taşıma		2			
10.	Data toplama				4	
11.	Ücretlendirme	1				
Toplam=		40				

#### 4. Tartışma ve Değerlendirme

Aimsun 20 programı ile Vissim 8 programı trafik simülasyonu alanında köklü geçmişe sahip iki program olarak bu çalışmada bir çok açıdan değerlendirilmiştir. Aimsun'ı öne çıkaran faktörlerin başında ulaşım planlaması, toplu taşıma optimizasyonu ve ücretlendirme parametreleri olmuştur. Bu çalışmanın trafik simülasyonu ve ulaşım planlaması konularında çalışan akademik, idari ve özel sektör çevrelerine yol gösterici nitelikte olması umulmaktadır. İleride yapılacak daha iyi karşılaştırma çalışmaları için de bir örnek teşkil etmesi beklenmektedir.

#### REFERANSLAR

Yayla, N. (2004). *Karayolu Mühendisliği*. İstanbul: Birsen Yayınevi

Karayolları Genel Müdürlüğü, "Karayolu Tasarım El Kitabı", (2005)

Cramer, D. & Howitt, D.L. (2004). *The SAGE dictionary of statistics: A practical resource for students in the social sciences*. Londra: SAGE



*The 2nd International Symposium of Engineering Applications on  
Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)*



Devlet Yolları Trafik Akımı Özellikleri ve Trafik Parametreleri,16, (2009)

Vissim 8 Kullanım Kitapçığı

Aimsun 20 Kullanım Kitapçığı



## Perlit Tozu Katkısı İle Zemin İyileştirme Çalışmaları Soil Improvement Study with Addition of Perlite Powder

Mehmet Hüseyin ÖZKAN<sup>1</sup>, Mehmet İnanç ONUR<sup>2</sup>, Eren BALABAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, mhozkan95@gmail.com

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, mionur@eskisehir.edu.tr

<sup>3</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, erenb@eskisehir.edu.tr

**Özet:** - Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi deprem sırasında oluşabilecek hasarları önlemede oldukça önemlidir. Bu nedenle çeşitli yöntemlerle problemlili zeminler iyileştirilmektedir. Yapılan bu çalışmada maliyeti oldukça düşük olan perlit tozunun zemin iyileştirmede kullanılıp kullanılmayacağı serbest basınç deneyi ile belirlenmiştir. Perlit tozu kohezyonlu zemine farklı oranlarda karıştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kohezyonlu zemine katılan perlit tozunun belirli bir yüzdeye kadar (% 3,5) serbest basınç değerlerinde artış sağlarken, bu değerden sonraki ilavesinde serbest basınç değerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, atık olarak doğayı kirletme potansiyeline sahip perlit tozunun zemin iyileştirme çalışmalarında katkı olarak kullanılabilceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** perlit, silt, serbest basınç deneyi, zemin iyileştirme

**Abstract:** - Improvement of weak soils is very important in preventing damages that may occur during an earthquake. For this reason, problematic soils are improved by various methods. In this study, it has been determined whether the perlite powder, which is very low cost, can be used in soil improvement. Perlite powder was mixed to the cohesive soils in different proportions. As a result of the experiments, it has been determined that perlite powder added to the cohesive soil increases the unconfined compression value up to a certain percentage (3.5%), while after of this value decreases the unconfined compression value. In addition, it has been observed that perlite powder, which has the potential to pollute nature as waste product, can be used as an additive in soil improvement works.

**Key Words:** perlite, silt, unconfined compression test, soil improvement

### 1. Giriş

Zeminlerin üzerlerine inşa edilen üst yapılardan gelen yükleri emniyetli bir şekilde taşımaları gerekmektedir. Ancak bazı durumlarda yapı yükü zemin taşıma kapasitesinden daha fazla olabilmektedir. Bu durumlarda zeminlerin taşıma kapasitesi çeşitli metotlar ile arttırılmaktadır. Zeminlerin taşıma gücünü arttırmak amacıyla kullanılan metotların tümüne zemin iyileştirme denilmektedir. Zemin iyileştirme yöntemleri fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Kompaksiyon, drenaj uygulamaları gibi yöntemler fiziksel yöntemlere örnek olarak verilebilirken, zeminlerin kireç, çimento uçucu kül ile karıştırılarak iyileştirilmesi ise kimyasal yöntemlere örnek olarak verilebilmektedir. Zemin iyileştirme çalışmaları için yukarıda verilen örneklerden farklı olarak atık malzemeler de kullanılabilirlerdir.

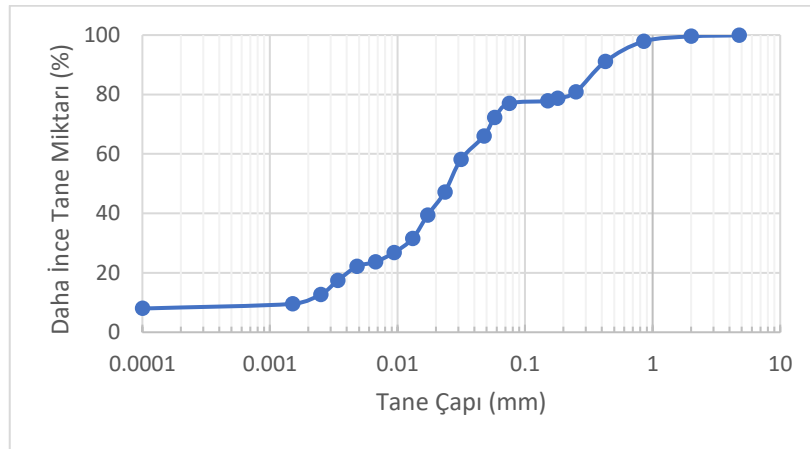
Chu vd. (2013) yaptıkları çalışmada uçucu külün zemin iyileştirme amacıyla kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlar ve uçucu külün zeminin bazı özelliklerini iyileştirdiğini göstermişlerdir [1]. Nicholson vd. (2013) zemine kireç karıştırarak şişme potansiyellerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Yapılan çalışmada kireç eklenen zeminlerin şişme potansiyellerinde azalma meydana geldiği ortaya konmuştur [2]. Öntürk (2011) yaptığı çalışmada zemine uçucu kül, kireç ve parlatici tozu eklemiş ve bu maddelerin zemin iyileştirme miktarlarını gözlemlemiştir [3]. Bilici vd. (2018) yaptıkları çalışmada farklı uçucu kül çeşitlerinin kil numunelerin özelliklerini farklı ölçülerde arttırdığını göstermiştir [4]. Çokça vd. (2009) yüksek fırın cürufundan elde edilmiş agregaları genişleme potansiyeli olan killere karıştırmış ve yüksek fırın cürufunun killerin genişleme potansiyelini azalttığını göstermiştir [5]. Gör vd. (2009) farklı maddelerin zemin kıvamına olan etkilerini incelemiştir [6]. Yüksek fırın cürufundan elde edilmiş agregaların zeminlerin geoteknik özelliklerinde meydana getirdiği iyileşmeler Sivrikaya vd. tarafından incelenmiştir [7]. Atık çelik cürufunun zemin parametrelerine olan etkileri ise Yıldırım vd (2015) [8] tarafından incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada düşük yoğunluklu perlit tozunun kohezyonlu zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek amacıyla kohezyonlu zemin numuneleri ile %2.5, %3.5, %5 ve %7.5 oranlarında karıştırılarak, serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Serbest basınç deneyleri sonucunda perlit tozunun zemin iyileştirilme çalışmalarında alternatif bir katkı olabileceği tespit edilmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Perlit asidik karakterli volkanik bir cam türüdür. Isıya maruz kaldığı zaman genişleyen ve genişlediği zaman çok hafif ve gözenekli hale geçebilen bir kayadır [9]. Perlit inşaat endüstrisinde hafif beton ve prefabrik parçalar üretiminde, çeşitli sıva uygulamalarında ve dış cephe yalıtımlarında kullanılabilir. Bununla birlikte tarım uygulamalarında, su ve atık endüstrisi petrol sanayi gibi farklı alanlarda da kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan perlit; iri perlit tipi olarak sınıflandırılan tane genişliği 0 ile 5 mm arasında değişen, yoğunluğu 80-160 kg/m<sup>3</sup> olan perlit tipidir.

Perlit ile karıştırılan kohezyonlu zeminin tane çapı dağılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1’den görülebileceği gibi 200 nolu elekten geçen zemin miktarı yaklaşık olarak %76’dır.



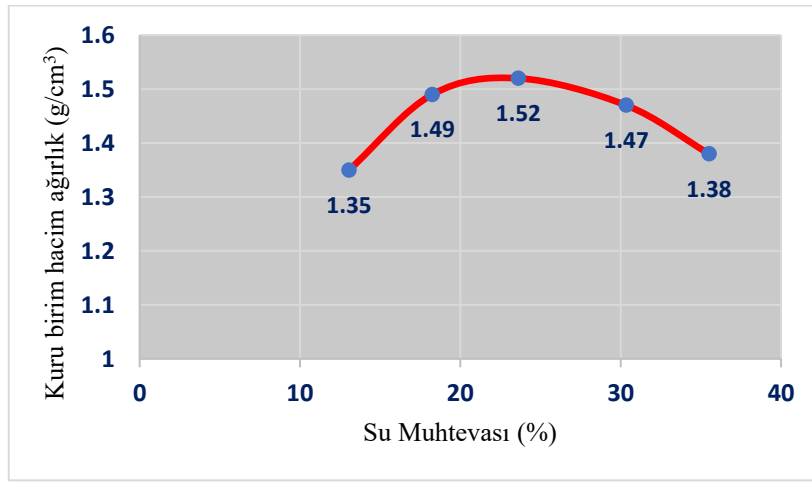
Şekil 1. Kullanılan zemin gradasyonu

Kullanılacak zemin numunesinin likit limit (LL) ve plastik limiti (PL) değerleri 45.11 ve 28.24 olarak

belirlenmiştir. Bu değerlere göre plastisite indeksi (PI) 16.84 olarak bulunmuştur. Tane çapı dağılımı grafiğine ve kıvam deneylerine bağlı olarak zemin düşük plastisiteli silt (ML) olarak sınıflandırılmıştır. Özgül ağırlık ise 2.63 olarak belirlenmiştir.

Zemin numunesinin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevasının belirlenebilmesi için standart proktor testi yapılmıştır. Standart proktor test sonucuna göre maksimum kuru birim hacim ağırlık  $1.52 \text{ g/cm}^3$ , optimum su muhtevası ise % 22.5 olarak belirlenmiştir. Standart proktor testine ait sonuçlar Şekil 2’de görülebilir.

Referans olarak katkısız numune; maksimum kuru birim hacim ağırlıkta ve optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. Katkılı numuneler ise zemin iyileştirme gerekliliği düşünülerek % 32,5 su muhtevasında karıştırılmıştır. Serbest basınç testine tabii tutulacak numunelerin çapı 7 cm, boyu 14 cm olup, örnek olarak Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası ilişkisi

Hazırlanan silt numunelerin boşluk oranı 0.62 olarak hesaplanmıştır. Silt – perlit karışımının her bir oranı için kuru birim hacim ağırlık belirlenmiştir.

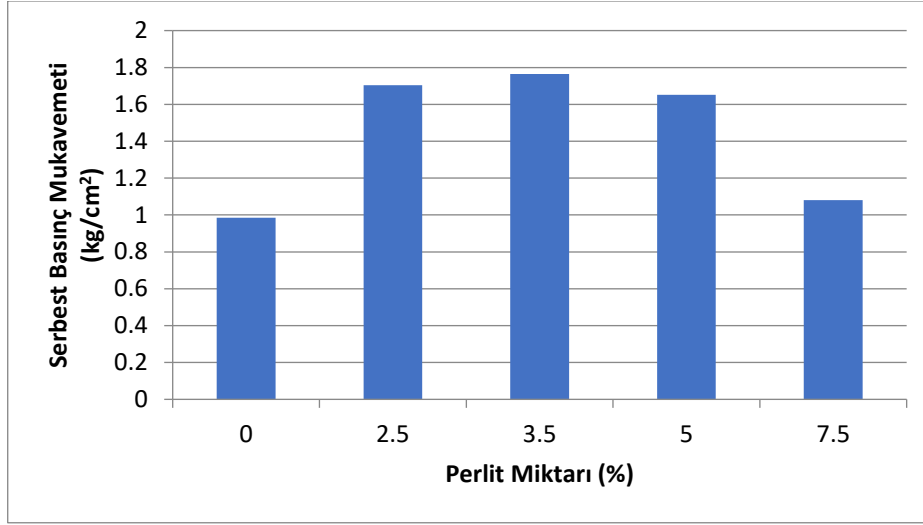


Şekil 3. Laboratuvarında hazırlanmış serbest basınç numunesi

Her bir deney en az üç defa tekrarlanarak deneylerin tekrarlanabilirliği sağlanmıştır. Verilen sonuçlar bu üç deneyin ortalaması alınarak bulunmuştur.

### 3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Perlit tozu karıştırılmadan hazırlanan referans numuneler test edildiği zaman en yüksek serbest basınç değeri  $1.02 \text{ kg/cm}^2$  olarak bulunmuş, üç tekrar deneyin ortalaması ise  $0.98 \text{ kg/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Numunelere %2.5 perlit tozu ilave edildiği zaman ortalama serbest basınç değeri  $1.70 \text{ kg/cm}^2$  çıkmaktadır. Karışım içerisindeki perlit tozu miktarı %3.5 olduğu zaman serbest basınç deneyi sonucu ölçülen mukavemet değeri ortalama olarak  $1.76 \text{ kg/cm}^2$  olmuştur. Perlit tozu siltli numuneye %5 olarak koyulduğu zaman ise ölçülen serbest basınç değeri  $1.65 \text{ kg/cm}^2$ 'ye düşmektedir. İlave edilen perlit miktarı %7.5'a çıktığında da serbest basınç mukavemetindeki düşüş devam etmiş ve ortalama olarak  $1.08 \text{ kg/cm}^2$  olarak ölçülmüştür. Ölçülen serbest basınç değerlerinin perlit miktarına göre değişimi aşağıdaki Şekil 5'da verilmiştir.



Şekil 5. Serbest basınç mukavemetinin perlit miktarı ile değişimi

Bu çalışmada zemine göre çok daha hafif olan perlit tozunun zemin mukavemetine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan zemin tipi olan siltin mukavemetinin büyük çoğunluğu sahip olduğu kohezyondan gelmekte, ancak ilave edilen perlit tozu ise granüler yapıya sahiptir. Kohezyonlu bir zemin tipine granüler bir malzeme ilave edilerek, taneciklerin rölatif hareketi sağlanmıştır. Bu şekilde zemin mukavemetinin kohezyon harici diğer bileşeni olan sürtünme açısı artırılmış ve bu da deney sonuçlarına yansımıştır.

Çalışma sonuçları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- Serbest basınç değerleri ilave edilen tüm perlit tozu oranlarında referans numuneye göre artmaktadır. Ancak en yüksek serbest basınç değeri %3.5 perlit tozu ilave edildiği zaman görülmektedir.
- Bu çalışmada kullanılan zemin tipi için en ideal perlit tozu karışım oranı %3.5 olarak belirlenmiştir.
- Atık bir ürün olan perlit tozu, zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılarak, doğaya olan zararlı etkisi azaltılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Chu S.C., Kao H.S., "A study of engineering properties of a clay modified by fly ash and slag: fly ash for soil improvement", *Geotechnical Special Publication*, vol. 36, pp. 89-100, 1993.
- [2] Nicholson P.O., Kashyap V., "Fly ash stabilization of tropic Hawaiian soils. fly ash for soil improvement", *Geotechnical Special Publication*, vol. 36, pp. 15-30, 1993.
- [3] Öntürk K., "Zemin iyileştirmesinde polisaj, kireç ve uçucu külün kullanımı", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2011.
- [4] Bilici H., Okur D.V., Türköz M., Savaş H., "Uçucu kül katkısının meşelik zemininin kompaksiyon ve dayanım karakteristiklerine etkisi", International Euroasian Conference on Science, Engineering and Technology (euroasianSciEnTech 2018), Ankara, 2018
- [5] Cokca E., Yazici V., Ozaydin, V., "Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (gbfs) and gbfs-cement", *Geotechnical and Geological Engineering* vol. 27, pp. 489-499, 2009.



- [6] Gör M., Aksoy H.S., Bilgen G., “Farklı katkı malzemelerinin kil bir zeminin kıvam limitleri üzerinde zamana bağlı etkisi”, Ulusal Kil Sempozyumu, Niğde, 2012.
- [7] Sivrikaya O., Yavascan S., Cecen E., “Effects of ground granulated blast-furnace slag on the index and compaction parameters of clayey soils”, *Acta Geotechnica* vol. 1, pp. 19-27, 2014.
- [8] Yıldırım I.Z., Prezzi M., “Geotechnical properties of fresh and aged basic oxygen furnace steel slag”, *Journal of Materials in Civil Engineering* vol. 27(12), pp. 1-11, 2015.
- [9] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/perlit>.
- [10] Özkan, M., H., “Perlit tozu İlavesi ile Zemin İyileştirme Çalışması”, Eskişehir Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi, Eskişehir.



## Kalsiyum Karbit Atığının zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği ve etkisinin kireç ve uçucu kül ile karşılaştırılması

### Usability and effect of Calcium Carbide Waste in soil improvement compared with lime and fly ash

Selman KAHRAMAN<sup>1</sup>, İnan KESKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([selmankahraman@karabuk.edu.tr](mailto:selmankahraman@karabuk.edu.tr))

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([inankeskin@karabuk.edu.tr](mailto:inankeskin@karabuk.edu.tr))

**Özet:** Bu çalışma kapsamında zayıf zeminlerin dayanım parametrelerinin asetilen sanayi üretiminden geriye kalan kalsiyum karbit atığı ile iyileştirilebilirliğinin kireç ve uçucu kül ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Tokat Karben A.Ş.' den temin edilen Bentonit ve 40 Nolu elek altına geçen dere kumu %75-%25 bentonit/kum karışımı olacak şekilde karıştırılmış ve deneyler için numune elde edilmiştir. Bentonit/kum karışımlarına ağırlığının kütlece %5, %10, %15 oranlarında kalsiyum karbit atığı, kireç ve uçucu kül katılarak her bir karışımın optimum su içeriklerinde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 1, 7, 14, 21 ve 28 günlük kürlenmeye bırakılarak her kür gününde çeşitli deneyler uygulanmıştır. Deneylerin aynı su içeriği ve sıkışıklıkla yapılması oldukça önemli bir unsur olduğundan başta saf numune olmak tüm karışımlar için hazırlanan numuneler bu hassasiyete uyularak deneylere hazırlanmıştır. Tüm katkı maddeleri için belirlenen karışım oranlarındaki numunelere her kür gününde serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyi yapılmış ve bu katkıların zemin iyileştirme performansları kür süreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kalsiyum karbit atığının ham numunenin serbest basınç dayanımı, kohezyonu ve içsel sürtünmesi açısı değerini çok ciddi manada iyileştirdiği saptanmıştır. Çalışmada kullanılan diğer katkılar ile birlikte değerlendirildiğinde kalsiyum karbit atığının kabul edilebilir sınırlarda olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalsiyum karbit atığı, zemin iyileştirme, kireç, uçucu kül, zemin dayanımı

**Abstract:** In this study, it was aimed to compare the strength parameters of weak soils with calcium carbide waste remaining from acetylene industrial production with lime and fly ash. For this purpose, the Bentonite supplied from Tokat Karben A.Ş. and the river sand passing under the 40 sieve were mixed to be a mixture of 75% -25% bentonite / sand and a raw sample was obtained for the experiments. By adding 5%, 10%, 15% by weight of calcium carbide waste, lime and fly ash to bentonite / sand mixtures, samples were prepared at optimum water contents for each mixture. The prepared samples were left to cure for 1, 7, 14, 21 and 28 days and various experiments were carried out on each curing day. Since it is a very important factor that the experiments are carried out with the same water content and tightness, the samples prepared for all mixtures, especially pure samples, were prepared for experiments in accordance with this sensitivity. Free pressure test and shear box test were carried out on each curing day on the samples in the mixing ratios determined for all additives and the soil improvement performances of these additives were evaluated considering the curing times. As a result of the experiments, it was determined that calcium carbide waste significantly improved the free compressive strength, cohesion and internal friction angle value of the raw sample. When evaluated together with other additives used in the study, it was observed that calcium carbide waste was within acceptable limits.

**Keywords:** Calcium carbide waste, soil improvement, lime, fly ash, strength of soil,



## **1. Giriş**

Bir mühendislik projesinin inşa edileceği temel zemin her zaman proje gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olmayabilmektedir. Bu durumda zemini istenilen mühendislik özelliklere sahip hale getirmek gerekmektedir. Bu kapsamda yapılacak çalışmalar uzun yıllardan beri geoteknik mühendisliğinin inceleme konuları olmuş ve hakkında birçok akademik çalışma oluşturulmuştur. Bu çalışma konusu, yalnızca ülkemizde değil dünyada da yapı zemin teknolojisinin gelişmesiyle farklı bakış açıları temelinde değerlendirilip yeni yöntem ve malzemeler zaman içerisinde geliştirilecektir.

Zemin iyileştirme, zemini uygun bir yöntem ile iyileştirip üzerindeki yapıları oturma ve dayanım açılarından sorun olmadan taşıyabilecek yöntemlerin tamamını kapsamaktadır. Literatürde birçok araştırmacı tarafından bu kapsamda farklı atık malzemeler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Zeminlerin katkı malzemeleri ile iyileştirilmesi diğer iyileştirme yöntemlerine göre nispeten daha ekonomik olması ne yaygın olarak kullanılmaktadır. Zemin ıslah çalışmalarında yaygın olarak kireç, cüruf, uçucu kül, çimento gibi katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzemelere ek olarak zemin stabilizasyonunda; köpük beton, talaş, ağaç kabuğu, çakıl taşı, endüstriyel atıklar, yonga, deniz kabuğu, atık pirinç kabuğu külü, yanmış yağ atığı, volkanik kül, mermer tozu, atık lastik gibi maddeler de yer almaktadır (Kamon M. vd. 1991, Aksoy, H. vd. 1998 Tremblay, H., 2001, Çokça, E. ve Toktaş, F. 2002, Şenol, A.ve Edil, T. 2004).

Endüstriyel atık maddelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi son yılların önemli bir araştırma konusu olmuştur. İnşaat sektöründe kullanılabilirliği olan endüstriyel atıkların sadece hammadde olarak kullanılmasının yanı sıra çeşitli mühendislik uygulamalarına da ekonomik çözüm olanağı sağlamaktadır. Ayrıca bu atık maddelerin yapı alanında ihtiyacı karşılaması, depolama ya da geri dönüşümden kaynaklanan çevre kirliliği ve ek maliyetler azalım sağlamasında kazanımlar oluşmuştur. Fabrikalardan çıkan atıkların günden güne artmasıyla nedeniyle bu atıkların değerlendirilmesinin hem çevre hem de mühendislik açısından değerli bir kazanım olacağı düşünülmektedir.

Asetilen üretiminden geriye kalan kalsiyum karbit atığının dayanım açısından zayıf zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi ve zemin iyileştirmede kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu kapsamda kalsiyum karbit atığının zemin iyileştirme performansının bu amaç için sıklıkla kullanılan ve literatürde oldukça fazla incelenen uçucu kül ve kireç ile performanslarının karşılaştırılması da amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kalsiyum karbit atığı asetilen sanayinde üretilen atık bir madde olup geri kazanımı yok denecek kadar azdır. Çalışma ile geri kazanımı olmayan bu malzemenin inşaat sektöründe kullanımının yaygınlaşması ekonomik açıdan büyük bir kazanım olacaktır.

Bu çalışma kapsamında bu konuyla ilgili olarak deneyler yaparak başta kalsiyum karbit atığı olmak üzere kireç ve uçucu külün zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi irdelenmiş olacaktır. Bu çalışmada zemin özelliklerinin aynı tutulması maksadıyla %75-%25 bentonit-kum karışımı kullanılmıştır. Bahsi geçen zemin karışımına kütlece artan oranlarda kalsiyum karbit atığı, uçucu kül ve kireç katkıları eklenerek optimum su muhtevasında karışımlar hazırlanmış ve kürlenmeye bırakılmıştır. Hazırlanan numunelere 1, 7, 14, 21, 28. gün kür sürelerinde serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda serbest basınç dayanımı, içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin gelişimi gözlemlenmiştir.

## 2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Killi zeminlerin yapıları etkileyen en önemli özelliği, muhtevastındaki su miktarının artması veya azalmasıyla hacimsel değişikler meydana getirerek yapıda deformasyonlara yol açmaktadır. Yapıların projelendirilmesi aşamasında bu duruma dikkat edilmemesi yapının kullanıma açılmasından sonra problemler oluşturmaktadır. Bu vb. durumlarda kil zeminleri iyileştirme tekniği olarak zemin katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Literatürde yer alan birçok katkı malzemesi kireç, çimento, uçucu külü vb. yerine alternatif katkı malzemelerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, zemin stabilizasyonunda kalsiyum karbit atığının zeminlerin mühendislik özelliklerine etkisi tartışılmıştır. Bu kapsamda deneysel çalışmalarda Tokat bölgesinden çıkarılan doğal bentonit, Zonguldak Çates Elektrik Üretim A.Ş' den uçucu kül, Bartın Kimtaş San. Tic. A.Ş' den kireç, asetilen üretim tesisinden atık olarak geriye kalan kalsiyum karbit atığı kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında deneylerde No: 40 elek altında kalan dere kumu ve tanelerin serbestleşmesi için yine 40 nolu elekten elenen bentonit karışımı zemin kullanılmıştır. Bentonit ise Tokat bölgesinden KarBen Bentonit Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firması tarafından işletilen ocaktan temin edilmiş olup bentonite ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1' deki gibidir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tanım	Sonuç
Elek analizi	% 10 (75 mikron)
Ateşde zahiyyat	% 6,2
Ensilin değeri (45 Dk)	313
Ensilin değeri (24 saat)	876
Nem	9
E	310
SiO <sub>2</sub>	%58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%2,5
CaO + MgO	%5,2
K <sub>2</sub> O	% 1,1
Na <sub>2</sub> O	%1

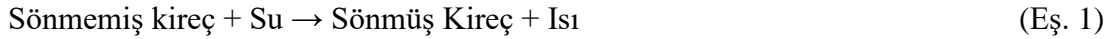
Çalışma kapsamında kullanılan katkı malzemelerinden olan F tipi ucucu kül Zonguldak Çates Elektrik Üretim A.Ş' den temin edilmiş olup uçucu külü ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal İçerik	% Yüzde İçerik
SiO <sub>2</sub>	%55,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%26,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%6,705
CaO	%1,544
MgO	%2,299
SO <sub>3</sub>	%0,012
Na <sub>2</sub> O	%1,153
K <sub>2</sub> O	%4,237
Cl	%0,10
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Min %70

Uçucu kül elektrik enerjisi üreten termik santrallerde üretilmektedir. Termik santrallerde kullanılan taşkömürün ve linyit kömürünün yanması sonucu kül olarak ortaya çıkan kalıntı bir malzemedir (Demiröz A., 2009). Uçucu küller içerdiği silis, alümin mineralleri ve ince olmaları yönünden zengin bir içeriğe sahiptir. Uçucu kül zemin katkısı olarak kullanıldığında bünyesindeki kalsiyum oksit, silikat ve alüminatın hidrasyona uğramasıyla kuvvetli bağlar oluşturarak zemin danelerini bir arada tutmaktadır (Çokça E., vd. 1998) Uçucu kül tipinden bağımsız olarak, uçucu kül içeriği arttıkça kuru birim hacim ağırlığı azalmaktadır. Bu azalım yüksek kül içeriklerinde daha belirgindir (Aruntaş, H.Y., 2006). S+A+F toplamının uçucu küllerde çoğunlukla %70 değerinden fazla olduğu görülmektedir. Üretimde kullanılan kömür türüne bağlı olarak bünyelerinde önemli oranda CaO bulunduran uçucu küller bulunmaktadır. CaO miktarı %10'un altında olan uçucu küller, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya kalsiyumlu uçucu kül olarak değerlendirilebilir. ASTM-C 618'e göre uçucu küller, silisyum oksit+ demir oksit+alüminyum oksit  $\geq$  %70 ise F sınıfı uçucu kül, silisyum oksit+demir oksit+alüminyum oksit  $\geq$  %50'nin üzerinde ise C sınıfı uçucu küller olarak sınıflandırılmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan diğer bir katkı malzemesi ise kireçtir. Kireç yüksek miktardaki bağlayıcı özelliğiyle yapı ve zemin stabilizasyonunda kullanılan kimyasal bir malzeme olup, Kireçtaşının 900 °C ila 1400 °C' de pişirilerek elde edilmektedir (Kalay E., 2010). Elde edilen sönmemiş kireç, su ile tepkimeye girerek, toz şeklinde sönmüş kireç oluşturmakta olup kimyasal denklemi aşağıdaki gibidir (Kalay E., 2010).



Kireç, CH zemin sınıfındaki zeminler için iyi bir iyileştirme katkı malzemesidir (Özaydın, K., 1989). Kireç stabilizasyonu; zeminin mukavemetinin ve şekil değiştirme modülünün artmasını, kabarma potansiyelinin ve şişme basınçlarının azalmasını ve çevre koşulları etkisi altında zeminin özelliklerinin bozulmasının daha sınırlı kalmasını yani dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca plastisitenin azalmasına yol açtığı için arazi çalışma koşullarının iyileşmesi sonucunu doğurmaktadır (Özaydın, K., 2000). Bu çalışma kapsamında kullanılan kireç Bartın İli Kimtaş fabrikasından temin edilen kireç kullanılmış olup kimyasal özellikleri Çizelge 3' deki gibidir.

**Çizelge 3.** Çalışmada kullanılan kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal İçerik	% Yüzde İçerik
Ca(OH) <sub>2</sub>	%85
Nem	%1,30
MgO	%2,50
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%0,45
SiO <sub>2</sub> + AÇM	%1,05
SO <sub>3</sub>	%1,05

Bu çalışma kapsamında kullanılan bir diğer katkı malzemesi ise Kalsiyum karbit atığıdır. Kalsiyum karbit atığı, esas olarak kalsiyum hidroksit, Ca(OH)<sub>2</sub> içeren asetilen üretim işleminin bir yan ürünüdür. Kalsiyum karbürün suyla tepkimeye girerek asetileni ve kalsiyum hidroksit (kalsiyum karbit atığı) oluşturur (Eş. 2). Endüstriyel kalitede kalsiyum karbür, hammaddede yaklaşık %80 CaC<sub>2</sub>, %15 CaO ve %5 diğer yabancı kimyasal maddeleri içermektedir. Yüksek sıcaklıkta sıvı halde oluşan kalsiyum karbit atığı, daha sonra soğumaya ve katılaşmaya sürecine tabi tutulur.



Kil zeminlerin iyileştirilmesinde kalsiyum hidroksitçe zengin malzemeler (çimento, kireç vb.) etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Kalsiyum hidroksitin çözünmesiyle boşluk suyundaki pH değerini artırarak güçlü bazların kil mineral yapısındaki silis ve alüminayı çözdüğünü belirtmiştir (Kampala, A., ve Horpibulsuk, S., 2013). Herrin ve Mitchell göre hidrate silika ve alümina, kalsiyum ile yavaş yavaş reaksiyona girer ve zamanla katılaşmaya yol açan puzolanik reaksiyonlar gerçekleşir (Horpibulsuk, S., vd. 2013; Eskişar, T., ve Altun S., 2017). Asetilen sanayinin gelişmesiyle ve günden güne talebin artmasıyla kalsiyum karbit atığı çok fazla miktarda oluşmaktadır. Bir tesiste günde tonlarca atık ortaya çıkmaktadır. Depolaması ve taşınmasının yüksek maliyetli olması nedeniyle alternatif bir katkı malzemesi olarak kullanılması çalışmanın önemini artırmaktadır. Deneylerde asetilen sanayinden geriye kalan atık bir malzeme olan kalsiyum karbit atığı kullanılmış olup kimyasal özellikleri Çizelge 4' deki gibidir.

**Çizelge 4.** Çalışmada kullanılan kalsiyum karbit atığının fiziksel ve kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal İçerik</b>	<b>% Yüzde</b>
<b>CaO</b>	70,78
<b>SiO<sub>2</sub></b>	6,49
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,55
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,25
<b>MgO</b>	0,69
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,66
<b>K<sub>2</sub>O</b>	7,93

### **3. Metod**

Bentonit–kum kütlece %75-%25 oranlarında No:40 elek altından alınıp etüvde kurutularak hazırlanmıştır. Hazırlanan bentonit-kum karışımına ağırlıkça %5, 10, 15 oranlarında uçucu kül, kireç ve kalsiyum karbit atığı eklenerek, optimum su içeriği değerlerini elde etmek için kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deneyinden elde edilen optimum su içeriklerinde numuneler hazırlanıp küre tabi tutulmuştur. Hazırlanan numunelere 1, 7, 14, 21, 28 gün süreyle kür uygulanmıştır. Numuneler saklanma koşulları, çeşitli dış faktörlerin deney sonuçlarını etkilememesi için büyük önem arz etmekte olup hava geçirmeyen kapalı ortamda muhafaza edilmiştir.

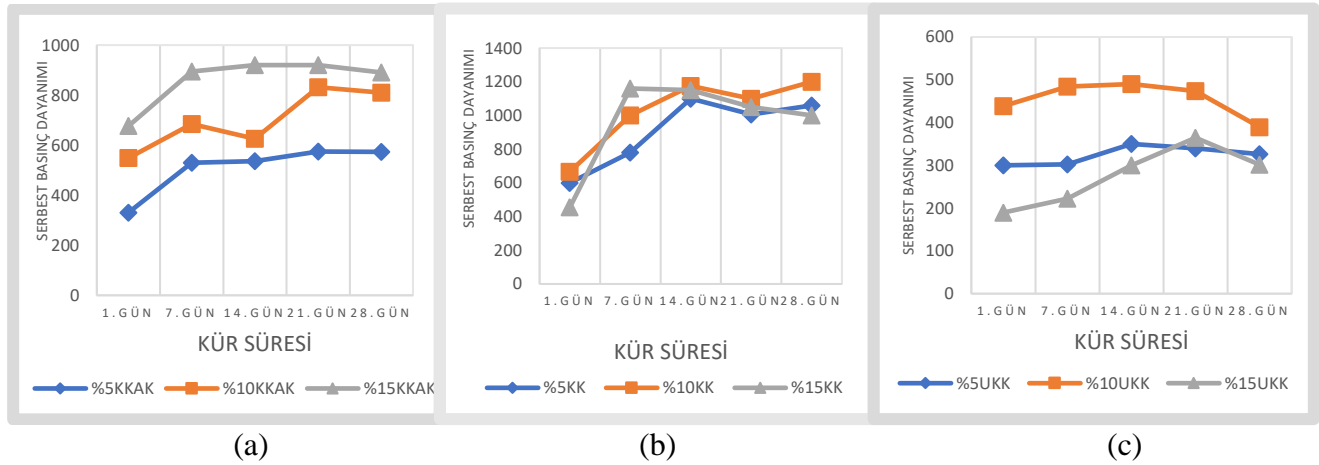
### **4. Bulgular ve Tartışma**

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin zeminlerin geoteknik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. İlk olarak %75-%25 kil-kum karışımına her bir katkı malzemesi için ayrı ayrı olmak üzere %5,10,15 oranlarında katılan kalsiyum karbit atığı, uçucu kül ve kirecin 1, 7, 14, 21, 28. gün kür sürelerinde serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyi yapılarak her çalışmanın sonuçları verilmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında ham numune olarak belirlenen %75-%25 Bentonit-Kum karışımının serbest basınç dayanım deneyi ve kesme kutusu deneyi yapılarak dayanım parametreleri elde edilmiştir. İlgili deneyler sonucunda karışımın  $q_u=253,36$  kN/m<sup>2</sup>,  $c=80$  kPa,  $\phi=6,1^\circ$  olarak bulunmuştur. Sonrasında kür süresi ve karışım oranları dikkate alınarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Bu verilerden yola çıkarak katkı maddelerinin ve kür sürelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Kalsiyum karbit atığının kür süresince serbest dayanımdaki değişimi Şekil 1 (a)' da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, tüm karışım oranlarında 7 günlük kür süresine kadar serbest basınç dayanımında önemli bir artış, ancak 7. günden sonra serbest basınç dayanımının kür süresine bağlı olarak bariz bir artıştan ziyade sabit bir eğilim göstermekte olduğu değerlendirilmektedir. %10 kalsiyum karbit atığı katkılı zeminin dayanımında 14. gün den sonra tekrar bir artış gözlenmiştir. Şekil 1 (a)'dan görüleceği üzere kalsiyum karbit atığı miktarının artışı zemin dayanımını artırıcı bir unsur olmuştur. Genel bir değerlendirme ile kalsiyum karbit atığının zeminin serbest basınç dayanımını yüksek seviyeye çıkardığı değerlendirilmekte olup kür süresinin 7.günden sonra dayanımda ciddi bir değişiklik oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kireç katkılı zeminin kür süresince serbest dayanımdaki değişim Şekil 1 (b)' de gösterilmiştir. Şekil 1 (b) incelendiğinde %5, %10 ve %15 kireç katkılı karışımda 7 günlük kür süresine kadar serbest basınç dayanımında önemli bir artış gözlenmiştir. Bu artış %5 ve %10 karışımlarında 14. güne kadar devam etmiş sonrasında sabitlenirken %15 kireç karışımında 7. gün sonrasında sabit bir eğilim olduğu görülmüştür. Ayrıca %10 kireç katkılı zeminin serbest basınç dayanımını 28. gün kür süresi baz alındığında en yüksek seviyede olduğu gözlenmiştir.

Uçucu kül katkılı zeminin kür süresince serbest dayanımdaki değişim Şekil 1 (c)' da gösterilmiştir. Buna göre, en yüksek dayanım %10 uçucu kül katkılı zeminde gözlenmekte olup kürlenmenin dayanıma etkisi en fazla %15 karışımında olmuştur. Grafik incelendiğinde görüleceği üzere %5 ve %15 uçucu kül katkılı zeminlerin 28. gün dayanımlarının hemen hemen aynı seviyeye erişmiştir.

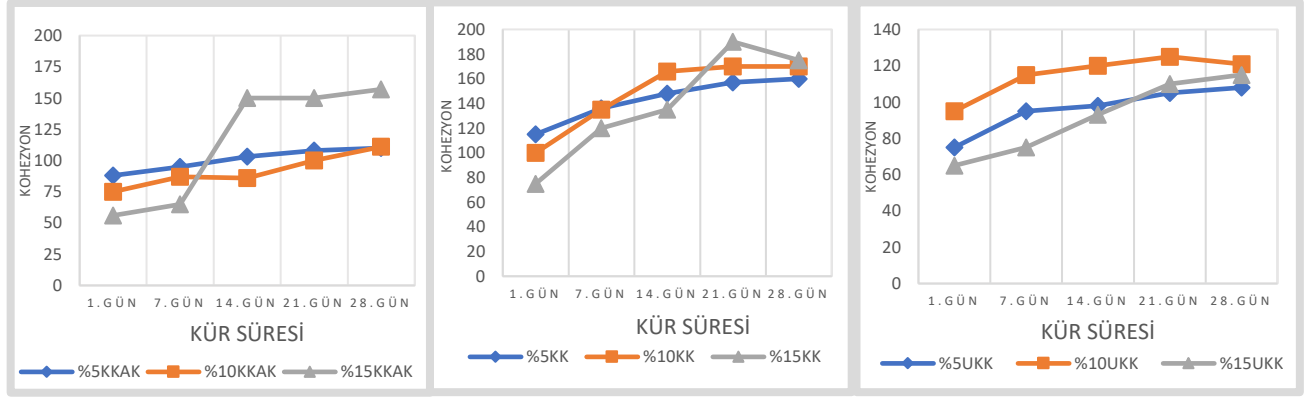


Şekil 1. Çalışmada kullanılan katkıların serbest basınç dayanıma etkisi

Kalsiyum karbit atığı katkılı zeminin kür süresince kohezyona etkisi Şekil 2. (a) belirtilmiştir. Şekil 2 (a)' da görüldüğü üzere karışımdaki kalsiyum karbit atığı oranının artması kohezyonu azaltıcı bir unsur olmaktadır. Ancak Şekil 2 (a) detaylıca incelendiğinde her karışım oranında kürlenmeyle birlikte kohezyonda artış söz konusu olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca %15 kalsiyum karbit katkılı zeminde 14.günde başlayan kohezyon artışı 28 günlük kür süresi sonucunda en yüksek kohezyon değerine ulaşılmıştır.

Şekil 2 (b) incelendiğinde kireç katkı miktarının artmasıyla kohezyon değerinde bir azalma olduğu gözlenmiştir. Kürlenmenin etkisiyle her karışım oranında kohezyon değerinde artış olduğu söylenebilmektedir. Şekil ' de görüldüğü üzere %15 kireç katkılı zeminde 28 günlük kür süresi sonucunda en yüksek kohezyon değerine ulaşılmıştır.

Şekil 2. (c) de görüldüğü üzere uçucu kül zeminlerin kohezyon değerine etkisi değerlendirildiğinde uçucu külün zeminlerin kohezyon değerinde artış sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kür süresinin kohezyon değerini genel itibariyle artırdığı sonucuna varılmıştır. Şekil incelendiğinde %10 uçucu kül katkılı zeminde en yüksek kohezyon değerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



(a)

(b)

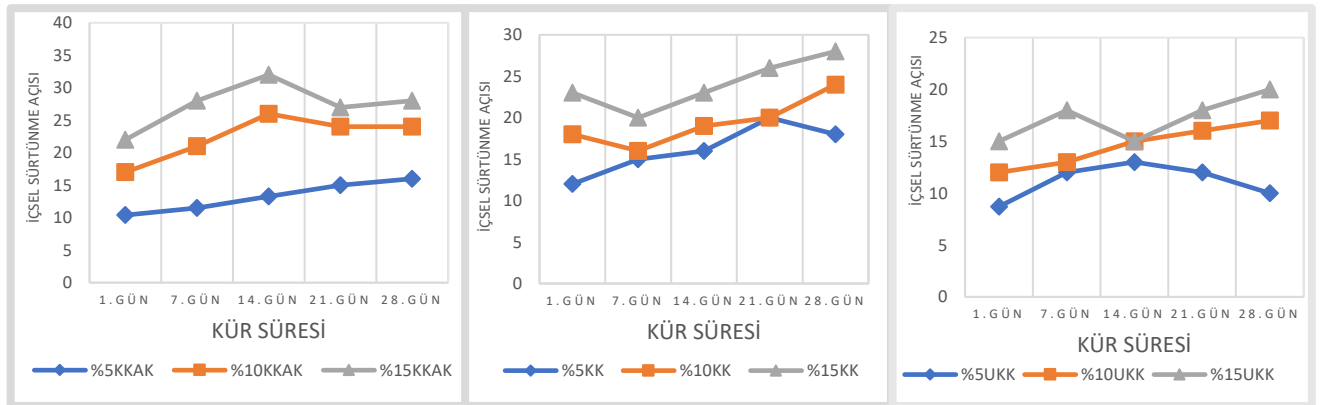
(c)

Şekil 2. Çalışmada kullanılan katkıların kohezyona etkisi

Şekil 3 (a) analiz edildiğinde görüleceği üzere kalsiyum karbit atığının killi zeminlerin içsel sürtünme açısını artırdığı söylenebilmektedir. Kalsiyum karbit atığı katkı oranının artmasıyla içsel sürtünme açısının arttığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 3 (a)'da görüldüğü üzere kürlenmenin etkisiyle içsel sürtünme açısında ilk etapta bir artış devamında ise genellikle kısmi bir azalış görülmektedir.

İncelenen bir diğer katkı malzemesi olan kirecin, içsel sürtünme açısına etkisinin değerlendirmesi yapılmıştır. Şekil 3 (b) incelendiğinde açıkça görüleceği üzere kireç katkısı kürlenme süresinde içsel sürtünme açısını tüm karışım oranlarında artırdığı söylenebilmektedir. Kireç katkı oranı arttıkça içsel sürtünme açısı değerinin arttığı söylenebilmektedir. Aynı zamanda genellikle karışım oranlarında kürlenmeyle birlikte içsel sürtünme açısında artışın devam ettiği sonucuna varılmıştır.

Şekil 3 (c) incelendiğinde uçucu kül katkısı kür süresinin ilk gününde içsel sürtünme açısında artış gözlemlenmiştir. Uçucu kül katkı miktarının artışıyla içsel sürtünme açısı değerinde artış görülmektedir. Kürlenmenin etkisiyle genellikle kohezyon değerinin de arttığı söylenebilmektedir.



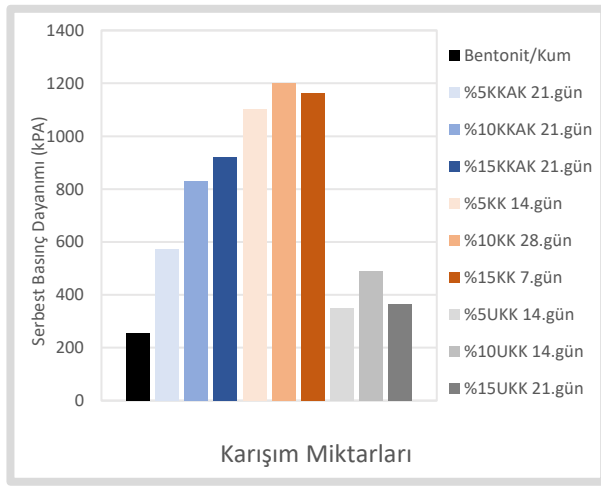
(a)

(b)

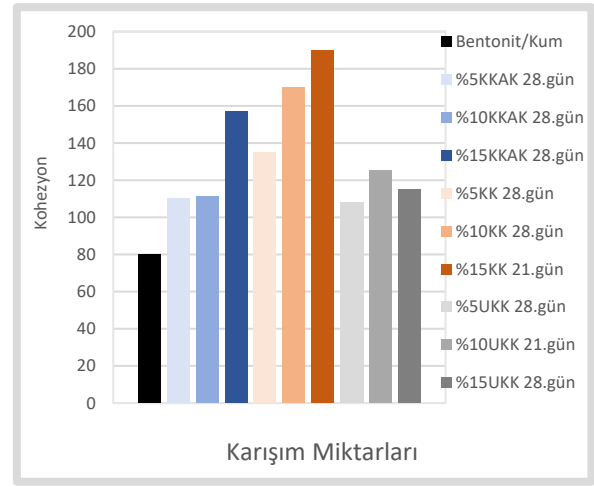
(c)

Şekil 3. Çalışmada kullanılan katkıların içsel sürtünme açısına etkisi

Her bir karışım miktarının kür süresindeki en yüksek serbest basınç dayanımı Şekil 4 (a)'da belirtilmiştir. Şekil 4 (a) incelendiğinde serbest basınç dayanımındaki en fazla artışın kireç katkısıyla gerçekleştiği, kalsiyum karbit atığının ise önemsenecek miktarda dayanımı artırdığı görülebilmektedir. Kalsiyum karbit atığı miktarındaki artış ile dayanım artarken, kireç miktarını %10 dan fazla olması durumunda dayanımda azalma gözlenmektedir. Şekil 4 (a)'dan görüleceği üzere dayanımdaki maksimum artış %10 kireç katkısıyla sağlanırken uçucu kül ise diğer katkı malzemelerine oranla daha az bir dayanım artışı sağlamıştır. Kürleşmenin etkisine bakacak olursak genel anlamda kür süresinin 7.günde dayanımı önemli ölçüde artırdığı ancak sonrasında dayanıma etkin bir artış sağlamadığı değerlendirilmektedir. Her bir karışım oranının kürleşme sürecindeki maksimum kohezyon değeri Şekil 4 (b)' de belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde kalsiyum karbit atığının ve kireç katkılarının kohezyona olumlu yönde bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Uçucu kül katkısının ise diğer katkılara göre etkisi nispeten daha az olduğu sonucuna varılmaktadır.



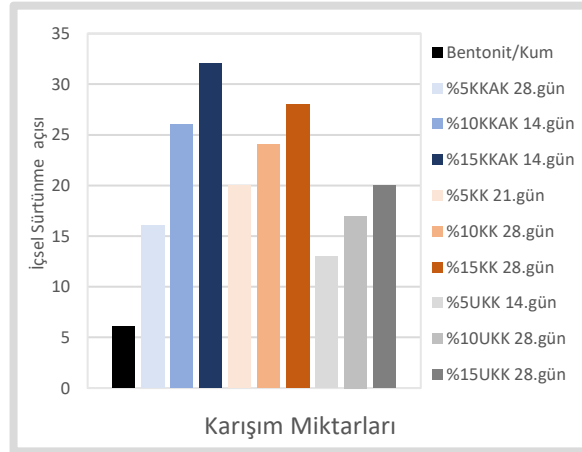
(a)



(b)

Şekil 4. Kür sürecince karışım oranlarının maksimum serbest basınç dayanım ve kohezyon değeri.

Her bir karışım oranının kürleşme sürecindeki maksimum içsel sürtünme açısı değeri Şekil 5'de belirtilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan bütün katkıların ham numunenin içsel sürtünme açısını artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kalsiyum karbit atığı katkısı neredeyse kireç katkısı kadar olumlu yönde etkili olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5. Kür sürecince karışım oranlarının maksimum içsel sürtünme açısı değeri.

## 5. Sonuçlar

Çalışma kapsamında kullanılan katkıların serbest basınç dayanımına etkisi değerlendirilmiştir. İlk olarak kalsiyum karbit atığını değerlendirdiğimizde katkı oranı artmasıyla dayanım arttığı görülmektedir. %15 kalsiyum karbit katkısı ham numunenin serbest basınç dayanımını artırdığı grlmüştür. Dayanıma kürlenme açısından bakacak olursak kürlenmenin etkisinin olmadığı saptanmıştır. İkinci olarak çalışmada kullanılan kireç katkısı, 28 günlük kür süresi baz alındığında ham numunenin dayanımını %10 katkı oranında tüm katkı oranları içerisinde en yüksek artış sağlanmıştır. Kireç katkısına kürlenmenin etkisi açısından bakacak olursak %5, %10 ve %15 kireç katkılı karışımda 7 günlük kür süresine kadar serbest basınç dayanımında önemli bir artış gözlenmiştir. Bu artış %5 ve %10 karışımlarında 14. güne kadar devam etmiş sonrasında sabitlenirken %15 kireç karışımında 7. gün sonrasında sabit bir eğilim olduğu grlmüştür. Son olarak uçucu kül %10 katkı oranında ideal bir dayanım artışı sağlamıştır. Genel bir değerlendirme ile kr süresinin 7.günden sonra dayanımda ciddi bir değişiklik oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda kalsiyum karbit atığının dayanıma ciddi manada etkisinin olduğu grlmüştür.

Bentonit/Kum ve bu karışıma eklenen belirli oranlarda katkıların mukavemet parametrelerinin gelişimi incelenmiştir. Kohezyon değeri genel manada katkı oranı arttıa azaldığı grlmüştür. Kürlenmenin etkisiyle kalsiyum karbit atığı kireç ve uçucu kül katkılarında kohezyon değerinde bir artış söz konusudur. 28 günlük kür süresi baz alındığında 14.günden sonra kalsiyum karbit artığı ve kireç katkısının %15 oranında, uçucu kül katkısı ise %10 katkı oranında pik değere ulaşmıştır.

Ham numuneye katılan katkıların içsel sürtünme açısına olan etkisi değerlendirilmiştir. Kalsiyum karbit atığı kireç ve uçucu külde %15 katkı oranlarında içsel sürtünme açısı optimum değere ulaşmıştır. Krlenmeyle birlikte genel anlamda içsel sürtünme açısının arttığı daha sonrasında genel manada azaldığı grlmüştür. Tüm katkılar incelendiğinde ham numunenin kayma mukavemeti parametrelerinin olumlu yönde iyileştiği görülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, kalsiyum karbit atığı zemin özelliklerini iyileştirici bir malzeme olup, çalışma kapsamında incelenen diğer katkı malzemelerinin performansları ile karşılaştırıldığında zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılabilir nitelikte olduğu söylenebilir. Kalsiyum karbit atığının inşaat sektöründe değerlendirilmesi ve bu atık malzemenin ekonomiye katılması açısından önemli bir unsur olup, depolanması ve sonrasında kievre kirliliğinin önüne geçilmesi açısından da önemli olduğu değerlendirilmiştir. Kalsiyum karbit atığı diğer katkı malzemeleri ile kullanıldığında nasıl bir sonuç vereceği araştırabilir.

## KAYNAKLAR

Aksoy, H. S., Yılmaz, M., Akarsu, E. E., “Killi bir zeminin tunçbilek uçucu külü kullanılarak stabilizasyonu”, *Firat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 6(3), 88-92, (1998).

Aruntaş, H.Y., “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanımı”, *G.. Müh. Mim. Fak.Dergisi*, 21 (1), 193-203, (2006).

ASTM C 618, “Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete”, *ASTM*, (1991).



Çokça, E., T. Kireç İpek, C., "F Sınıfı Uçucu Kül Katkısının Şişen Bir Zeminin Şişme Basıncına Etkisi." *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi 10*, (1998)

Çokça, E., Toktaş, F. "Dispersif Bir Kilin C-Tipi Uçucu Kül ile Stabilizasyonu", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği*, 9, 659-668, (2002).

Demiröz A. "Uçucu Küllerin Geoteknik Mühendisliğinde Kullanımı", *Selçuk-Teknik Dergisi*, 8(3), 212-221, (2009).

Horpibulsuk, S., Phetchuay, C., Chinkulkijniwat, A., and Cholaphatsorn, A., "Strength development in silty clay stabilized with calcium carbide residue and fly ash", *Soils And Foundations*, 53 (4): 477–486 (2013).

Eskişar, T., Altun S., "Kalsiyum karbür ile iyileştirilen bir zeminin mühendislik özellikleri", *7. Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, (2017).

Kamon, M., Nontananandh, S., "Combining industrial wastes with lime for soil stabilization" *Journal of geotechnical engineering*, 117(1), 1-17. (1991).

Kampala, A., Horpibulsuk, S., "Engineering properties of silty clay stabilized with calcium carbide residue", *Journal Of Materials In Civil Engineering*, 25 (5): 632–644 (2013).

Özaydın, K., "Zemin Mekaniği", *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul, (2000).

Özaydın, K., "Zemin Mekaniği", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1989).

Tremblay, H., Leroueil, S., Locat, J., "Mechanical improvement and vertical yield stress prediction of clayey soils from eastern Canada treated with lime or cement", *Canadian Geotechnical Journal*, 38(3), 567-579, (2001).

Şenol, A., Edil, T. "Uçucu kül ile stabilize edilen yumuşak zeminlerin cbr sonuçlarının değerlendirilmesi", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği ZM10. Onuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, s. 275-280, (2004).



## Yoğrulmuş Yüksek Plastisiteli Killerde Pik Kayma Direncinin ve Kilin İndeks Özelliklerinin Rezidüel Kayma Direncinin Üzerindeki Etkisi

### The Effect of Peak Shear Strength and Index Properties on the Residual Shear Strength of High Plastic Remoulded Clays

Ebru Akış<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye. (312)5868779, ebru.akis@atilim.edu.tr

**Özet-** Şevlerde stabilite sorunu yaşanması oldukça sık karşılaşılan geoteknik mühendisliği problemlerindedir. Kayma hareketi gözlenen bir şevin çözüm projelerinde gerçekçi modelleme yapabilmek için rezidüel kayma direnci parametrelerinin kullanılması kaçınılmazdır. Kayma düzleminde oluşan bu parametreler, laboratuvarında örselenmemiş ve/veya yoğrulmuş numuneler üzerinde yapılan tekrarlı direkt kesme ve halka kesme deneyleri ile tayin edilebileceği gibi, zeminin indeks özelliklerinin kullanıldığı bağıntılar ile veya kayan şeve geri analiz yapılarak da öngörülebilmektedir. Bu çalışmada normal konsolide, yüksek plastisiteli killerin rezidüel kayma direnci parametrelerinin, zeminin pik kayma direnci ve indeks özelliklerine bağlı olarak tayin edilmesi için ampirik bağıntılar önerilmiştir. Bağıntıların bulunması için kullanılan veriler, ülkemiz literatüründen derlenmiştir. Sonrasında, üç farklı gerilme altında, yoğrulmuş kil numuneler üzerinde yapılan tekrarlı direk kesme deneyleri sonucu elde edilen rezidüel kayma direnci parametreleri ile bu çalışmada ve literatürde verilen diğer bağıntılardan elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

**Abstract-** Slope stability problems are one of the most common geotechnical engineering problems. In slope stabilization projects, it is inevitable to use the residual shear strength parameters in order to make realistic modeling. The mobilized parameters on the failure plane can be determined by performing multi-reversal direct shear tests and/or ring shear tests on the undisturbed and/or remoulded samples as well as by using correlations based on physical properties of soil or by performing back analyses. In this study, empirical correlations have been proposed to estimate the residual shear strength of normally consolidated high plastic clays, depending on the peak shear strength and index properties of the soil. The data used to predict the correlations were compiled from the previous studies of our country. Finally, the residual shear strength parameters of the clay obtained from multi-reversal direct shear tests performed under three different normal stresses were compared with the correlations suggested in this study and literature.

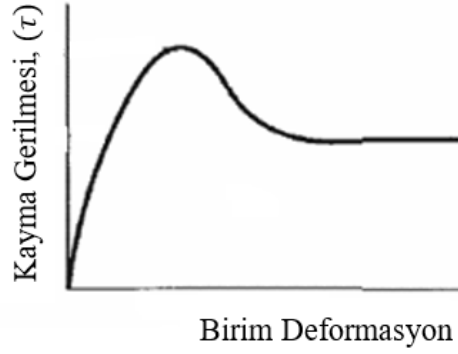
## 1. Giriş

Kayma oluşan şevlerin çözüm projelerinde kullanılması kaçınılmaz olan rezidüel kayma direnci parametreleri geri analiz yapılarak, literatürdeki zeminin indeks parametrelerine dayanan bağıntılar kullanılarak veya laboratuvarında tekrarlı direkt kesme ve halka kesme deneyleri yapılarak öngörülebilmektedir. Her yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Geri analiz yöntemi ile kayma direnci parametrelerinin tayin edilmesi durumunda kayan şevin geometrisi, zeminin birim hacim ağırlığı ve kayma sırasındaki yer altı su durumunun gerçekçi olarak modellenmesi büyük önem taşımaktadır. Kayma esnasındaki yeraltı suyu/boşluk suyu basınçları durumunun tespit edilmesi kolay olmayıp tahmini önemli belirsizlik içerebilmektedir. Ancak, yeraltı suyu/boşluk suyu basınçları durumunun geri analizler ile bulunan rezidüel kayma direncine etkisi çok yüksektir. Literatürde önerilen korelasyonlar, rezidüel kayma direnci parametrelerini plastisite indisi, likit limiti, kil oranı gibi özellikleri bağlı olarak tahmin edebilmesine rağmen [2-10], bu öngörüler benzer fiziksel özelliklere sahip zeminler için geniş bir aralıkta olabilmektedir. Halka kesme deneyleri, sahadaki davranışa en yakın şekilde, sürekli kesme yapılabilmesi nedeniyle avantajlı olsa da [1,2], cihazların laboratuvarlarda yaygın olarak bulunmaması nedeniyle sıkça kullanılamamaktadır. Öte yandan, direkt kesme cihazlarının laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılmasına karşın rezidüel parametrelere ulaşmak için deneylerin tekrarlı yapılması gerekmektedir. Tekrarlı direkt kesme deneylerinin hızı, zemin cinsine bağlı olarak, kesme sırasında boşluk suyu basıncı oluşumunu engellemek için çok yavaş olabilmekte ve tekrar sayısına bağlı olarak deneylerin projelendirme sürecinde yapılmasını pratik olmaktan çıkarabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı deney süreçlerinin pratikleştirilmesi ve gerçeğe mümkün olduğunca yakın rezidüel kayma parametrelerinin tayin edilebilmesi önem kazanmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada ülkemiz zeminlerinde yapılan önceki çalışmaların sonuçları kullanılarak yukarıda bahsedilen özelliklere ek olarak zeminin pik ( $\phi_p$ ) kayma direnci etkisini de dikkate alan bağıntılar öngörülmüş ve bu bağıntıların verdiği sonuçlar literatürdeki diğer bağıntıların verdiği sonuçlar ve gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Pik ve Rezidüel Kayma Direnci Parametreleri

Normal konsolide killerde kayma gerilmesi-birim deformasyon arasındaki bağıntı sünek olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle artan deformasyon altında kayma dayanımı bir pik değere ulaştıktan sonra zemin daneciklerinin yeniden yönelimi ve zemin dokusunun kırılması nedenleriyle azalır (Şekil 1). Kayma gerilmesi-birim deformasyon eğrisindeki en yüksek nokta pik dayanım ( $\phi_p$ ), deformasyonun çok büyük değerlere gelmesiyle pik dayanımda meydana gelen düşüş sonrası erişilen kayma gerilmesi ise rezidüel (kalıcı) dayanım ( $\phi_r$ ) olarak tanımlanır [7]. Kil yüzdesi (CF) ve plastisite indisi (PI) yüksek olan zeminlerde bu düşüş çok sert olmaktadır [7,11]. Ayrıca, Skempton [7] rezidüel kohezyon değerinin çok düşük olduğunu ve sıfır olarak alınabileceğini belirtmiştir. Bu nedenle önerilen ampirik bağıntılarda söz konusu özelliklerin rezidüel kayma direnci üzerindeki etkisi incelenmiş ve rezidüel kayma direnci sekant kayma direnci açısı olarak verilmiştir.

Rezidüel kayma direncini etkileyen parametreler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Hawkins ve Privett [12] artan normal gerilme ( $\sigma_n$ ) altında zeminin rezidüel kayma direncinin azaldığını göstermiştir. Bunu yanısıra, zeminin aşırı konsolidasyon oranı (AKO) zeminin pik dayanımı etkileyen bir faktördür. Ancak, Skempton [13] aynı normal gerilme altında AKO'nun zeminlerin rezidüel kayma direncine etkisinin olmadığını belirtmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmada bağıntılar farklı normal gerilme değerleri için önerilmektedir.



Şekil 1. Normal Konsolide Killerde Kayma Gerilmesi – Birim Deformasyon Eğrisi

### 3. Rezidüel Kayma Dayanımının Tahmin Edilmesi için Önerilen Amprik Bağlıntılar

Hatipoğlu'nun [2] 73 ve Ürkmez'in [3] 39 adet yüksek plastisiteli, normal konsolide kil numuneler üzerinde yaptığı tekrarlı direk kesme deneylerinden elde ettikleri pik ve rezidüel kayma dayanımı parametreleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.  $\phi_r$  bağımlı değişken (yordayıcı),  $\sigma_n$ , PI, CF,  $\phi_p$  ise bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. Önce, bağıntılarda kullanılacak olan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni anlamlı bir şekilde yordadığını kontrol etmek için pearson korelasyonu kullanılmıştır. Pearson korelasyonu katsayısı ( $r$ ) -1 ile +1 arasında bir sayı olup, iki değişken arasındaki ilişkinin derecesinin belirlenmesinde kullanılır [14]. Bu katsayı pozitif ise değişkenlerden biri artarken diğerinin de arttığı, negatif ise değişkenlerden biri artarken diğerinin azaldığını göstermektedir. Ayrıca iki değişken arasında ilişki olduğundan bahsedebilmek için  $r$ 'nin 0.2'den büyük olması gerekmektedir. Tablo 1'de  $\phi_r$  bağımlı değişkeninin seçilen bağımsız değişkenler ile arasındaki Pearson korelasyon katsayıları verilmektedir. Ayrıca, bağımlı değişken ile söz konusu dört bağımsız değişken arasındaki ilişki kuvvetlerinin sayısal tahminlerini ( $p$  değeri) gösteren regresyon analizi yapılarak sonuçları Tablo 2'de verilmektedir.  $p$  değerinin 0.05'in altında olması karşılaştırma sonucunda anlamlı farklılık bulunduğunu göstermektedir [15]. Yapılan analiz sonucunda, dört bağımsız değişkenin de bağımlı değişken ile arasında istatistiksel anlamlı fark olduğu, ancak PI, CF,  $\phi_p$  değişkenlerinin  $\phi_r$ 'yi istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde yordadığı (tahmin ettiği) görülmüştür. Bu nedenle, önerilecek bağıntılar farklı gerilme durumları ( $\sigma_n$ ) için bu üç bağımsız değişken kullanılarak önerilecektir.

**Tablo 1.**  $\phi_r$  bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler ile arasındaki Pearson korelasyon katsayıları

$\sigma_n$ (kPa)	PI (%)	CF (%)	$\phi_p$ (°)
0.090	-0.588	-0.259	0.657

**Tablo 2.** Regresyon analizi sonucu elde edilen  $p$  değerleri

$\phi_p$ (°)	PI (%)	CF (%)	$\sigma_n$ (kPa)
0.000	0.003	0.040	0.001

**Tablo 3.** Regresyon analizi sonucu elde edilen VIF değerleri

$\phi_p$ (°)	PI (%)	CF (%)	$\sigma_n$ (kPa)
1.796	1.572	1.051	1.314

Bir sonraki adımda, üç bağımsız değişken arasındaki çoklu bağlantı (multicollinearity) kontrol edildi. Çoklu bağlantı testleri bağımsız değişkenlerin arasında ilişkinin etkisini ölçer. İlişkinin yüksek olması durumunda değişkenlerin etkisi birbirinin çok benzeri olacağından ikisinden birinin değerlendirmeye alınmaması önerilir. Varyans artış faktörü (VIF) değişkenler arasındaki ilişkinin hangi derecede azaltıldığını açıklar. VIF değerinin 10'dan küçük olması durumunda regresyon analizinde çoklu bağlantı sorunu olmadığı anlaşılmaktadır [15].

Literatürdeki bağıntılar incelendiğinde  $\phi_r$ 'nin genellikle kilin PI ve CF değerlerine bağlı olarak verildiği görülmektedir. Bu çalışmada  $\sigma_n = 100kPa$ ,  $\sigma_n = 200kPa$  ve  $\sigma_n = 300kPa$  için ayrı bağıntılar önerilecektir. Bağımlı değişken  $\phi_r$ , seçilen üç değişkenin farklı kombinasyonları için tayin edilmiştir. Farklı normal gerilmeler altındaki zeminler için elde edilen doğrusal ve doğrusal olmayan bağıntılar Tablo 4'de verilmektedir.

**Tablo 4.**  $\phi_r$ 'nin seçilen bağımsız değişkenlere göre tahmini

Normal Gerilme (kPa)	Tahmin Denklemi	R <sup>2</sup>
100	$\phi_r = -2.248 + 0.555\phi_p$	0.591
	$\phi_r = 5.653 + 0.417\phi_p - 0.085PI$	0.640
	$\phi_r = 7.141 + 0.408\phi_p - 0.086PI - 0.040CF$	0.667
	$\phi_r = -0,003\phi_p^3 + 0.256\phi_p^2 - 6.354\phi_p + \frac{4107.550}{PI^2} + 56.026$	0.818
200	$\phi_r = -7.508 + 0.487\phi_p$	0.498
	$\phi_r = -9.691 + 0.249\phi_p - 0.148PI$	0.530
	$\phi_r = -7.508 + 0.191\phi_p - 0.153PI - 0.148CF$	0.553
	$\phi_r = -0.008\phi_p^3 + 0.603\phi_p^2 - 13.472\phi_p + \frac{1999.172}{PI^2} + 102.457$	0.584
300	$\phi_r = -7.757 + 0.892\phi_p$	0.554
	$\phi_r = -4.545 + 0.809\phi_p - 0.028PI$	0.562
	$\phi_r = -2.256 + 0.770\phi_p - 0.031PI - 0.034CF$	0.571
	$\phi_r = -0.002\phi_p^3 + 0.165\phi_p^2 - 3.957\phi_p + \frac{540.739}{PI^2} + 36.004$	0.599

Linear bağıntılar incelendiğinde denklemlerin bağımsız değişken sayısı arttıkça belirleme katsayısının (R<sup>2</sup>) değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeni  $\phi_r$  'yi iki makul yordayıcının tek yordayıcıdan daha iyi tahmin etmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca doğrusal olmayan bağlantıların ise daha yüksek R<sup>2</sup> değerleri ile  $\phi_r$  'yi tahmin ettiği görülmektedir.

100 kPa normal gerilme altındaki deneyler için R<sup>2</sup> değeri 0.818 gibi iyi bir değere yaklaşırken, 200 ve 300 kPa normal gerilmeler altında yapılan deney sonuçlarından elde edilen değerler sırasıyla 0.584 ve 0.599'dur. Tüm R<sup>2</sup> değerlerinin yükseltilmesi için analizlerde kullanılan örnek sayısının artırılması gerekmektedir.

#### 4. Önerilen Bağıntıların Literatürdeki Bağıntılar ile Karşılaştırılması

Akış [16] tarafından yüksek plastisiteli, yoğrulmuş, Ankara kili numuneleri üzerinde, 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa normal gerilme altında yapılan yapılan tekrarlı direkt kesme deneyleri sonuçları bu çalışmada ve literatürde önerilen bağıntılarının karşılaştırmasının yapılması için kullanılacaktır. Atılım Üniversitesi Kampüsünden alınmış olan numunelerin kil oranı (CF) %34, plastisite indeksi %37.4 olarak tayin edilmiştir [16]. Söz konusu çalışmada elde edilen pik ve rezidüel kaya dayanımı değerleri Tablo 5' de verilmektedir. Tablo 6'da ise bu deneyler için bu çalışmada ve literatürdeki bağıntılar kullanılarak tahmin edilen rezidüel kayma direnci değerleri verilmiştir.

**Tablo 5.** Tekrarlı direk kesme deneyleri sonucunda elde edilen  $\phi_p$  ve  $\phi_r$  değerleri [16]

Deney Sırasında Uygulanan Normal Gerilme	Deney Sonucu Elde Edilen Kayma Direnci	
	$\phi_p$ (°)	$\phi_r$ (°)
$\sigma_N$ (kPa)		
100	28.8	16.6
200	20.3	13.2
300	15.7	5.6

#### 5. Tartışma ve Sonuçlar

Ülkemiz literatüründeki çalışmalar incelenerek rezidüel kayma dayanımı ile pik kayma dayanımı ve zemin fiziksel özellikleri arasında ampirik bağıntılar bulunmuştur. Önerilen ve mevcut bağıntılar kullanılarak Akış [16] tarafından yapılan tekrarlı direk kesme deneyi sonuçları üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kil numunelerinin rezidüel kayma direnci açısı, tekrarlı direkt kesme deneyleri sonucunda 100 kPa, 200 kPa ve 300 kPa normal gerilme altında sırasıyla 16.6°, 13.2° ve 5.6° olduğu görülmektedir. Söz konusu değerler literatürde verilen bağıntılar kullanılarak tahmin edildiğinde deney sonucunu %-266.1 ila %36.7 yakınlığında tahmin edebilmektedir. Bu bağıntılar içinde %1.5 fark ile sonuç tahmini yapıldığı da görülmektedir. Bu çalışmada 100 kPa normal gerilme altındaki zeminler için verilen doğrusal olmayan bağıntılarının kullanılması özellikle önerilmektedir. 200 kPa ve 300 kPa normal gerilme için verilen bağıntılar literatürdeki birçok başka bağıntı gibi rezidüel kayma dayanımı geniş bir aralıkta tahmin edebilmektedir. Rezidüel kayma direncine ulaşmak için yapılan tekrarlı direk kesme deneylerinin göreceli uzun zaman almasına karşın deney sayısı artırılır ve yüksek  $R^2$  değerlerine sahip denklemler öngörülürse, rezidüel kayma dayanımı başta heyelan önleme projeleri olmak üzere tüm kayan şev stabilite sorunlarının önlem projelerinde kullanılmak üzere hızlı ve güvenilir bir şekilde tahmin edilebilecektir.

**Tablo 6.** Amprik Bağıntılar Kullanılarak Elde Edilen  $\phi_r$  değerleri ve Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması

Literatürde Yer Alan Amprik Bağıntılar Kullanılarak Hesaplanan $\phi_r$ (°)		Amprik Bağıntı ile Hesaplanan ve Deneysel Sonuç Elde Edilen Değerler Arasındaki Fark $\frac{(\phi_{r,deneysel} - \phi_{r,hesaplanan})}{(\phi_{r,deneysel})} \times 100$
Lambe [13]	10.5 ( $\sigma_n=100$ kPa)	%36.7 ( $\sigma_n=100$ kPa)
	12.5 ( $\sigma_n=200$ kPa)	%5.3 ( $\sigma_n=200$ kPa)
İyisan [4] $\phi_r = 3806LL^{-1.3437}$	15.0	%9.63 ( $\sigma_n=100$ kPa) %-13.6 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-167.9 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Hatipoğlu [2] $\phi_r = 19.57((CF^2LLPIx10^{-5})^{-0.169})$ $\phi_r = 119.34PI^{-0.604}$	11.2 ve 13.4	%32.5-%19.3 ( $\sigma_n=100$ kPa) %15.2-%-1.5 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-100-%-139.3 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Stark ve Eid [6] $\sigma_n=100$ kPa	18.6	%-12.1 ( $\sigma_n=100$ kPa)
Mesri ve Cape-Diaz [10]	15.0	%9.6 ( $\sigma_n=100$ kPa) %-13.6 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-167.9 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Bayın [5] $\phi_r = -12.5 \ln LL + 70.3$ $\phi_r = -0.2LL + 32.40$ $\phi_r = 38e^{-0.01LL}$	18.8-20.5	%-13.3 - %-23.5 ( $\sigma_n=100$ kPa) %-42.4 - %-55.3 ( $\sigma_n=100$ kPa) %-235.7 - %-266.1 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Ürkmez [3] $\phi_r = 274LL^{-0.74}$ $\phi_r = -0.13LL + 21.30$ $\phi_r = 0.0013LL^2 - 0.33LL + 29$	13.0-13.6	%21.7 - %18.1 ( $\sigma_n=100$ kPa) %1.5- %-3.0 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-132.1 - %-142.9 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Skempton [7]	14.2	%14.5 ( $\sigma_n=100$ kPa) %-7.6 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-153.6 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Skempton vd. [8]	15	%9.6 ( $\sigma_n=100$ kPa) %-13.6 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-167.9 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Akış [16] $\phi_r = -0.0262PI + 0.0201C + 0.4854\phi_p$ $\phi_r = -0.0502PI - 0.0693C + 0.7130\phi_p$ $\phi_r = -0.0411PI - 0.0659C + 0.7305\phi_p$	13.7 ( $\sigma_n=100$ kPa) 10.2 ( $\sigma_n=200$ kPa) 7.7 ( $\sigma_n=300$ kPa)	%17.5 ( $\sigma_n=100$ kPa) %22.7 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-37.5 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Akış [16] $\phi_r = 0,0433\phi_p^2 - 1.3826\phi_p + 18.887$ $\phi_r = 0,0546\phi_p^2 - 1.678\phi_p + 21.121$ $\phi_r = 0,075\phi_p^2 - 2.2892\phi_p + 25.691$	15.0 ( $\sigma_n=100$ kPa) 9.6 ( $\sigma_n=200$ kPa) 8.2 ( $\sigma_n=300$ kPa)	%9.6 ( $\sigma_n=100$ kPa) %27.3 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-46.4 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Bu çalışmada önerilen doğrusal olmayan bağıntılar kullanılarak $\phi_r = -0,003\phi_p^3 + 0,256\phi_p^2 - 6,354\phi_p + \frac{4107,550}{PI^2} + 56,026$ $\phi_r = -0,008\phi_p^3 + 0,603\phi_p^2 - 13,472\phi_p + \frac{1999,172}{PI^2} + 102,457$ $\phi_r = -0,002\phi_p^3 + 0,165\phi_p^2 - 3,957\phi_p + \frac{540,739}{PI^2} + 36,004$	16.6 ( $\sigma_n=100$ kPa) 24.94 ( $\sigma_n=200$ kPa) 11.51 ( $\sigma_n=300$ kPa)	%-0.2 ( $\sigma_n=100$ kPa) %88.9 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-105.5 ( $\sigma_n=300$ kPa)
Bu çalışmada önerilen doğrusal bağıntılar kullanılarak $\phi_r = 7.141 + 0.408\phi_p - 0.086PI - 0.040CF$ $\phi_r = -7.508 + 0.191\phi_p - 0.153PI - 0.148CF$ $\phi_r = -2.256 + 0.770\phi_p - 0.031PI - 0.034CF$	14.32 ( $\sigma_n=100$ kPa) 23.76 ( $\sigma_n=200$ kPa) 17.61 ( $\sigma_n=300$ kPa)	%13.7 ( $\sigma_n=100$ kPa) %80.0 ( $\sigma_n=200$ kPa) %-214.5 ( $\sigma_n=300$ kPa)

## KAYNAKLAR

- [1] Bishop, A.W., Green, G. E., Garga, V.K., Andresen, A., Brown, J.D. "A New Ring Shear Apparatus and Its Application to the Measurement of Residual Strength", *Geotechnique* 21, No. 4: 273-328, 1971.
- [2] Hatipoğlu, M. "Kalıcı Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleri ile Belirlenmesi", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2012.
- [3] Ürkmez, A.R., "Kalıcı Kayma Mukavemetinin Tekrarlı Kesme Kutusu Deney Yöntemi ile Belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2009.
- [4] İyisan, R., Çevikbilen. G., Hatipoglu M., Ürkmez A.R., Ataç A.E., "Yüksek Plastisiteli Killerin Kalıcı Kayma Direnci" 3. *Geoteknik Sempozyumu*, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2009.
- [5] Bayın, A. , "Plastisitenin Kalıcı Kayma Mukavemetine Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2011.
- [6] Stark, T. D., & Eid, H. T., "Drained Residual Strength of Cohesive Soils". *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(5):856-871, 1994.
- [7] Skempton A.W., "Long-term Stability of Clay Slopes", *Geotechnique*, 14 (2): 75-101, 1964.
- [8] Skempton, A. W., Leadbeater, A. D., & Chandler, R. J. , "The Mam Tor Landslide, North Derbyshire". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 329(1607), 503- 547, 1989.
- [9] Saleh, A. A., & Wright, S. G., "Shear Strength Correlations and Remedial Measure Guidelines for Long-Term Stability of Slopes Constructed of Highly Plastic Clay Soils" (No. FHWA/TX-98/1435-2F), 1997.
- [10] Mesri, G., & Cepeda-Diaz, A. F., "Residual Shear Strength of Clays and Shales". *Geotechnique*, 36(2): 269-274, 1986.
- [11] Mesri ,G. & Shahien, M., A., "Residual Shear Strength Mobilized in First-Time Slope Failures", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(1): 12-31, 2003.
- [12] Hawkins & Privett, Measurement and Use of Residual Shear Strength of Cohesive Soils", *Ground Engineering*, 18(8):22-28, 1985.
- [13] Skempton, A. W., "Residual Strength of Clays in Landslides, Folded Strata and The Laboratory." *Geotechnique*, 35(1), 3–18, 1985.
- [14] <http://learntech.uwe.ac.uk/da/Default.aspx?pageid=1442> (erişim tarihi: 31.05.2020)
- [15] Hair, J. F. Jr., Anderson, R. E., Tatham, R. L. & Black, W. C. "Multivariate Data Analysis". Macmillan, New York, 1995.
- [16] Akış, E., "Yüksek Plastisiteli Killerde Rezidüel Kayma Direncinin Direkt Kesme Deneyi Sonuçları Kullanılarak Tayin Edilmesi ". *Politeknik Dergisi*, 0-0, 2020





## Kum ve Kil Miktarının Casagrande ve Koni Batma Yöntemlerinden Elde Edilen Likit Limit Değerine Etkisinin Araştırılması

### Investigation of the Effect of Sand and Clay Amounts on the Liquid Limit Value Obtained from Casagrande and Fall Cone Methods

Selman KAHRAMAN<sup>1</sup>, Ahmet NECİM<sup>2</sup>, İnan KESKİN<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([selmankahraman@karabuk.edu.tr](mailto:selmankahraman@karabuk.edu.tr))

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([ahmad.alnajmhh@gmail.com](mailto:ahmad.alnajmhh@gmail.com))

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([inankeskin@karabuk.edu.tr](mailto:inankeskin@karabuk.edu.tr))

**Özet:** Kıvam limitleri, zeminleri sınıflandırmada ve diğer bazı zemin parametreleri ile korelasyon yapmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Likit limitin ve plastik limitin tespitinde kullanılan deneyler, deneyi yapan kişiye ve deney aparatına bağlı olmak üzere birçok belirsizlikler içermektedir. Bu parametrelerin zemini temsil etmeyecek bir şekilde belirlenmesi yapılacak değerlendirme ve yorumlarda yanlışlıklara sebep olmaktadır. Zemin mekaniği standartlarında kıvam limitlerinden bir olan Likit limit laboratuvarında yaygın olarak Casagrande Deney Aleti ya da Koni Batma Yöntemi ile belirlenmektedir. Bu çalışmada iki deney verilerinin zemin özelliklerine bağlı olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında tüm deneylerin benzer özellikler sunması açısından bentonit ve 0,475 mm'den küçük dere kumu farklı oranlarda karıştırılarak özellikleri tüm deneylerde aynı olabilecek bir zemin karışımı oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında Kil zemine farklı oranlarda kum yüzdesi ekleyerek kum miktarının artmasıyla kil zemindeki likit limit değişikliği Casagrande Deney Aleti ve Koni Batma Yöntemi ile gözlenerek istatistiksel verilerle karşılaştırılması yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Likit limit, Casagrande, Koni Batma, Bentonit

**Abstract:** Consistency limits are widely used to classify soils and to correlate with some other soil parameters. The experiments used in determining the liquid limit and the plastic limit contain many uncertainties depending on the person performing the experiment and the experiment apparatus. Determining these parameters in a way that does not represent the ground causes mistakes in evaluations and comments. Liquid limit, which is one of the consistency limits in soil mechanics standards, is widely determined in the laboratory by the Casagrande Test Instrument or the Cone Submerging Method. In this study, it was aimed to compare the two experimental data depending on the soil properties. Within the scope of the study, in order that all experiments offer similar features, bentonite and river sand smaller than 0.475 mm were mixed in different proportions and a soil mixture whose properties could be the same in all experiments was created. Within the scope of the study, by adding different percentages of sand to the clay soil and increasing the amount of sand, the liquid limit change in the clay soil was observed with the Casagrande Test Instrument and the Cone Dip Method and compared with the statistical data.

**Keywords :** Liquid limit, Casagrande, Drop-cone method, Bentonite

## 1. Giriş

Zeminlerin su içeriği bir sıvı gibi davrandığı bir uç durumdan, zeminlerin kuru olduğu diğer uç gibi çok geniş bir aralıkta değişebilmektedir. Bu aralıkta belirli geçiş noktalarındaki su içerikleri likit, plastik ve büzülme limiti olarak tanımlanmaktadır. Likit limit zemin özelliklerinin belirlenmesinde önemli parametrelerden biridir. Likit limit tayininde kullanılan casagrande ve koni batma yöntemi kullanılmaktadır. Casagrande deneyinde operatör etkisi, düzeneğin kalibrasyonu gibi etkenler deney sonucunu etkilemektedir (Johnston ve Strohm, 1968; Wroth ve Wood, 1978; Whyte, 1982; Lee ve Freeman, 2007; Dipova, 2011). Bu yönteme alternatif olarak koni batma yöntemi geliştirilmiş operatör etkisinin azaltılması sağlanmıştır.

Günümüzde koni batma yöntemi genellikle tercih edilmektedir. Bu iki yöntem, bazı araştırmacılar tarafından (Wasti ve Bezirci, 1986; Sridharan ve Nagaraj, 1999; Sridharan vd., 1999; Mendoza ve Orozco, 2001; Orhan vd., 2006) kullanarak elde ettikleri likit limit değerlerini karşılaştırmışlardır. Likit limit değeri yaklaşık 100'e kadar her iki yöntem arasındaki fark çok fazla değilken, likit limit değeri %100'ün üzerine çıktığında Casagrande yöntemi belirgin bir şekilde koni yöntemine göre yüksek sonuçlar vermektedir. Literatürde çoğunlukla Casagrande yöntemi ile elde edilen likit limit değerlerinin, Koni Batma yöntemiyle elde edilen LL değerine göre daha büyük olduğu ifade edilmekle birlikte iki yöntem ile elde edilen değerler aralarındaki farkın bentonit oranının artmasına bağlı olarak arttığı vurgulanmaktadır (Mendoza vd., 2001; Orhan vd., 2005). Christaras, Yunanistan – Girit bölgesinden alınmış ve likit limiti % 27 ile % 58 arasında değişen 24 adet marn örnekleri üzerinde ASTM Casagrande (sert tabanlı) ve koni batma (600/60g) yöntemlerini kullanarak likit limit sonuçlarını karşılaştırmıştır (Christaras, 1991). Araştırmacının elde ettiği sonuçlara göre; 3 örnekte her iki yöntem de aynı sonucu verirken, 2 örnekte Casagrande yöntemi koni yöntemine göre % 1 daha büyük, geriye kalan 19 örnekte ise koni yöntemi Casagrande yöntemine göre % 1–6 arasında daha yüksek limit değerleri vermiştir (Dipova, 2011).

Bu çalışma konuyla ilgili olarak literatürde var olan çalışmalardan farklı olarak bentonit ve kum oranları belirli miktarda hazırlanan numunler üzerinde her iki yöntem ile elde edilen LL değerleri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamında kum miktarının ince taneli zeminlerdeki likit limit değerine etkisi değerlendirilerek likit limit tayininde kullanılan Casagrande yöntemi ve koni batma yönteminin deneysel bulguları karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal

Çalışma kapsamında deneysel çalışmalarda aynı zemin özellikleri sağlamak amacıyla bentonit kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan kum ise elek sarsma cihazı yardımıyla No: 40 elek altında kalan kısım alınarak deney için hazır hale getirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan bentonit KarBen Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firması tarafından işletilen ocaktan temin edilmiştir. Bu doğal bentonitler deneylere başlamadan önce serbestleştirilerek 40 nolu elek altına geçen kısmı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan bentonitin fiziksel ve kimyasal değerleri Çizelge 1' de verildiği gibidir. Ayrıca deneylerde kullanılan kum ise Karabük ilinde hizmet veren kum ocağından temin edilmiş olup 40# elekten elenerek elek altına geçen kısmı kullanılmıştır.

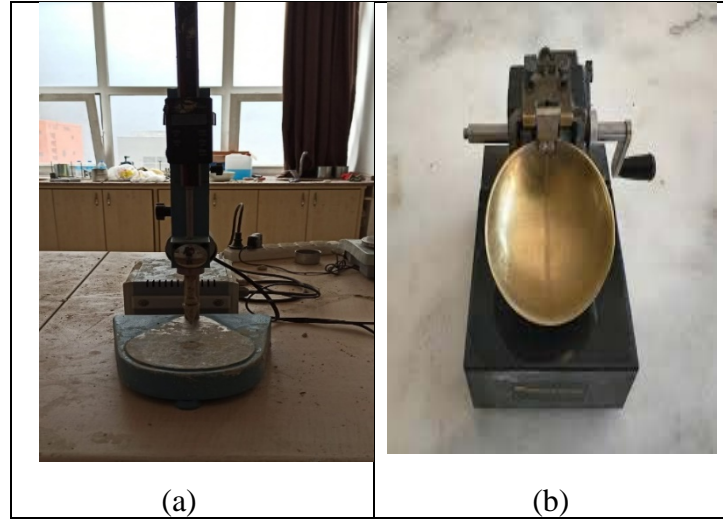
Çizelge 1. Bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Tanım	Sonuç
Elek analizi	%10 (75 mikron)
Ateşde zahiyyat	%6,2
Ensilin değeri (45 Dk)	313
Ensilin değeri (24 saat)	876
Nem	9
E	310
SiO <sub>2</sub>	%58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%2,5
CaO + MgO	%5,2
K <sub>2</sub> O	%1,1
Na <sub>2</sub> O	%1

Çalışma kapsamında Çizelge 2’de verilen karışımlar üzerinde hem Koni Batma Deneyi hemde Casagrande deneyi ile belirlenmiştir (Şekil 1 a,b). Çalışma kapsamındaki deneyler TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Standartlarda Koni Batma miktarının 20 mm’ye ulaştığındaki su muhtevası likit limit olarak tarif edilirken, Casagrande metodunda ise zemin örneği içinde açılan standart bir oyğun 25 vuruşta kapanması için gereken su içeriği LL olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 2. Denylerde kullanılan zemin karışımları

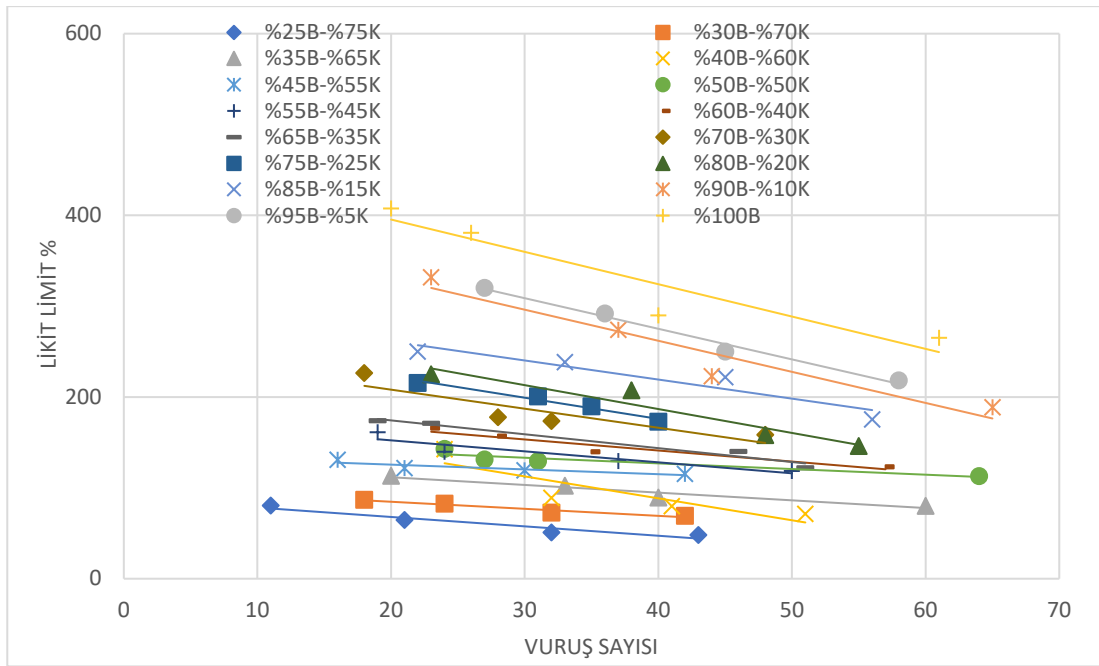
Numune	Kil Miktarı	Kum miktarı
1	%100	%0
2	%95	%5
3	%90	%10
4	%85	%15
5	%80	%20
6	%75	%25
7	%70	%30
8	%65	%35
9	%60	%40
10	%55	%45
11	%50	%50
12	%45	%55
13	%40	%60
14	%35	%65
15	%30	%70
16	%25	%75



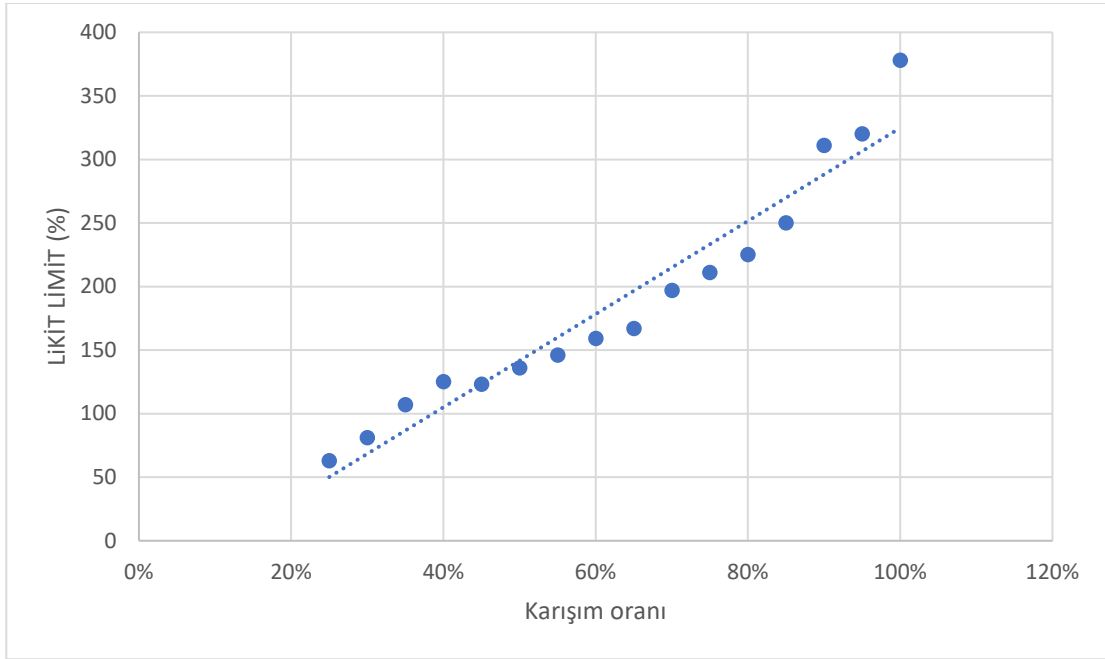
Şekil 1. Koni batma ve Casagrande deney aleti

### 3. Bulgular ve Tartışma

İlk olarak Casagrande yöntemiyle karışımların likit limit değeri bulunarak elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Beklenildiği üzere karışımlardaki kil miktarı arttıkça LL değeri artmıştır (Şekil 3).

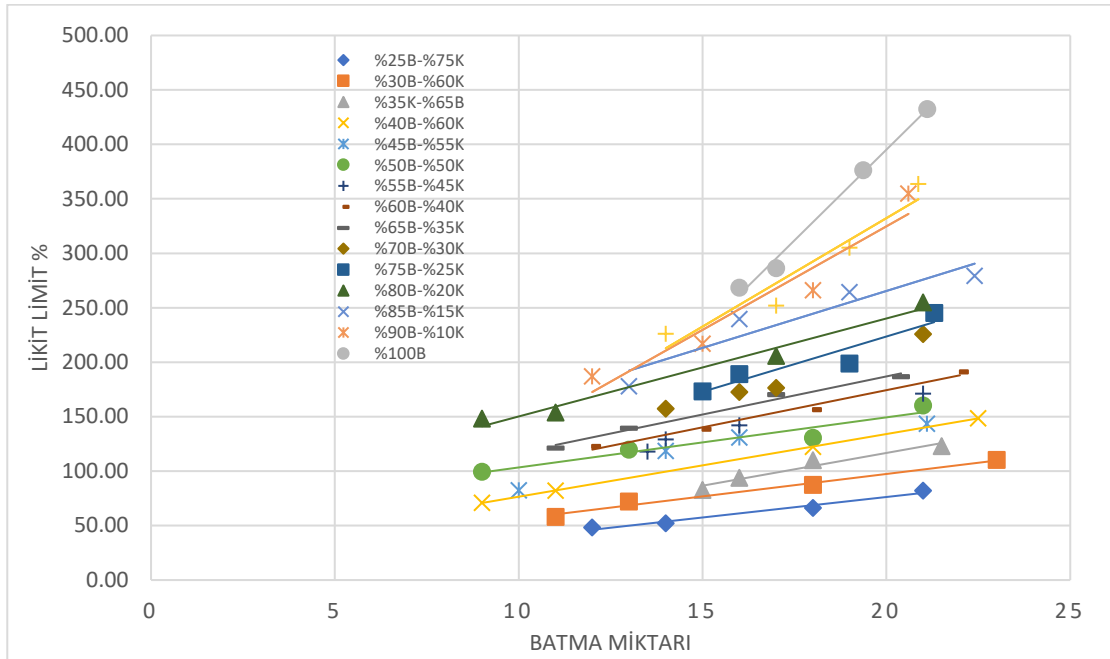


Şekil 2. Casagrande yöntemi ile 25 vuruşa denk gelen likit limit değerler

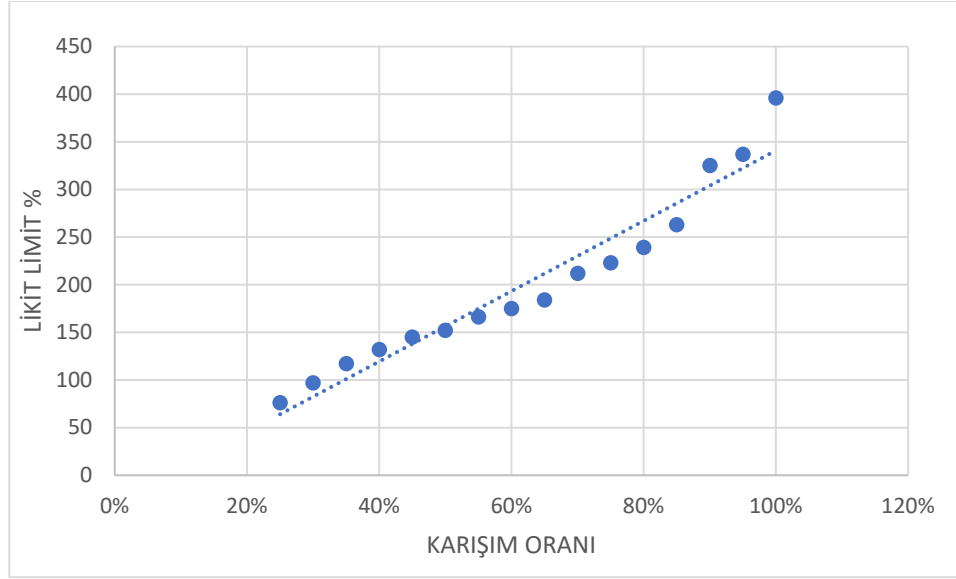


Şekil 3. Casagrande yöntemi ile karışım oranına göre likit limit değerleri

TS1900-1 standardına uygun olarak yapılan Koni Batma Deneyinden elde edilen sonuçlar ise toplu olarak Şekil 4' de sunulduğu gibidir. Şekil 5'de artan kil miktarına göre karışımların Casagrande yöntemi ile elde edilen likit limit değerindeki değişkenliği gösterilmiştir.



Şekil 4. Koni batma yöntemi ile belirlenen likit limit değerler



Şekil 5. Koni batma yöntemi ile karışım oranına göre likit limit değerleri

Tüm karışımlar için her iki deney yöntemi ile elde edilen likit değerleri Çizelge 3 ile gösterilerek likit limit değerindeki farklar sunulmaya çalışılmıştır. Çizelge 3’den görüleceği üzere sonuçlar kabul edilebilir sınırlar içerisinde ve birbirini doğrular nitelikte olmakla birlikte Koni Batma deneyi ile elde edilen Likit Limit değeri Casagrande deneyi ile elde edilen Likit Limit değerinden tüm karışım oranları için daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Casagrande ve Koni batma deneyi sayısal verilerinin karşılaştırılması

	Casagrande Deneyi % W <sub>L</sub>	Koni Batma Deneyi % W <sub>L</sub>	LL Farkı
% 25 Bentonit-%75 Kum	63	76	13
% 30B-%70K	81	97	16
% 35B-%65K	107,5	117	9,5
% 40B-%60K	125	132	7
% 45B-%55K	134	145	11
% 50B-%50K	136	152	16
% 55B-%45K	146	166	20
% 60B-%40K	159	175	16
% 65B-%35K	167	184	17
% 70B-%30K	197	212	15
% 75B-%25K	211	223	12
% 80B-%20K	227	239	12
% 85B-%15K	250	263	13
% 90B-%10K	311	325	14
% 95B-%5K	320	337	17
% 100B	377	396	19

Bu çalışmalardan derlenen veriler birlikte değerlendirilerek yapılan regresyon analizinde ise  $R^2 = 0.9987$  olmak üzere;

$$W_L (Koni) = 1.013 W_L (Casag.) + 11,777 \quad (3)$$

bağıntısı elde edilmiştir.

#### **4.Sonuçlar**

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan ASTM tipi Casagrande ve Koni Batma cihazları kullanılarak farklı oranlarda hazırlanan 16 adet bentonit-kum kil karışım numunesinin likit limit değerleri bulunmuştur. Her iki deney cihazından elde edilen veriler karşılaştırıldığında Koni Batma yöntemi ile elde edilen Likit Limit değerinin Casagrande yöntemi ile elde edilen LL değerinden % 7 ile % 19 arasında yüksek oldu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, doğrudan veya dolaylı olarak benzer konu üzerine yapılmış önceki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında diğer çalışmalardan farklı olarak tüm karışımlarda Koni Batma ile elde edilen LL değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Ayrıca Casagrande yönteminde deneyi yapan kişinin el becerisinin deney sonuçları üzerindeki Koni Batma yöntemine göre daha etkili olduğu göz önünde bulundurulmalı ve LL verisindeki temsili USCS zemin tipinin değişmesinin yanı sıra likit limit değeri ile doğrudan veya dolaylı olarak zeminin konsolidasyon özellikleri ve drenajsız kayma direnci gibi bazı mühendislik özellikleri arasında yapılan korelasyonlar üzerinde de etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. O nedenle, gerek bilimsel çalışmalarda gerekse çeşitli amaçlarla hazırlanan raporlarda likit limit değerinin hangi yöntemle belirlendiği açıkça belirtilmelidir.

#### **KAYNAKLAR**

Dipova, N., "Zeminlerin Likit Limitinin Tek Nokta Koni Batma Yöntemiyle Belirlenmesi." Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35.1, 27-42, (2011).

Johnston, M. M., Strohm, W. E., "Results of second division laboratory testing program on standard soil samples", Misc. Paper 3-978, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, Mississippi, USA, 1968.

Lee, L.T., Freeman, R. B., "An alternative test method for assessing consistency limits", Geotechnical Testing Journal, 30 (4), 1-8, 2007.

Mendoza, M.J., Orozco, M., " Quick and Reliable Procedure for Liquid Limit Determination of Fine-Grained Soils", Geotechnical Testing Journal, 24 (1), 103-108, 2001.

Orhan M., Özer M., Işık, N.S., "Doğal zeminlerin likit limitinin belirlenmesinde Casagrande ve koni batma yöntemlerinin karşılaştırılması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21 (4), 711-720, 2006.

Sridharan, A., Nagaraj, H.B., "Absorption Water Content and Liquid Limit of Soils", Geotechnical Testing Journal, 22 ( 2), 127-133, 1999.



***The 2nd International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)***

Sridharan, A., Nagaraj, H. B., Prakash, K., "Determination of the Plasticity Index from Flow Index", Geotechnical Testing Journal, 22 (2), 175-181, 1999.

TSE, 1987. TS 1900 (Türk Standartları), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TSE, Bakanlıklar, Ankara, 1987, 133 sayfa.

Wasti, Y., Bezirci, M.H., "Determination of the Consistency Limits of Soils by the Fall Cone Test", Canadian Geotechnical Journal, 23, 241- 246, 1986.

Whyte, I. L., "Soil plasticity and strength – a new approach for using extrusion", Ground Engineering, 15 (1), 16-24, 1982.

Wroth, C.P., Wood, D.M., "The Correlation of Index Properties with Some Basic Engineering Properties of Soils". Canadian Geotechnical Journal, 15 (2), 137-145, 1978.





## Lapseki İlçesi (Çanakkale) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyeli: Ön Bulgular

### Liquefaction Potential of Lapseki (Çanakkale) Settlement Area: Preliminary Findings

Sibel BİLİCİ<sup>1</sup>, Öznur KARACA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University Graduate Education Institute  
Terzioğlu Campus 17020- Çanakkale  
(e-mail: sibelbilicijeo@gmail.com)

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart University, Department of Geological Engineering,  
Terzioğlu Campus, 17020-Çanakkale  
(e-mail: oznurkaraca@comu.edu.tr)

**Özet:** Sıvılaşma, Kuvaterner yaşlı, gevşek sıg, suya doygun çoğunlukla kohezyonsuz alüvyon çökellerde deprem esnasında oluşan bir zemin problemidir. Özellikle yeraltı seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10-20 metre arasında rastlanılan zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma alanı olan Lapseki ilçesi, Çanakkale iline bağlı olup birinci derece deprem bölgesinde kalmaktadır. Çalışma alanında Kuvaterner yaşlı eski akarsu çökellerinin üzerine uyumsuzluk ile gelen Alüvyal çökeller yer almaktadır. İnceleme alanında yeraltı seviyesi genelde 6-13.50 m arasında değişmektedir. Tüm bu verilere göre Lapseki ilçesi yerleşim alanı zeminlerinin, olası bir depremde sıvılaşmaya karşı duyarlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmadaki amaç, Lapseki ilçesi yerleşim alanı zeminlerinin sıvılaşma potansiyelini araştırmaktır. Bu amaçla Gür Mühendislik tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan Lapseki Yerleşim alanının İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt raporu verilerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada Lapseki ilçesi yerleşim alanı içinde seçilmiş olan bir pilot bölgede yerinde arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazide yapılan 38 adet Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonucuna göre zeminlerin SPT-N değerleri 4-53 arasında değişmektedir. Sondajlardan alınan örneklerle göre çalışma alanında SP, SW, SM ve ML türü zeminlerin hakim olduğu görülmüştür. Ayrıca zeminlerin, sıvılaşma analizleri için gerekli olan diğer fiziksel ve indeks özellikleri de belirlenmiştir. Bu veriler ışığında sıvılaşma potansiyeli, SPT verilerine dayalı basitleştirilmiş yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama olası bir depremin ivmesi 0.4g, magnitudü 7.5 olarak seçilmiştir. Arazi deney verileri kullanılarak öncelikle çevrimsel kayma gerilmesi oranı (CSR) ve çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) değerleri hesaplanmıştır. Depremlerin yol açacağı yer hareketi sonucunda sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması için CSR ve CRR değerleri karşılaştırılarak güvenlik katsayıları elde edilmiş ve sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. FL değeri hesaplanarak bulunan sonuçlar doğrultusunda sıvılaşma potansiyeli taşıyan alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, Lapseki ilçesi yerleşim alanındaki zeminlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi için daha ayrıntılı çalışmaların yapılması ve bu sonuçlara bağlı olarak gerekli görüldüğü durumlarda yapılacak olan yapılarda temel tasarım performansı, dayanıklılığı ve zemine uygunluğunun sağlanması açısından zemin iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerektiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Lapseki, Sıvılaşma Potansiyeli, Standart Penetrasyon Testi (SPT)

**Abstract:** The liquefaction is a soil problem which takes place at Quaternary aged, loose, shallow, water-saturated, mostly non-cohesive alluviums during earthquakes. It is necessary to examine liquefaction potential, especially in soil where the groundwater levels up to 20 meters from the ground surface, with appropriate analysis methods based on field and laboratory experiments and determine the results. The aim of this study is to investigate the liquefaction potential of Lapseki settlement (Çanakkale) which is in the first degree earthquake zone. Alluvial sediments unconformably overlie the Quaternary old fluvial deposits. Groundwater level here generally ranges between 6-13.50 m. Thus, it is seen that the soil of the study area is susceptible to liquefaction in a possible earthquake. For the study, the Geological and Geotechnical Survey report data of the Lapseki Settlement Area, prepared by Gür Engineering in 2017, were used. Field and laboratory tests were carried out in a selected pilot area. Based on the results of 38 Standard Penetration Tests (SPT) performed in the field, the SPT-N values of the soil were between 4 and 53. Hence, the liquefaction potential (FL) was calculated using the simplified SPT-based. In the calculation, the peak ground acceleration of a possible earthquake was selected as 0.4g and the magnitude as 7.5. Cyclic shear stress ratio (CSR) and cyclic shear strength ratio (CRR) values were calculated using field test data. In order to calculate the liquefaction potential (FL) as a result of a possible earthquake, the safety coefficients were obtained by comparing CSR and CRR values, and liquefaction potential was evaluated. In line with the results found by calculating the FL value, areas with liquefaction potential were determined. It was observed that soil improvement studies should be carried out at pre-construction period.

**Keywords:** Lapseki, liquefaction potential, Standard Penetration Test (SPT)

## 1. Giriş

Büyük hasarlara yol açan depremler, dünyada ve aktif deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde önemle üzerinde durulan bir gerçektir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) deprem haritaları incelendiğinde, ülkemizin büyük çoğunluğu deprem bölgesi içerisinde kalmaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen, Çanakkale ili Lapseki ilçesi yerleşim alanı, birinci derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

Bir mühendislik jeolojisi haritası bölgeyi tanıtan en önemli altlıktır [1]. Sürdürülebilir kentler için iyi bir şehir planlaması yapmak ve jeoteknik haritalar hazırlamak kaçınılmazdır. Özellikle birinci derece deprem bölgelerinde bulunan şehirler için hazırlanacak en önemli jeoteknik haritalardan biri sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritalarıdır [2]. Ciddi zemin problemi olarak karşımıza çıkan sıvılaşma esnasında “tekrarlı yükler altında (deprem gibi), kohezyonsuz, kumlu, kumlu-siltli gevşek zeminlerde, zemin daneleri hacimsel olarak sıkışmaya meyillendir, aradaki boşluk suyu harekete başlar. Boşluk suyu basıncının artması ile efektif gerilmede azalma oluşur ve bunun sonucunda zemin kaymaya karşı dayanımını kaybederek sıvı gibi davranır. Sıvılaşma sonucunda zemin büyük hacimsel şekil değişimlerine uğrar ve kum kaynaması akma, yanıl yayılma, serbest salınım, istinat yapılarının dayanımını kaybetmesi, taşıma gücü yitimi gibi deformasyonlar meydana gelir [3]. Sıvılaşmaya duyarlı zeminler daha çok güncel alüvyon zeminlerdir [4].

Depremler esnasında meydana gelen zemin sıvılaşması, dünyada 1964 yılında yaşanan Niigata Depremi ile önem kazanırken, ülkemizde 1999 Kocaeli/Gölcük'te yaşanan deprem ile önem kazanmıştır. Genellikle, jeolojik anlamda genç ve gevşek çökellerin, özellikle kum ve silt dane boyutundaki malzemenin depolandığı ve yeraltı suyunun sık olduğu ortamlar, sıvılaşmanın gelişmesi açısından en uygun ortamlardır [5]. Sıvılaşmaya duyarlı zeminler gölgesel, alüvyal ve denizel çökme ortamlarından oluşur [6].

Bugüne kadar farklı alanların sıvılaşma potansiyelini belirlemek için çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli sıvılaşma analiz yöntemleri uygulanmıştır. Bir alanın sıvılaşma potansiyeli laboratuvar testleri veya yerinde testler ve ampirik yöntemlerle değerlendirilebilir. Zemin numunelerinin düzgün bir şekilde elde edilmesiyle ilgili zorluklardan dolayı, yerinde penetrasyon test yöntemlerine dayanan ampirik yaklaşımlar, yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok ülkede sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için, genellikle SPT verilerinin kullanıldığı yöntemler öne çıkmaktadır [7-15].

Sıvılaşma potansiyeli analizleri ve hazırlanan ayrıntılı haritalar, özellikle sıvılaşmaya karşı duyarlı bölgeler için çok önemlidir. Bu tür çalışmalar, sıvılaşmadan kaynaklı riskleri azaltabildiği gibi bu tür alanlarda, olası bir depremde meydana gelebilecek hasarları da azaltır hatta önleyebilir [1].

Bu çalışmanın ana amacı, Çanakkale'nin kuzeydoğusunda yer alan Lapseki ilçesi yerleşim alanında bulunan gevşek, suya doymuş zeminlerin, sıvılaşma potansiyelini belirlemek ve haritalarını Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında hazırlamaktır. Bu çalışma aynı zamanda, bölgede yapılacak diğer benzer çalışmalar için de bir temel niteliği taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında Gür Mühendislik tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan, Lapseki Yerleşim alanının İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporu [16] verilerinden yararlanılmıştır. Bu inceleme kapsamında, arazide 38 adet sondaj yapılarak, sondajlar sırasında Standart Penetrasyon Testleri (SPT) gerçekleştirilmiş, yeraltı suyu seviyeleri ölçülmüş ve örselenmiş/örselenmemiş örnekler alınmıştır. Bu örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli, SPT verileri kullanılarak Youd vd. [18] tarafından önerilen, basitleştirilmiş yöntemle göre incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, bu araştırmaya ait ön bulgular sunulmuştur.

## **2. Materyal ve Yöntem**

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri bulunmaktadır. Arazide yerinde deneyler olarak; Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Sismik kırılma (Vs) ve Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) yapılmaktadır. Laboratuvar deneyleri olarak ise dinamik basit makaslama, dinamik üç eksenli ve sarsma tablası yapılabilmektedir.

Seed ve Idriss [17], 1964 yılında meydana gelen Niigata depreminden sonra, sıvılaşma potansiyelini belirlemek için, SPT verilerine dayanan ve basitleştirilmiş yöntem olarak adlandırılan analiz yöntemini önermişlerdir. Seed ve Idriss [17]'in yöntemi, daha sonraki yıllarda birçok kez değiştirilerek, Youd vd. [18] tarafından güncelleştirilerek kullanıma sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, sıvılaşma potansiyeli (FL), düzeltilmiş SPT verileri kullanılarak, Youd vd. [18] tarafından önerilen, basitleştirilmiş yaklaşım ile belirlenmiştir. Bu kapsamda, farklı lokasyonlarda yapılan 38 adet sondaj verisi kullanılmıştır. Sondajlar sırasında alınan örneklerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Sondaj kuyularında yeraltı su seviyesi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

“Basitleştirilmiş Yaklaşım” [17, 18] zeminlerin sıvılaşma potansiyelinde, iki temel parametreyi dikkate alan bir yaklaşımdır. Bu parametreler; deprem tarafından oluşabilecek devirsel yükün seviyesini gösteren Tekrarlı Gerilme Oranı (CSR) (Eşitlik 2.1) [17, 18] ve zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren Tekrarlı Direnç Oranı (CRR) (Eşitlik 2.4) [17, 18]. Youd vd. [18] tarafından düzenlen bu yöntem; sıvılaşma potansiyeli araştırılan bir zeminde, SPT verileri kullanılarak zeminin

tekrarlı gerilmeler altındaki makaslama dayanımı ile bu zeminde deprem sırasında beklenen makaslama geriliminin karşılaştırılması esasına dayanır ve bu karşılaştırmadan elde edilen güvenlik katsayısı (FL) (Eşitlik 2.7) [17, 18] katsayısı ile zeminin sıvılaşma direnci değerlendirilir.

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}\sigma_v}{g\sigma'_v} r_d \quad (2.1)$$

Burada  $r_d$ , gerilme azaltma faktörü olup Liao and Whitman (1986)'a göre eşitlik (Eşitlik 2.2 ve 2.3) kullanılarak hesaplanmıştır.  $a_{max}$  ise en büyük yatay yer ivmesidir ve birinci derece deprem bölgelerinde, AFAD tarafından 0.4 g alınması önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında da  $a_{max}$  değeri 0.4 g alınarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir

$$r_d = 1 - 0.00765z \quad (z \leq 9.15m) \quad (2.2)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad (9.15 \leq z \leq 23 m) \quad (2.3)$$

z: Yüzeyden itibaren metre cinsinden derinliktir.

7.5 büyüklüğündeki bir deprem için zeminin sıvılaşmaya karşı direncinin ( $CRR_{7.5}$ ) Youd vd. [18] aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10(N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (2.4)$$

$$(N_1)_{60} = N C_N C_E C_B C_R C_S \quad (2.5)$$

Burada  $N$ , arazide ölçülen SPT darbe sayısı,  $C_N$  üst tabaka yükü düzeltme katsayısı,  $C_E$  Enerji oranı düzeltme katsayısı,  $C_B$  kuyu çapı düzeltme katsayısı,  $C_R$  tij boyu düzeltme katsayısı,  $C_S$  numune alma metodu düzeltme katsayısıdır.

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'_v}} \quad (2.6)$$

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR)MSF \quad (2.7)$$

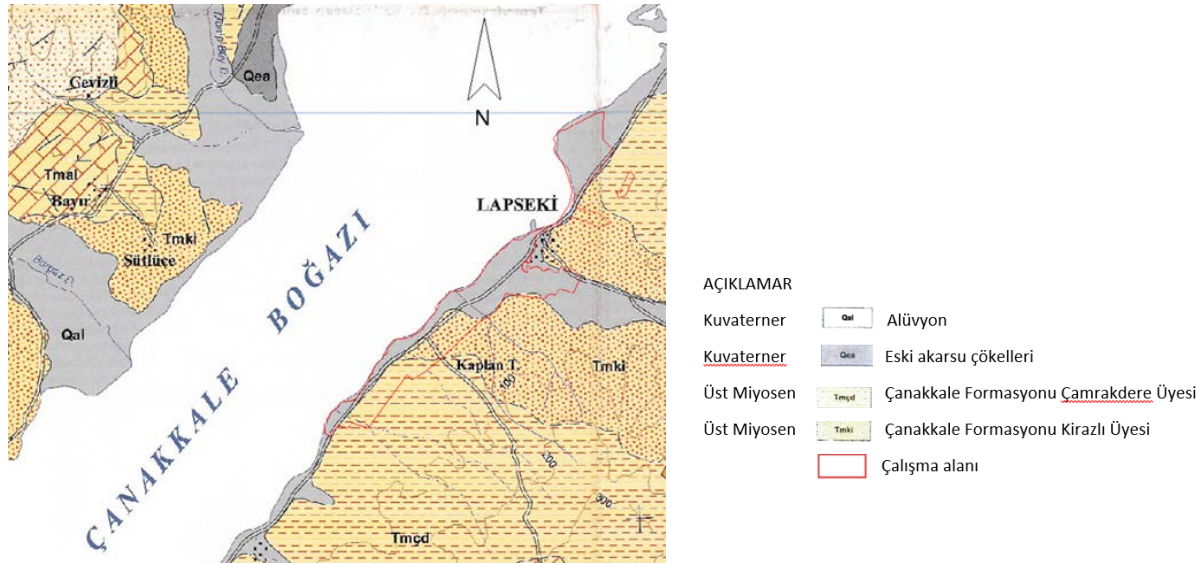
Burada hesaplanan CRR değeri magnitudü 7.5 olan depremler için geçerlidir. Depremin büyüklüğü 7.5'ten farklı olan depremler için yapılan sıvılaşma analizlerinde güvenlik katsayısında bir düzeltme yapılmalıdır. Bu düzeltme faktörü "Deprem Büyüklüğü Ölçek Katsayısı (MSF)" olarak adlandırılır. Bu çalışma kapsamında senaryo depremin büyüklüğü 7.5 alındığı için herhangi bir düzeltme yapılmamıştır. Yapılan hesaplamaların sonunda, FL değeri 1'den büyük ise zemin, sıvılaşmaz olarak kabul edilmektedir. FL'nin 1'den küçük olduğu durumlarda ise zeminde sıvılaşma beklenmektedir.

### 3. Bulgular

#### 3.1 .Çalışma alanın jeolojisi ve sismotektoniği

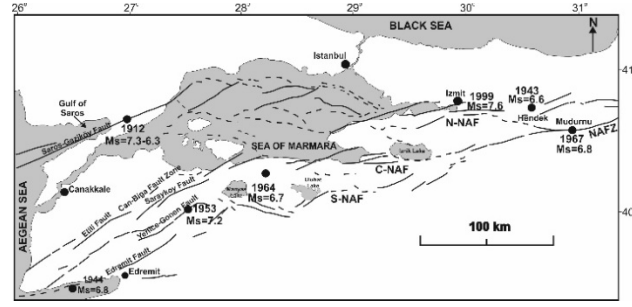
İnceleme alanında; alta Çanakkale Boğazı'nın doğu kıyısında yüzeylenen, Üst Miyosen yaşlı, sıkı, gri- yeşil renkli bol fosil ya da kavrık içeren çamurtaşı, silttaşı, kumtaşı, ve çakılcıklı konglomera ile kalkaranitten oluşan kayaç topluluğu, ilk kez Çanakkale Formasyonu'nun Çamrakdere Üyesi olarak adlandırılmıştır [19]. Çamrakdere Üyesi'nin yanıl geçişli olduğu Üst Miyosen yaşlı, orta sıkı, egemen olarak ufak-kaba daneli kumtaşı çakılcık, ufak çakıllı konglomera, silttaşı, çamurtaşından oluşan birim ilk kez Çanakkale Formasyonu'nun Kirazlı Üyesi olarak adlandırmıştır [20]. İnceleme alanının büyük çoğunluğunda, Çamrakdere ve Kirazlı üyesi üzerine, uyumsuzluk ile gelen Kuvaterner yaşlı, tutturulmamış, çakıl, kum, silt, kil boyutunda malzemelerden oluşan alüvyon çökeller yer almaktadır [21] (Şekil 1).

Çamrakdere Üyesi'nde toplam 9 adet jeoteknik sondaj açılmış üst birimlerde kil, killi kum, kumtaşına rastlanmıştır [16]. Kirazlı Üyesi'nde toplam 7 adet jeoteknik sondaj açılmış üstte killi birimler devamında çamurtaşı, kiltası, kumtaşı, kireçtaşı birimlerine rastlanmıştır [16]. Alüvyon zeminde toplam 22 adet jeoteknik sondaj açılmış üstte kil, killi kum devamında silt ve çamurtaşına rastlanmıştır [16].



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve Jeoloji haritası [21]

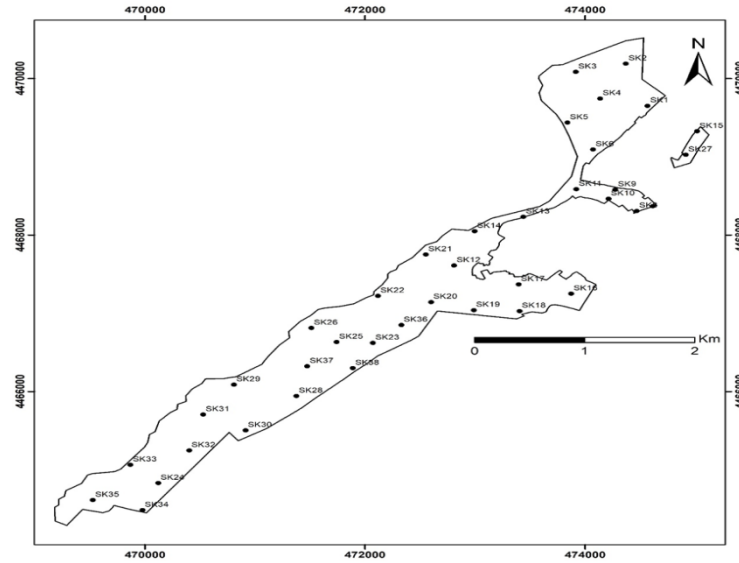
Türkiye, dünyanın sismik olarak aktif bölgelerinden biridir. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Anadolu ve Avrasya levhaları arasındaki sınırı oluşturan 1200 km uzunluğunda bir dönüşüm fayıdır [22]. Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Çanakkale, Gelibolu yarımadası bölgesinde KAFZ'nin kuzey kolu olan Saros-Gaziköy segmentinin yaklaşık 40 km güneybatısında yer almaktadır (Şekil 2.) Saros-Gaziköy segmenti yerel olarak Ganos fayı olarak adlandırılır [23]. 1912'de Ganos fayı 7.3 büyüklüğünde (Ms) bir deprem üretmiştir. Biga yarımadası bölgesinde yer alan KAFZ'nin merkez kolu birçok fay zonundan oluşur. Çalışma alanına yakın olan Yenice-Gönen fayı, 1953 yılında 7.2 büyüklüğündeki (Ms) Yenice-Gönen depremine neden olmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Marmara bölgesinin aktif tektonik haritası [24; 15'ten]

### 3.2. Arazi çalışmaları ve jeoteknik değerlendirme

Sıvılaşma araştırmaları için üç önemli parametre gereklidir. Bunlar; zemin koşulları, ortamdaki su ve sismik özelliklerdir. Bu kriterler dikkate alındığında, bu çalışmada araştırma alanı olarak seçilen, Lapseki ilçesinde meydana gelebilecek olası depremin, sıvılaşmaya neden olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, bu bölgede ayrıntılı analizlerin yapılması gerekmektedir. SPT verileri sıvılaşma analizlerinde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle çalışma alanındaki birimlerde yatay ve düşey yönlerde meydana gelen değişiklikleri, mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla inceleme alanının tümüne gösterecek şekilde, 38 noktada yapılan sondaj (Şekil 3) verileri ile laboratuvar deney sonuçları değerlendirilmiştir. Bu verilere göre zeminlerin arazideki SPT-N değerleri 4-53 arasında değişmektedir. Sondajlar sırasında yeraltı suyu seviye ölçümleri yapılmış ve yeraltı suyunun yüzeyden derinliğinin 6 ile 13.50 m arasında değiştiği görülmüştür.



Şekil 3. İnceleme alanının sondaj lokasyon haritası

Sondajlardan alınan örneklerin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık, dane boyu dağılımı, kıvam limitleri, vb. deneyler gerçekleştirilmiş ve buna göre çalışma alanında SP, SW, SM ve ML türü zeminlerin hakim olduğu görülmüştür. İnceleme alanındaki zeminlerin %56'sı ince daneli %44'ü ise iri danelidir. Yapılan laboratuvar deney verilerinde inceleme alanının; Doğal su muhtevası alüvyon zeminlerde %7.6 - %43.1 Kirazlı Üyesi'nde %5.7 - %27.1 ve Çamrakdere Üyesi'nde %16.1 - %40.5 arasında değişmektedir. İnceleme alanının ortalama doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ) 1.85-1.94  $gr/cm^3$  arasında olup, özgül ağırlığı ise ( $\rho_d$ ) 2.70-2.72 arasında değişmektedir. İnce dane oranı (FC) %50-90 arasında değişmektedir [16]. Tüm bu veriler ışığında

çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli, SPT verilerine dayalı basitleştirilmiş yöntem kullanılarak Youd vd. [18]'ne göre belirlenmiştir. Lapseki ilçesinin jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik özellikleri nedeniyle olası bir depremde sıvılaşma tehlikesi altında olduğu görülmektedir. Lapseki yerleşim alanında bulunan zeminler için magnitudü 7.5 (Mw) ve birinci derece deprem bölgelerinde, AFAD tarafından alınması önerilen  $a_{max}$  değeri 0.4 g alınarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Youd vd. [18]'nin önerdiği yöntemle yapılan analizler sonucu elde edilen “sıvılaşma potansiyeli” değerleri, Lapseki ilçesi yerleşim alanının özellikle de kıyı kesimlerinde 1'den küçük çıkmıştır ve olası bir depremde sıvılaşmaya karşı duyarlı koşullara sahip olduğu tespit edilmiştir.

#### **4. Sonuçlar ve Tartışma**

Özellikle alüvyon üzerine yerleşmiş olan kentlerde deprem-zemin-yapı etkileşimi ön plana çıkmaktadır ve bu tür alanlarda jeoteknik incelemelerin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmaların içinde de sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesi özellikle birinci derece deprem bölgelerinde bulunan şehirler için önemlidir.

Lapseki yerleşim alanı, üç farklı birimden oluşmaktadır. Bunlar, Çanakkale Formasyonuna ait Çamrakdere Üyesi, Kirazlı Üyesi ve bu birimleri uyumsuzlukla örten Alüvyonlardır. Çalışma alanındaki yeraltı suyunun yüzeyden derinlikleri 6 m ile 13.50 m arasında değişmektedir. Lapseki yerleşim alanının da çoğunu kapsayan Kuvaterner yaşlı alüvyal çökeller genellikle sıvılaşmaya karşı duyarlıdır. Dolayısıyla Lapseki yerleşim alanında bulunan zeminlerin, magnitudü 7.5 ve en büyük yer ivmesi 0.4 g olan senaryo bir deprem için sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında elde edilen ön bulgulara göre, Lapseki ilçesinin özellikle kıyı kesimlerinde FL değerinin 1'den küçük çıktığı, dolayısıyla olası bir depremde sıvılaşma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışma, Lapseki ilçesinde gerçekleştirilen ayrıntılı jeoteknik incelemelerin ön bulgularını kapsamaktadır. Elde edilen veriler ışığında, sıvılaşma analizlerinin daha ayrıntılı yapılması gerektiği görülmüştür. Gerçekte sıvılaşma potansiyeli, sıvılaşabilen zemin tabakalarının kalınlığına ve yüzeyden olan derinliklerine de bağlıdır. Dolayısıyla bir bölgenin sıvılaşma potansiyeli belirlenirken sıvılaşma potansiyeli indeksi ( $L_1$ ) analizlerinin de yapılması ve bunlara yönelik haritaların hazırlanması gerekmektedir.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] Dearman, W. R., Matula, M., “Environmental aspects of engineering geological mapping”, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol.14, pp 141 –146., 1976.
- [2] Yürekli H., Karaca Ö., “Liquefaction potential analysis and mapping of alluvium soil: a case study in Nazilli-Aydın (West Turkey)”, *Celal Bayar University Journal of Science*, vol. 16, Issue 1, pp 15-23, 2020.
- [3] Seed H.B., Idriss I.M., “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, *Earthquake Research Institute, Berkeley, California*, 1982.
- [4] Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F., Watanabe S., Yasuda S., Sato H., “Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods”, *Proceedings of 3rd Internatio.*, 1982.
- [5] Ulusay R., “Uygulamalı jeoteknik bilgiler (5. Baskı)”, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara*, 2010.
- [6] Mollamahmutoğlu, M., Babuçcu F., “Zeminlerde sıvılaşma analiz ve iyileştirme yöntemleri”, *Gazi Kitabevi, Ankara*, 2006.

- [7] Chu BL, Hsu SC, Chang YM., “Ground behavior and liquefaction analyses in central Taiwan-Wufeng” *Eng. Geol.*, vol.71, pp 119–139, 2004.
- [8] Kang GC, Chung JW, Rogers JD., “Re-calibrating the thresholds for the classification of liquefaction potential index based on the 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake”, *Eng. Geol.*, vol.169, pp 30–40, 2014.
- [9] Ulusay R, Aydan O, Kumsar H, Sonmez H., “Engineering geological characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan earthquake, with particular emphasis on liquefaction phenomena and the role of soil behaviour” *Bull. Eng. Geol Environ.*, vol.59, pp 99–118, 2000.
- [10] Ulusay R, Tuncay E, Hasancebi N., “Liquefaction assessments by field-based methodologies: foundation soils at a dam site in Northeast Turkey”, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol.66, pp 361–375, 2007.
- [11] Yilmaz I, Bagci A., “Soil liquefaction susceptibility and hazard mapping in the residential area of Kütahya (Turkey)”, *Environ. Geol.*, vol.49, pp 708–719, 2006.
- [12] Hasancebi N, Ulusay R., “Evaluation of site amplification and site period using different methods for an earthquake-prone settlement in Western Turkey”, *Eng. Geol.*, vol.87, pp 85–104, 2006.
- [13] Sonmez B, Ulusay R., “Liquefaction potential at Izmit Bay: comparison of predicted and observed soil liquefaction during the Kocaeli earthquake”, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 67, pp 1–9, 2008.
- [14] Sonmez B, Ulusay R, Sonmez H., “A study on the identification of liquefaction-induced failures on ground surface based on the data from the 1999 Kocaeli and Chi-Chi earthquakes”, *Eng. Geol.*, vol. 97, pp 112–125, 2008.
- [15] Tunusluoglu MC, Karaca O., “Liquefaction severity mapping based on SPT data: a case study in Canakkale city (NW Turkey)”, *Environmental Earth Sciences*, vol.77, pp. 422, 2018.
- [16] Gür Mühendislik, “Lapseki ilçesi yerleşim alanının imar planına esas jeolojik ve jeoteknik etüt raporu”, 2017.
- [17] Seed H.B., ve Idriss, IM., “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential”, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, vol.97(9), pp. 1249-1273, 1971
- [18] Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Arango I., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Finn W.D.L., Harder Jr. L.F., Hynes M.E., Ishihara K., Koester J.P., Liao S.S.C., Marcuson III 13 W.F., Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B., Stokoe K.H., II “Liquefaction resistance of soils. summary report from the NCEER and NSF workshops”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol.127 (10), pp 817-833, 2001.
- [19] Saltık O., “Şarköy-mürefte sahalarının jeolojisi ve petrol olanakları.” *TPAO Rapor No. 879*, 30s., 1974.
- [20] Şentürk K., Karaköse C., “Çanakkale Boğazı ve dolayının jeolojisi” *MTA Rapor no:9333*, Ankara, 1987.
- [21] MTA, “Biga Yarımadasının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası”, 2008
- [22] Okay AI, Kaslılar-Ozcan A, Imren C, Boztepe-Guney A, Demirbag E, Kuscu EI., “Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study”, *Tectonophysics*, vol.321, pp 189–218, 2000.
- [23] Rockwell T, Barka A, Dawson T, Akyuz S, Thorup K., “Paleoseismology of the Gazikoy-Saros segment of the North Anatolia fault, northwestern Turkey: comparison of the historical and paleoseismic records, implications of regional seismic hazard, and models of earthquake recurrence”, *J Seismol*, vol. 5, pp 433–448, 2001.
- [24] Gurbuz C, Aktar M, Eyidogan H, Cisternas A, Haessler H, Barka A, Ergin M, Turkelli N, Polat O, Ucer SB, Kuleli S, Baris S, Kaypak B, Bekler T, Zor E, Bicmen F, Yoruk A. “The seismotectonics of the Marmara region (Turkey): results from a microseismic experiment”, *Tectonophysics*, vol.316, pp 1–17, 2000.





## Su İeriği Değişiminin Kilin Şişme Davranışına Etkisi

### The Effect of Water Content Change on Clay's Swelling Behavior

Eylem Özge ATAYŞEN<sup>1</sup>, İnan KESKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([eylemozge.1993@hotmail.com](mailto:eylemozge.1993@hotmail.com))

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 78050 KARABÜK  
([inankeskin@karabuk.edu.tr](mailto:inankeskin@karabuk.edu.tr))

**Özet:** Şişen zeminler mühendislik yapılarında önemli hasarlara neden olmaktadır. Bu sebeple yapılarda oluşabilecek hasarların en aza indirilmesi için zeminlerin Şişme davranışlarının incelenmesi ve Şişme faktörlerinin göz ardı edilmeden planlamalarının yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında su içeriğinin zemin Şişme davranışına etkisini ortaya koyabilmek amacıyla 10 farklı su içeriğine sahip bentonit kilinin Şişme basınçları tüm koşullar aynı tutularak belirlenmiştir. Bu kapsamda deneylerde suyla temas ettiklerinde oldukça fazla bir Şişme özelliğine sahip bentonit türü (montmorillonit içerikli) kil kullanılmıştır. Deneylerde sabit hacimli Şişme basını deney yöntemi kullanılmış olup tüm numuneler, aynı oranda sıkıştırılmış ve Şişme deneyi aletine yerleştirilmiştir. Saf su ile Őişmeye bırakılan tüm numunelerde 10 gün boyunca ölçümler yapılarak Şişme basınçlarının başlangıç su içeriğine göre etkileri tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimuma yakın bölgelerde Şişme basınçları artarken optimumdan ıslak tarafa doğru ve kuru tarafa doğru Şişme basınçlarında bariz düşüşler gözlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Şişme, Şişme basıncı, su içeriği, kil

**Abstract:** Swelling soils cause significant damage to engineering structures. Therefore, it is very important to examine the swelling behavior of the soils and to plan without ignoring the swelling factors in order to minimize the damage that may occur in the structures. Within the scope of this study, the swelling pressures of bentonite clay with 10 different water content were determined by keeping all conditions the same in order to reveal the effect of water content on soil swelling behavior. In this context, bentonite type (montmorillonite content) clay, which has a very swelling property when it comes into contact with water with different water content, was used in the experiments. Fixed volume swelling pressure test method was used in the experiments and all samples were compressed at the same rate and placed in the swelling test device. In all samples left to swell with pure water, measurements were made for 10 days and the effects of swelling pressures on the initial water content were discussed. According to the results, while the swelling pressures increase in the regions close to optimum, there are obvious decreases in swelling pressures from optimum to the wet side and from the dry side.

**Keywords:** swelling, swelling pressure, water content, clay

## **1. Giriş**

Mühendislik yapıları üzerine inşa edilecek zeminlerin hareketlerinden etkilenmektedir. Geoteknik mühendisliğinin çalışma alanlarından biri de zeminlerin farklı yükleme ve çevre koşullarından nasıl etkileneceğini incelemektir. Bu zeminlerin başında büyük hacim değişimleri ile bilinen kil zeminler gelmektedir. Özellikle su ile temas ettiklerinde killer çok fazla sorun ortaya çıkarmaktadır. Killi zeminler üzerine inşa edilen özellikle hafif yapıların temel tasarımlarında dikkate alınması gereken en önemli zemin davranışı şişme özelliği ve buna bağlı olarak yüzeyde meydana gelecek zemin kabarmalarıdır. Bu nedenle, bu yapılarla ilgili zemin araştırmalarında söz konusu killi zeminin şişme potansiyeli, şişme sonucunda oluşacak maksimum basınç düzeyi ve buna bağlı olarak zemin yüzeyinde oluşacak kabarma miktarının belirlenmesi ve öngörülmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Killerin su ile etkileşimi detaylı olarak incelendiğinde, gerekli önlemler alınarak öngörülen problemler kontrol altına alınabilir. Şişme kil zeminlerdeki en büyük problemlerin başında gelmektedir. Kuru bir zemindeki su muhtevası ve gerilme koşullarındaki değişikliğin sonucu hacim artışı diğer bir deyişle şişme olarak bilinmektedir. Şişme, kuru bir zeminin su içeriğinin artmasına bağlı olarak, kil tanelerini birbirinden uzaklaştırır ve hacim artışına sebep olarak itki kuvveti oluşturur (Yong ve Warkentin, 1975). Kil yüzdesi, kilin minerolojik yapısı, kuru birim hacim ağırlık, gerilme şartları, dış yükler, su muhtevası, iklim şartları gibi birçok faktör killi zeminlerin şişmesini etkileyebilmektedir (Lambe, T.W., 1960). Optimum su muhtevasından daha düşük su muhtevasında killer daha fazla şişme eğilimde olmalarına rağmen, optimum üstündeki su muhtevasında şişme miktarı önemsiz derecede azdır Seed (1962). David ve Komornik (1969), yaptıkları çalışmayla su muhtevasının azalmasıyla şişme basıncının arttığını öne sürmüşlerdir. Chen (1975) ise yaptığı çalışmalarda su muhtevasının artmasına bağlı olarak hacimsel şişmelerin azaldığını belirtmiştir. Keskin (1993), killi zeminlerin şişme davranışı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmiş ve su içeriğinin artmasına bağlı olarak şişmenin azaldığını belirtmiştir.

Zeminlerde mevsim değişikliklerine bağlı olarak yağışlar artmakta buda hacim değişimlerine sebep olmaktadır. Bu tür hacim değişimlerinden kaynaklanan zararlar iyileştirme yöntemleriyle azaltılabilir (Kehew, A.E., 1995). Islatıldıklarında şişen ve kuruduklarında büzülen ve şişen zeminler olarak tabir edilen özellikle şişebilen kil oranı yüksek killi sorunlu zeminler olarak ifade edilmektedir. Bu tür zeminler örneğin sadece Amerika’ da binalara, yollara, hava alanlarına ve diğer tesislere bir yılda yaklaşık 9 milyar dolar zarar vermektedir. Bu miktar depremlerden, taşkınlardan, kasırgalardan ve hortumlardan kaynaklanan hasarın neredeyse iki katıdır (Jones and Holtz 1973, Jones and Jones 1987).

Zeminlerdeki şişme davranışının ve zemin üstyapı etkileşiminin ortaya konulması için zeminden alınan numuneler üzerinde yaygın olarak laboratuvar ortamında şişme deneyleri yapılmakta ve killi zemine ait şişme potansiyeli ile şişme sonunda oluşacak şişme basınçları belirlenebilmektedir. Killi zeminler üzerine inşa edilen özellikle hafif yapıların temel tasarımlarında dikkate alınması gereken en önemli zemin davranışı şişme özelliği ve şişmenin meydana getireceği basınçtır. Bu nedenle, bu yapılarla ilgili zemin araştırmalarında söz konusu killi zeminin şişme potansiyeli ve şişme sonucunda oluşacak maksimum basınç düzeyi ile buna bağlı olarak zemin yüzeyinde oluşacak kabarma miktarının belirlenmesi ve öngörülmesi çok büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile zeminlerin şişme özelliğine su içeriğinin etkisi irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda şişme özelliği çok yüksek sanayi ismi bentonit olan kil kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Bentonit kilin ilk olarak Atteberg limit değerleri belirlenmiş ve sonrasında da optimum su içeriğini belirlemek için kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Optimum su içeriği belirlenen bentonit kil optimumum altında ve optimum üstünde belirlenen farklı

su içeriklerinde hazırlanarak her numune için 10 gün süreyle şişme basınçları ölçerek başlangıç su içeriğinin şişme basınçına etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

Bentonit, montmorillonit ailesinin bir parçası ve %500 ya da daha yüksek likit limit değerine sahip bir kil mineralidir. Alüminyum ve magnezyum içeriği zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması veya bozulması sonucunda oluşurlar. Ticari anlamda ise gelişmiş sıvı emici ve koloidal özelliği olan her kile bentonit denmektedir (Akbulut, 1996;Önem, 2000;Mitchell ve Soga, 2005; Karakaya,2013). Bentonitler su ile temasa geçtiklerinde az veya çok şişerler. Bentonitler şişme yeteneklerine göre fazla, orta ve az şişen bentonitler olmak üzere üçe ayrıldığı gibi içeriğindeki sodyum kalsiyum iyonlarına göre üç grupta sınıflandırılabilir Bu bentonitlerin oluşumları bakımından jeolojik özellikleri farklılık göstermektedir. Bunlar içerisinde ticari olarak önemi bulunan sodyum bentonittir. Ancak sodyum bentonitin tabiatta rezervi az bulunmaktadır. Bu nedenle fazla şişme özelliği göstermeyen kalsiyum ve sodyum-kalsiyum bentonitler çeşitli kimyasal yöntemlerle sodyum bentonite dönüştürülmektedir (Akbulut, 1996;Özdemir ve Özcan, 2005).

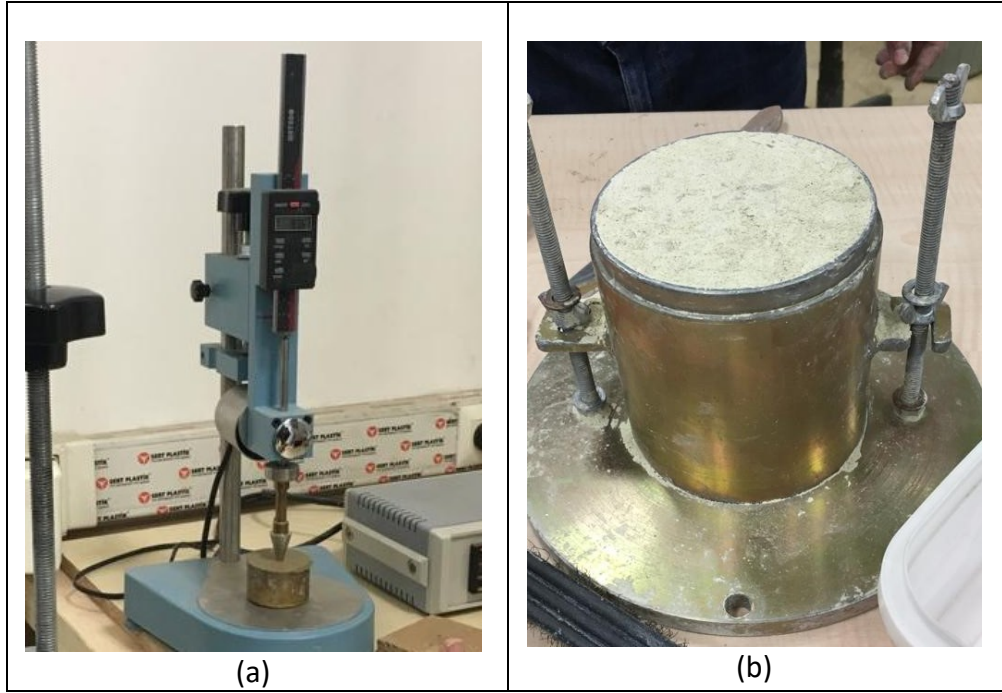
Deneylerde kullanılan bentonit, Tokat bölgesinden KarBen Bentonit Endüstriyel Madencilik Kimya Ar-Ge Nano Teknolojileri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Firmasından temin edilmiştir. Bu doğal bentonitler deneylere başlamadan toprakların serbestleştirilmesi amacıyla 40 nolu elek altından elenerek deneylerde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bentonite ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1.'deki gibidir. Ham bentonite ait kıvam limitleri ise Karabük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında yapılan deneyler ile belirlenmiş olup Likil Limiti 312, Plastik Limiti 67 olarak belirlebilmiştir (Çizelge 2, Şekil 1 a). Optimum su içeriğini belirlemek için de kompaksiyon deneyleri sonrasında kil numunesinin optimum su içeriği 43 olarak bulunmuş (Şekil 1b, Şekil 2) ve bu değerden yola çıkılarak optimum su içeriği altı ve optimum su içeriği üstü tanımlaması yapılmıştır.

Çizelge 1. Ham bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

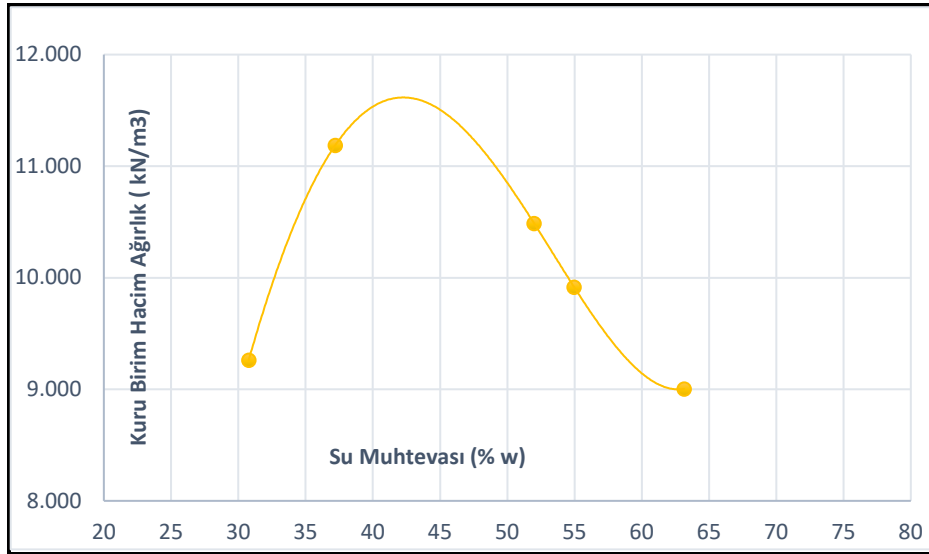
Tanım	Sonuç
Elek analizi	%10 (75 mikron)
Ateşte zahiyyat	%6,2
Ensilin değeri (45 Dk)	313
Ensilin değeri (24 saat)	876
Nem	9
E	310
SiO <sub>2</sub>	%58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%2,5
CaO + MgO	%5,2
K <sub>2</sub> O	%1,1
Na <sub>2</sub> O	%1

Çizelge 2. Ham bentonit kıvam limitleri.

Likit Limit (W <sub>L</sub> ) (%)	Plastik Limit (W <sub>P</sub> ) (%)	Plastiste İndisi (I <sub>P</sub> ) (%)
312	67	245



Şekil 1. Likit Limit deneyi (a), kompaksiyon deneyi (b)



Şekil 2. Kompaksiyon deney sonuçları

Optimum su içeriği belirlendikten sonrasında su içeriği %0' dan başlayarak %10'luk su içeriği artıyla %100 su içeriğine kadar zemin örnekleri hazırlanarak, Cihaz S tipi yük hücresi ve odeometre hücresinden oluşan şişme basıncı deney düzeneği ile 10 gün boyunca numunlerin şişme basıncı ölçülmüştür (Şekil 3). Söz konusu bu 4 kanallı veri toplama ünitesi ve bilgisayardan oluşmakta olup bir yazılım ile anlık şişme basıncı ölçüm alma kapasitesine sahiptir. Şişen killi bir zeminin su içeriğinin artması sonucunda oluşacak hacim değişikliğine engel olan basınç, şişme basıncı olarak adlandırılır. Bu çalışma kapsamında yukarıda ayrıntısı anlatılan cihaz ile şişmenin oluşmadığı durumda ulaşılan basınç bulunmuştur.

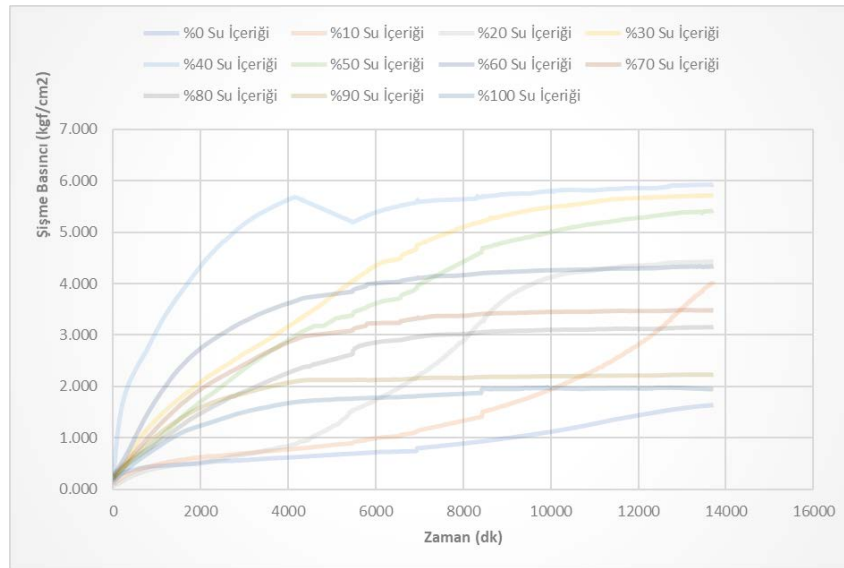


Şekil 3. Şişme basıncı deneyinin yapım aşamaları

### 3. Sonuçlar

Çalışma kapsamında, su içeriğinin artışına bağlı olarak bentonit kilinin şişme basıncı değişimleri irdelenmiştir. Farklı su içeriklerinde hazırlanmış bentonit kilinin şişme basıncı grafikleri toplu olarak irdelendiğinde elde edilen verilerin literatürde daha önce yapılan çalışmaları optimum su içeriğine kadar destekler nitelikte olduğu ancak optimum su içeriğinden sonrasında ise şişme basınçlarında göreceli olarak zamlılar olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışma ile su içeriğinin her %10'luk bir artışta şişme basıncının hangi oranlarda değişimler göstereceği deneysel olarak da ortaya konularak literatürde yapılan çalışmalara katkı sunulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar su içeriğine bağlı olarak bentonit kilinin şişme basıncının incelenen tüm su içeriklerinde optimum su içeriğine kadar arttığını, optimum su içeriğinden sonra ise azaldığını göstermektedir (Şekil 4). Şekil 4 incelendiğinde optimum su içeriğine yakın değerlerde %100'ün üstünde maksimum bir değişim olduğu tespit edilmiştir. Optimum altındaki %10 düzeyindeki su içeriğinin artışına bağlı olarak en büyük değer %20'den %30'a geçişte %75 artışla olarak gözlenmiştir.



Şekil 4. Farklı su muhtevsındaki bentonitin şişme basıncı değişimi

Optimumun üstünde ise en fazla şişme basınç değişimi ise %80 ile %90 su içeriği arasında %40'lık bir artışla gerçekleşmiştir. Genel olarak oluşturduğumuz bentonit numunelerinin 5 ve 6. günden itibaren şişme basınç değerlerinde bir sabitlenme söz konusu olduğu ve buradan yola çıkarak bentonitin belirli bir süreye kadar şişme özelliği gösterip sonrasında ise şişme özelliğinin duraksadığını da söylemek mümkündür.

Bu çalışma ile geoteknik alanında yapılacak zemin iyileştirmelerde şişen killerin su muhtevasına bağlı olarak hangi oranlarda şişme potansiyeline sahip olduğunu irdenelenmiş olup elde edilen bulguların uygulamaya yansılması ile şişme zararlarının azaltılmasında etkili olacağı değerlendirilmiştir.

### **KAYNAKLAR**

Akbulut A., 1996. Bentonit. MTA Eğitim Serisi-32, 78s, Ankara.

Chen, F.H., 1975. Foundation on Expansive Soils, New York: Elsevier Publications.

David, D. and Komornik, A.,1969. Prediction of Swelling Potential of Clays, Proceedings, ASCE, Vol. 95.

Jones, D.E.and Holtz, W.G.(1973) Expansive soil-the hidden disaster.Civil Engineering ASCE, 43, 49-51.

Jones, D.E. and Jones, K.A. (1987). Treating expansive soils. Civil Engineering. Vol.57, No. 8, pp. 62-65.

Kehew, A.E., Geology for Engineers and Environmental Scientists. Prentice-Hall, New Jersey, 1995, 720p.

Keskin, S.N., 1993. İstanbul Neojen Kilinin Şişme Davranışlarına Ön Konsolidasyonun, Minerolojik Özelliklerin ve Çevresel Faktörlerin Etkisi, Doktora Tezi.

Lambe, T.W.,1960. The Character and Identification of Expansive Soils.

Mitchell, J.K., Soga, K., 2005, Fundamentals of Soil Behavior Third Edition. John Wiley & Sons, 577s, New York.

Seed, H.B., Woodward, R.J., and Lundgren,R, 1962. Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers. Vol.88, No.SM3, pp. 53-87.

Yong, R. N., Warkentin, B. P., 1975. Soil properties and behaviour, Elsevier Scientific, Amsterdam, 449 p.



## Yağış Verileri Kullanılarak Bilgisayar Yazılımlarından Elde Edilen Taşkın Debilerinin Karşılaştırılması: Bulak Deresi (Karabük) Örneği

### Comparison of Flood Discharges Obtained Through Computer Softwares Using Precipitation Data: Example of the Bulak River (Karabuk)

Şeymanur TOPUKSAK<sup>1</sup>, Tülay EKEMEN KESKİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, seymanurt@hotmail.com

<sup>2</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, tulayekemen@karabuk.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada yağış verileri yardımıyla Bulak (Karabük) Deresi'nin DSİ Sentetik ve Mockus yöntemlerine göre farklı tekerrür yıllarına ait gelmesi muhtemel taşkın debileri hesaplanmıştır. Çalışmada, 1/25000 ölçekli sayısallaştırılmış topografik haritalar ve 30x30m çözünürlüklü ASTER görüntüleriyle havza alanları sırasıyla 30.551 km<sup>2</sup> ve 29.724 km<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Yağış istasyonlarının alansal dağılımları Thiessen yöntemiyle bulunmuş ve Bulak Deresi Havzası'nda Karabük<sup>(17078)</sup> istasyonunun etkili olduğu görülmüştür. Taşkın debisi hesaplarında kullanılan akış katsayılarını saptayabilmek amacıyla farklı olasılık yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar Kolmogorov-Smirnov'a göre verilmiştir. Hesaplamalar Karabük istasyonunun Plüvyograf Katsayısı (PLV) bulunamadığı için Bartın ve Çerkeş istasyonlarının PLV değerleriyle yapılmıştır. Taşkın analizinde havzanın hidrojeolojik ve arazi kullanım özelliklerine bağlı olarak Akış Eğri Numarası (CN) 77 olarak saptanmış, fakat daha güvenli bölgede kalabilmek için hesaplamalar 80'e göre de yapılmıştır. Hesaplamalarda, topografik haritalar ve ASTER görüntülerinden elde edilen taşkın debilerinin birbirleriyle çok benzer olduğu, bununla beraber PLV katsayılarının CN kadar debi sonuçlarını etkilediği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Taşkın Debisi, Mockus Yöntemi, DSİ Sentetik Yöntemi, Bulak Deresi

**Abstract:** In this study, with the help of precipitation data, the possible flood discharge of Bulak (Karabük) Stream according to different year return period were calculated according to DSI Synthetic and Mockus methods. In this study, the drainage areas using 1/25000 scaled digitized topographic maps and Aster-GDEM images with 30x30 m resolution were determined as 30.551 km<sup>2</sup> and 29.724 km<sup>2</sup>, respectively. Areal distribution of precipitation stations was found by Thiessen method and it was seen that the station of Karabük<sup>(17078)</sup> was effective in Bulak Stream Basin. In order to determine the flow coefficients used in flood discharge calculations, different probability methods were used, and the results were given according to Kolmogorov-Smirnov. Calculations were made with the PLV values of Bartın and Çerkeş stations, since the Pluviograph Coefficient (PLV) of Karabük station could not be found. In the flood analysis, the Flow Curve Number (CN) was determined as 77 depending on the hydrogeological and land use characteristics of the basin, but calculations were made according to 80 in order to stay in a safer area. In the calculations, it was determined that the flood discharges obtained from topographic maps and ASTER images are very similar, however, PLV coefficients affect the flow results as much as CN.

**Keywords:** Bulak River, Flood Discharge, Flow Curve Number, Mockus Method, DSI Synthetic (Superposition) Method.

## 1. Giriş

Ülkemizde depremler ve heyelanlardan sonra en büyük can kayıplarına ve maddi zararlara sebep olan doğal afetler taşkınlardır. Taşkınlar; meteorolojik faktörler, havzanın topografyası, havzanın jeolojik özellikleri, yağış alanının büyüklüğü, küresel ısınma vb. faktörlerden etkilenmektedir. Taşkınların oluşması için meteorolojik ve jeolojik şartların oluşması gerekir. Taşkının doğal afete dönüşmesine neden olan en önemli unsurlardan biri insan müdahalesidir [3]. Bu çalışmada, üzerinde akım gözlem istasyonu bulunmayan Bulak Deresi'nin belirli yıllara ait taşkın debileri, Netcad programının Nethydro modülünü kullanarak bulunmuştur. Netcad üzerinde modellenen havza 1/25000'lik haritalarla yapılan analizde 30.551 km<sup>2</sup>, ASTER-GDEM verileriyle yapılan analizde ise 29.724 km<sup>2</sup> olarak saptanmıştır.

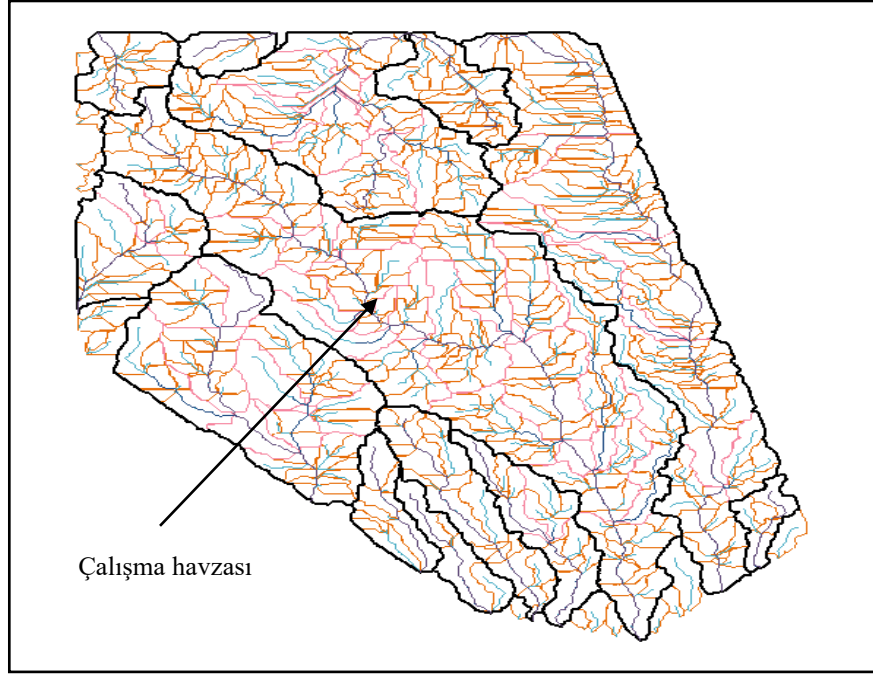
## 2. Meteryal ve Metot

Bulak Deresi Havzası Batı Karabük Bölgesinde (UTM 6 projeksiyon sisteminde, ITRF96 datumunda; ASTGTM2\_N40E032) ve Karabük İli'nin kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Bu çalışmada 30x30 m çözünürlüklü Japonya, Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI) ve Birleşik Devletler Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) tarafından ortaklaşa geliştirilen ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emisyon ve Reflection Radiometer) GDEM (Küresel Sayısal Yükseklik Modeli) haritaları ve 1/25000 ölçekli sayısallaştırılmış topografik haritalar kullanılmıştır. Havzanın hidrojeolojik ve arazi kullanım özelliklerine bağlı olarak Akış Eğri Numarası (CN) 77 olarak saptanmış [1,2,6,7], fakat daha güvenli bölgede kalabilmek için 80'e göre de hesaplamalar yapılmıştır. Bulak Deresi Havzasının yakınında bulunan yağış verileri kullanarak DSİ Sentetik ve Mockus yöntemlerine göre Bulak Deresi'nin 2, 5, 10, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık tekerrür süreli gelmesi muhtemel taşkın debileri hesaplanmıştır. Yağış analizleri için minimum 15 yıl eksiksiz veri toplamış meteoroloji istasyonlarının etki alanları Thiessen yöntemine göre hesaplanarak, Bulak Deresi havzasına Karabük<sup>17078</sup> istasyonunun etkili olduğu görülmüştür. Bu istasyon için 6 ayrı olasılık yöntemi kullanılmış ve sonuçlar Kolmogorov-Smirnov testine göre verilmiştir. Daha sonra taşkın analizine geçilmiş havzanın hidrojeolojik ve arazi kullanım özelliklerine bağlı olarak CN 77 olarak saptanmış, fakat daha güvenli bölgede kalabilmek için hesaplamalar 80'a göre de yapılmıştır. Buna bağlı olarak havzanın 2, 4, 6, 8, 12, 18, 24 saatlik yağışlar için belirli yıllara ait dönüş aralığında gelmesi muhtemel taşkın debileri hesaplanmıştır.

### 2.1. Havzanın Modellenmesi

Bulak Deresi Havzasını modellemek için Netcad programının Nethydro modülü kullanılmıştır. Programda 1/25000 ölçekli topografik haritalar ve 30x30 m çözünürlüklü ASTER-GDEM verileri yardımıyla üzerlerinde birtakım düzeltme işlemleri yapılarak ana havza ve alt havzalar TauDEM algoritmasına göre ve D8 akım modeline uygun bir şekilde bulunmuştur [4,5].





Şekil 1. Çalışılan alanın modellenmesiyle oluşmuş havza alanları ve akış kolları

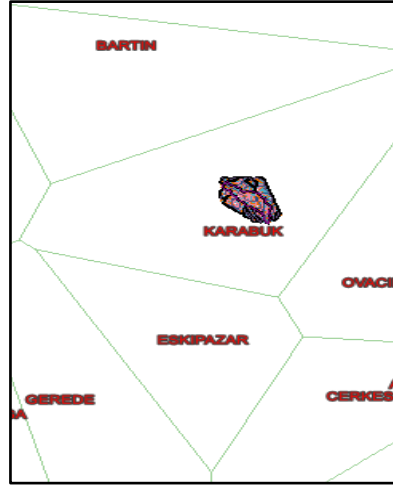
Şekil 1’de Netcad üzerinde modellenmiş ana havza, alt havza ve akım ağları verilmiştir. Modelleme sonucunda Bulak Deresi havzasının alanı 1/25000’lik haritalarla yapılan analizde 30.551 km<sup>2</sup>, ASTER-GDEM verileriyle yapılan analizde 29.724 km<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Yapılan iki analizin sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür, bu yüzden 1/25000 ölçekli haritaların daha detaylı olduğu göz önünde bulundurularak bu analiz sonuçları dikkate alınmıştır.

## 2.2. Yağışın alansal dağılımı ve yağış değerlerinin hesaplanması

Yağış analizi için havzanın yakınlarında en az 15 yıl aralıksız veri toplamış meteoroloji istasyonları dikkate alınmıştır. Havza için Bartın<sup>17020</sup>, Karabük<sup>17078</sup>, Eskipazar<sup>17641</sup>, Çerkeş<sup>17646</sup> istasyonlarının günlük maksimum yağış değerlerini kullanarak 6 farklı istatistiksel dağılım (Normal dağılım, Log-Normal (2 parametrelili), Log-Normal (3 parametrelili), Pearson Tip-3 (Gama Tip-3), Log-Pearson Tip-3 ve Gumbel) uygulanmıştır. Kullanılan dağılımlara Kolmogorov-Smirnov testi yapılarak uygunluk durumları saptanmış, farklı tekerrür yıllarına ait 2, 4, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat süreli yağış yinelenmeleri hesaplanmıştır. İstasyonlarının yağışlarının alansal dağılımları ve etki alanları bölgenin topografyasını da göz önünde bulundurarak Thiessen yöntemine göre bulunmuştur. Thiessen yöntemine göre havzaya Karabük istasyonunun tam etki ettiği görülmüştür (Şekil 2). Çizelge 1’de Karabük istasyonuna ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1. Havzaya etki eden istasyonun 24 saat süreli yağış yinelenmelerinde farklı tekerrür aralıklarındaki en uygun dağılım sonuçları

İstasyon Adı- Temsil oranı(%)	Kolmogorov- Smirnov Testi	2	5	10	25	50	100
Karabük (1.0)	Log-Pearson Tip-3	30.785	42.411	51.337	64.13	74.812	86.555
24 saatlik havza yağışı		30.79	42.41	51.34	64.13	74.81	86.56



Şekil 2. Yağış istasyonlarının havza üzerindeki alansal dağılımı

### 2.3. Harmonik eğim hesabı

Harmonik eğim; topografik haritalarda 17.623 km'lik akarsu üzerinde 50 parça üzerinden hesaplanarak ortalama 0.052 olarak hesaplanırken, ASTER-GDEM verileri üzerinde 17.269 km'lik akarsu üzerinde 50 parça üzerinden 0.054 bulunmuştur (Çizelge 2).

### 2.4. DSİ sentetik birim hidrograf ile taşkın debi hesapları

DSİ Sentetik yönteminde birim akış yüksekliğini (mm) oluşturan 2 saat süreli yağışın birim alandan geçireceği akış verimi ( $q, \text{lt/sn/mm/km}^2$ ) hesaplanmaktadır [5]. Çizelge 2'de Çerkeş istasyonuna ait PLV katsayıları kullanılarak CN 77 ve CN 80 için yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir.

Çizelge 2. CN 77 ve CN 80 için DSİ Sentetik Yönteme göre hesap girdileri ve sonuçları

<b>GİRDİLER</b>		
Görüntü/Harita ID	1/25000 Topografik Harita	Aster Görüntüleri
Metod	DSİ Sentetik	DSİ Sentetik
Harmonik eğim (S)	0.052	0.054
L (Uzunluk, m)	17623.438	17269.270
Havza alanı (A, $\text{km}^2$ )	30.551	29.724
<b>SONUÇLAR</b>		
Merkezin havza giriş veya çıkış noktasına olan en uzun mesafe ( $L_c$ , km)	9.216	8.785
$Q_p = A \cdot 1 \cdot q_v \cdot 10^{-3}$ ( $\text{m}^3/\text{sn}/\text{mm}$ )	2.047	2.033
DSİ $q_p$ (1 mm'lik akış verimi ( $\text{lt}/\text{sn}/\text{km}^2/\text{mm}$ ))	67.012	68.385
DSİ Vb (Birim hidrograf hacmi, $\text{m}^3$ )	30551.043	29723.715
DSİ T (Hidrografın devam süresi, saat)	15.130	14.826
DSİ Tp (Hidrografın pike erişme süresi, saat)	3.026	2.965
<b>HESAP DEBİSİ (<math>\text{m}^3/\text{mm}/\text{sn}</math>)</b>		
Kaç Yıllık debi	100	100
Hesap debisi ( $\text{m}^3/\text{mm}/\text{sn}$ ) (2 saatlik) (CN=77)	30.981	30.870
Hesap debisi ( $\text{m}^3/\text{mm}/\text{sn}$ ) (2 saatlik) (CN=80)	37.877	37.730

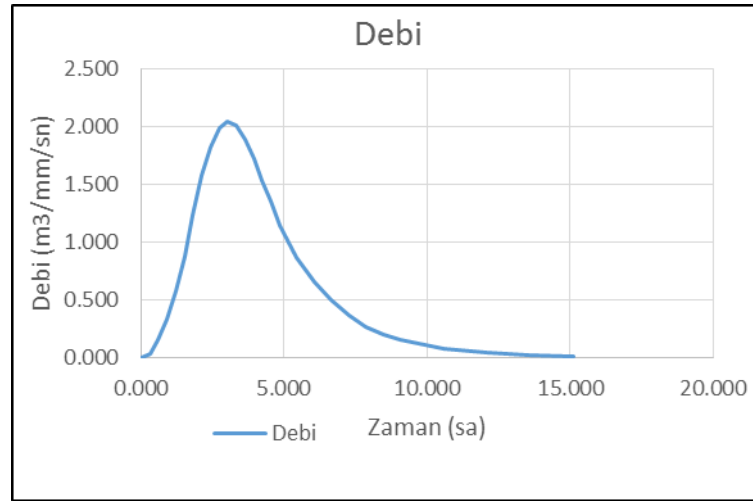
$$qp(qv) = 414 / [A^{0.225} (L.Lc/\sqrt{S})^{0.16}], \quad Vb = A.10^3, \quad T = (3.65.Vb) / Qp, \quad Tp = T/5$$

DSİ Sentetik birim hidrograf yönteminde artım akışlarının hesaplanabilmesi için önce yağışın alansal dağılımları hesaplanmıştır. Ülkemizdeki yağışın zaman içindeki dağılım grafiğine göre çalışma bölgesi A bölgesinde bulunmaktadır. Bu sebeple A eğrisinin katsayıları kullanılmıştır [5]. Hesaplamalarda plüvyograf katsayısı için Karabük istasyonuna ait bir değer bulunmadığından, PLV katsayısı seçilirken Bartın ve Çerkeş istasyonlarına ait katsayı değerleri kıyaslanmış, Çerkeş istasyonunun katsayıları daha büyük olduğundan bu değerler kullanılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Bartın ve Çerkeş istasyonlarına ait Plüvyograf Katsayıları (PLV)

PLV KATSAYILARI	2	4	6	8	12	18	24
BARTIN	0.47	0.57	0.65	0.71	0.79	0.90	1.00
ÇERKEŞ	0.62	0.71	0.77	0.83	0.90	0.95	1.00

CN 80 kullanılarak elde edilen DSİ birim hidrografi Şekil 3'te verilmiştir. DSİ Sentetik yöntemde 1/25000 ölçekli topografik harita üzerinde, ortalama CN 77 ve 80 için işlem yapılmış ve 2-5-10-25-50-100-500 ve 1000 yıllık taşkın debileri hesaplanmıştır (Çizelge 4, 5). Hesaplamalar sonucunda CN 80 seçildiğinde taşkın debilerinin daha büyük sonuçlar verdiği görülmüştür. Zeminin geçirimsizliği/geçirimsizliği bu noktada çok önemli olduğu saptanmıştır.



Şekil 3. DSİ Sentetik Birim Hidrografi

Çizelge 4. 1/25000 ölçekli topografik haritalar kullanılarak Akış Eğri Numarası (CN) 77 için bulunmuş taşkın tekerrür debileri (m³/sn)

	Sentetik Yöntem Taşkın Tekerrür Debileri (m³/sn)						
	Proje Sağanak Süreleri (saat)						
	2	4	6	8	12	18	24
Q <sub>2</sub>	0.703	1.596	2.069	2.243	2.367	2.079	1.928
Q <sub>5</sub>	3.890	5.504	6.048	6.116	6.108	5.180	4.529
Q <sub>10</sub>	7.730	9.696	10.230	10.088	9.867	8.166	7.429

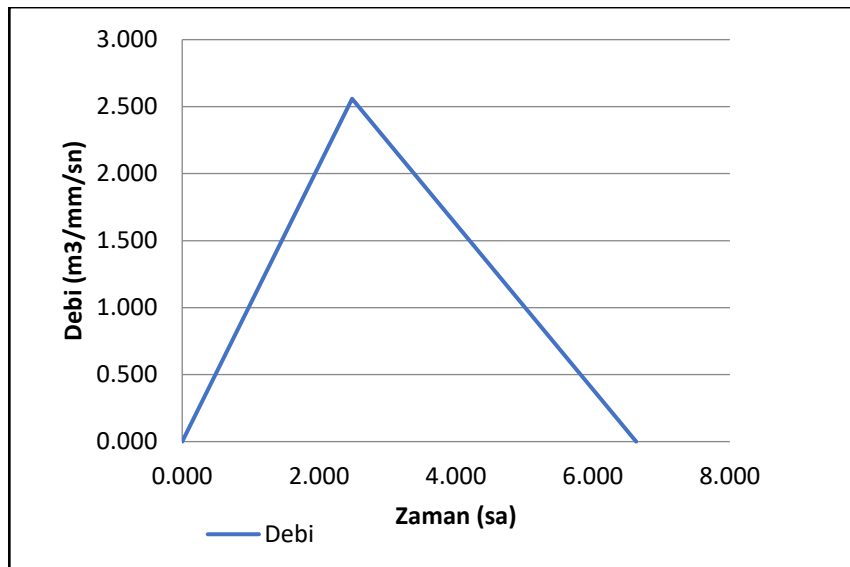
Q <sub>25</sub>	14.890	17.339	17.511	17.238	16.192	13.301	12.545
Q <sub>50</sub>	22.071	24.873	24.762	24.196	22.248	18.624	17.459
Q <sub>100</sub>	30.981	34.059	33.522	32.810	29.413	25.283	23.316
Q <sub>500</sub>							42.939
Q <sub>1000</sub>							48.764

Çizelge 5. 1/25000 ölçekli topografik haritalar kullanılarak ve Akış Eğri Numarası (CN) 80 için bulunmuş taşkın tekerrür debileri (m<sup>3</sup>/sn)

	Sentetik Yöntem Taşkın Tekerrür Debileri (m <sup>3</sup> /sn)						
	Proje Sağanak Süreleri (saat)						
	2	4	6	8	12	18	24
Q <sub>2</sub>	1.726	2.808	3.284	3.371	3.453	2.961	2.659
Q <sub>5</sub>	6.200	7.829	8.277	8.171	8.004	6.638	6.013
Q <sub>10</sub>	11.032	12.990	13.230	13.029	12.337	10.044	9.513
Q <sub>25</sub>	19.570	21.957	21.815	21.322	19.520	16.406	15.346
Q <sub>50</sub>	27.841	30.459	29.910	29.285	26.188	22.604	20.742
Q <sub>100</sub>	37.877	40.668	39.573	38.746	34.514	30.107	27.078
Q <sub>500</sub>							49.861
Q <sub>1000</sub>							56.469

## 2.5. Mockus birim hidrograf ile taşkın debi hesapları

Mockus birim hidrograf yönteminde gereken parametreler havzanın modellenmesi sırasında elde edilmiştir. Havzadaki akış için toplanma süresi (T<sub>c</sub>) 2 saat olarak hesaplanmış olup, PLV katsayı için Çerkeş istasyonunda 2 saate karşılık 0.62 değeri alınarak hesaplamalar yapılmıştır. CN 80 için Mockus birim hidrograf grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Çizelge 6'da Mockus birim hidrograf yöntemine göre hesap girdileri ve sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. Mockus Birim Hidrografi

Çizelge 6. CN 77 ve CN 80 için Mockus Yönteme göre hesap girdileri ve sonuçları

<b>GİRDİLER</b>		
Görüntü/Harita ID	1/25000 Topografik Harita	Aster Görüntüleri
Metod	Mockus	Mockus
Havza K katsayısı	0.208	0.208
Harmonik eğim (S)	0.052	0.054
L (Uzunluk, m)	17623.438	17269.270
Havza alanı (A, km <sup>2</sup> )	30.551	29.724
<b>SONUÇLAR</b>		
Toplanma süresi ( $T_c=0.00032*(L*0.77/S*0.385)$ )	1.864	1.807
Yağış süresi ( $D = 2*T_c^{1/2}$ )	2.730	2.688
Hidroğrafın yükselme zamanı ( $T_p = 0.5*D + 0.6*T_c$ )	2.484	2.428
Hidroğrafın alçalma süresi ( $T_r = 1.67*T_p$ )	4.148	4.055
Yağış süresi ( $T_P = T_p + T_r$ )	6.631	6.484
Pik debi ( $Q_p = (K*A*ha)/T_P$ ), (m <sup>3</sup> /mm/sn)	2.559	2.546
<b>HESAP DEBİSİ (m<sup>3</sup>/mm/sn)</b>		
Kaç Yıllık debi	100	100
Hesap debisi (m <sup>3</sup> /mm/sn) (CN=77)	38.820	38.757
Hesap debisi (m <sup>3</sup> /mm/sn) (CN=80)	47.461	47.370

Çizelge 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde 1/25000 ölçekli topografik haritalarla yapılan analizlerin sonucunun ASTER görüntüleriyle yapılan analiz sonuçlarına çok yakın olduğu görülmüştür. Bu nedenle taşkın tekerrür debi sonuçları daha detaylı bilgiler sunan topografik haritalara göre verilmiştir. Hesaplamlarda havza katsayısı (K) hem 0.208 hem de 0.163 alınarak işlem yapılmıştır. Mockus birim hidrograf yöntemine göre taşkın debi sonuçları CN 77 ve 80 değerleri için sırasıyla Çizelge 7 ve Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 7. 1/25000 ölçekli topografik haritalar kullanılarak Akış Eğri Numarası 77 için Mockus Birim Hidrografa göre debi sonuçları (m<sup>3</sup>/sn)

Yöntem	T(Saat)	%	MF	YADK	PLV	Son Çarpım	24 saatlik yağış yinelenme değerleri					
							2	5	10	25	50	100
Mockus	2.0	1	1.13	0.949	0.620	0.665	30.785	42.411	51.337	64.130	74.812	86.555
Akış Katsayısı (mm)							0.344	1.905	3.785	7.292	10.809	15.172
Q <sub>P</sub> 2.559							0.881	4.874	9.686	18.658	27.656	38.820
K <sub>1</sub> 0.208												
Q <sub>P</sub> 2.005												
K <sub>2</sub> 0.163							0.7	3.8	7.6	14.6	21.6	30.4
S'=((1000/ CN) - 10) * 25.4												
CN 77.000							Q <sub>500</sub> m <sup>3</sup> /s	58.982	(K <sub>1</sub> 'e göre)			
S 75.870							Q <sub>1000</sub> m <sup>3</sup> /s	67.664	(K <sub>1</sub> 'e göre)			
0.2S 15.174												
0.8S 60.696												
hakış = (P - 0.2S') <sup>2</sup> / (P + 0.8S')												

MF: Maksimize faktörü, YADK: Yağış alan dağılım katsayısı, PLV: Plüvyograf katsayısı, S: Maksimum kayıp (biriktirme), CN: Akış eğri numarası, hakış: artık yağış yüksekliği, P: Yağış

**Çizelge 8.** 1/25000 ölçekli topografik haritalar kullanılarak Akış Eğri Numarası 80 için Mockus Birim Hidrografa göre debi sonuçları (m<sup>3</sup>/sn)

Yöntem	T(Saat)	%	MF	YADK	PLV	Son Çarpım	24 saatlik yağış yinelenme değerleri					
							2	5	10	25	50	100
Mockus	2.0	1	1.13	0.949	0.620	0.665	30.785	42.411	51.337	64.130	74.812	86.555
Akış Katsayısı (mm)							0.845	3.036	5.402	9.584	13.634	18.549
Q <sub>P</sub> 2.559							2.162	7.769	13.823	24.521	34.886	47.461
K <sub>1</sub> 0.208							1.7	6.1	10.8	19.2	27.3	37.2
Q <sub>P</sub> 2.005												
K <sub>2</sub> 0.163												
Q <sub>500</sub> m <sup>3</sup> /s							70.739	(K <sub>1</sub> 'e göre)				
Q <sub>1000</sub> m <sup>3</sup> /s							80.763	(K <sub>1</sub> 'e göre)				

#### Akış Hesapları

$$S' = ((1000 / CN) - 10) * 25.4$$

CN 80.000

S 63.500

0.2S 12.700

0.8S 50.800

$$hakış = (P - 0.2S')^2 / (P + 0.8S')$$

MF: Maksimize faktörü, YADK: Yağış alan dağılım katsayısı, PLV: Plüvyograf katsayısı, S: Maksimum kayıp (biriktirme), CN: Akış eğri numarası, hakış: artık yağış yüksekliği, P: Yağış

### 3.Sonuçlar

Bu çalışmada iki farklı görüntü, iki farklı birim hidrograf yöntemi, iki farklı CN numarası ve iki farklı PLV katsayısı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen bilgilere göre 1/25000 ölçekli haritalar ve ASTER görüntülerinin birbirlerine çok yakın taşkın debi değerleri verdiği, bununla birlikte CN 80, Çerkeş PLV ve Mockus yönteminden elde edilen taşkın debi değerlerinin ise kullanılan diğer yöntem ve değerlerden daha yüksek taşkın debi değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Fakat havza alanının 30.551 km<sup>2</sup> olduğu düşünüldüğünde Mockus yönteminin 1-10 km<sup>2</sup> arası alana sahip havzalarda daha doğru sonuç verdiği göz önünde bulundurularak DSİ Sentetik yöntemi, CN 80 ve Çerkeş PLV değerleri kullanılarak elde edilen sonuçların mühendislik projelendirilmelerinde kullanılmasının daha uygun olabileceği düşünülmektedir. Buna göre 1/25000 ölçekli topografik haritalar, CN 80, Çerkeş PLV ve DSİ Sentetik birim hidrograf yöntemi seçilerek havzanın 100 yıllık debisi 40.668 m<sup>3</sup>/sn olarak hesaplanmıştır. Seçilen havzada mansap noktasına inşa edilecek bir sanat yapısının seçilen yöntem ve parametredeki debi değerine göre projelendirilmesinin daha güvenli sonucu vereceği öngörülmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Bayazıt, M., *Hidroloji*, Birsen Yayınevi, Ankara, s. 260 , 2003.
- [2] Chow, V.T., *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1964.
- [3] Çetin, N.İ., Tezer, A., “ABD, Avrupa Birliği ve Türkiye’de sel risk yönetiminin karşılaştırılması”, *3.Ulusal Taşkın Sempozyumu*, İstanbul, 2013.
- [4] Keskin, T.E., Doğan, E., Sönmez, O., Umarusman, B., Badfar, M., Spor, P., Çetiner, H.İ., “Yukarı Bartın Nehrinin 1/25000 Ölçekli Topografik Haritalar ve ASTER Görüntüleri Kullanılarak Tahmin Edilen Taşkın Debilerinin Karşılaştırılması”, *10. Ulusal Hidroloji Kongresi*, Muğla, I. Cilt, s. 619-628, 2019.
- [5] Keskin, T.E., Çetiner, H.İ., Başdağ, S., Genç, S., Kılıç, H.Y., “Akım Gözlem İstasyonları Bulunmayan Nehirlerin DSİ Sentetik Yöntemi Kullanılarak Taşkın Debilerinin Tahmini:



- Eskipazar ayı rneği (Karabük, Türkiye)”, *2ND International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management*, Sakarya, s. 333-343, 2018.
- [6] SCS, *Estimation of direct runoff from storm rainfall*, National Engineering Handbook, Section 4, 1972.
- [7] SCS, *Rufoff curve number coputation*, Hydtology Training Series, Module 104, 1989.



## Beton ve Koruge Boruların Hidrolik Performanslarının Karşılaştırılması

## Comparison of Hydraulic Performance of Concrete and Corrugated Pipes

Taha ORTAKCI<sup>1</sup>, Fatih SAKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabuk University, Graduate Education Institute, Department of Civil Engineering, Karabuk-Turkey, tahaortakci@karabuk.edu.tr

<sup>2</sup> Karabuk University, Graduate Education Institute, Department of Civil Engineering, Karabuk-Turkey, sakafatih@karabuk.edu.tr

**Özet :** Sıvı ve gazların yerleşim yerlerine taşınmasına ve uzaklaştırılmasına yarayan borular yeraltında ve üstünde sıkça kullanılmaktadır. Aynı amaç için kullanılan boru çeşitlerinin pürüzlülük katsayıları değişken olabilmektedir. Bu sebeple aynı doluluk şartlarında, akış hızından kaynaklı farklı debiler oluşabilmektedir. Bu çalışmada 2017 yılında yayınlanan atık su ve yağmur suyu uzaklaştırma sistemleri hakkında yönetmelikte müsaade edilen eğim aralıklarında beton ve koruge borular için hesaplar yapılmıştır. Beton ve koruge boruların hidrolik tasarımlarını kolaylaştıracak pratik veriler grafiklerle elde edilmiştir. Çalışmada cidar pürüzlülüğü düşük olan koruge boruların beton borulara göre hidrolik olarak daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kanalizasyon, Boru Pürüzlülüğü

**Abstract :** Pipes for transporting and removing liquids and gases to residential areas are frequently used underground and above. Roughness coefficients of the pipe types used for the same aim can be variable. For this reason, under the same filling conditions, different flow may occur due to the flow rate. In this study, calculations were made for concrete and corrugated pipes in the slope intervals allowed in the regulation on waste water and rainwater removal systems published in 2017. Practical data that will facilitate the hydraulic designs of concrete and corrugated pipes have been obtained with graphics. In the study, it has been observed that corrugated pipes with low wall roughness perform better hydraulically than concrete pipes.

**Key Words:** Sewer System, Pipe Roughness

### 1.Giriş

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte altyapı çalışmalarının önemi de artmaktadır. Altyapı çalışmaları denildiğinde akla ilk gelen unsurlardan biri kanalizasyon sistemleridir. Bu sistemlerde sıklıkla kullanılan beton ve koruge borular birbirlerine karşı üstünlükleri tasarım tercihinde değerlendirilmektedir. Boru tercihi yapılırken; cidarın pürüzlülüğü, fiziksel ve kimyasal aşınmalara karşı direnç, yük etkisi altında mukavemet, hizmet ömrü, nakliye, montaj kolaylığı, teknik bakımdan yeterlilik ve maliyet gibi etkiler değerlendirilerek karar verilmelidir. Boruların hizmet amacı olan atık su debilerini uzaklaştırma performansı hidrolik özelliklerini yansıtmaktadır.



Tasarım debilerin geçeceği beton ve koruge borularda dairesel kesitli kullanımı yaygın olmakla birlikte hidrolik hesap yöntemleri de benzer özellikler taşımaktadır. Ancak boru tercihinde, iç yüzey pürüzlülüğü debi taşıma potansiyelini etkilemektedir. Sistemlerde boru malzemesinden etkilenen pürüzlülük katsayısı borudan boruya değişken olmakta dolayısıyla aynı doluluk şartlarında akış hızından kaynaklı farklı debiler oluşabilmektedir [1,2]. Nitekim (Tulpar,2010; Kasap.2016 ) yapılan çalışmalarda boru cidar pürüzlülüğünün hidrolik hesaplamaları etkilediği ortaya konulmuştur.

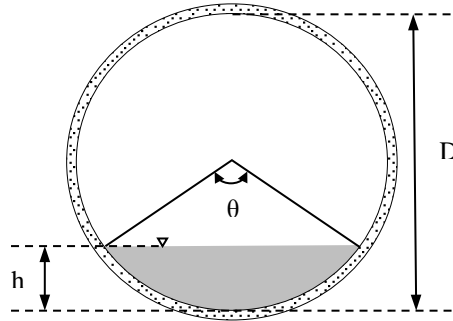
## 2. Çalışmanın Kapsamı

Kanalizasyon sistemleri yönetmeliklerine göre atıksu şebekeleri maksimum %50 doluluğa, yağmur suyu şebekeleri ise %90 doluluk oranına kadar tasarlanabilmektedir. Şebekelerde akımı kontrol altında tutabilmek için eğim ve hız sınır değerleri konulmuştur. Tasarımda kanallarda üniform, kararlı ve türbülanslı akım olduğu kabul edilmektedir. Boruların kısmi dolu akışta yük kayıplarına bağlı hız ve debi değerlerinin tespitinde yaygın olarak Manning, Kutter, Colebrook-White denklemleri kullanılmaktadır. [1,2].

Çalışmada yapılacak vaka analizinde, hız ve debi hesaplamalarında pratik ve yaygın kullanımından manning denklemi tercih edilmiştir.

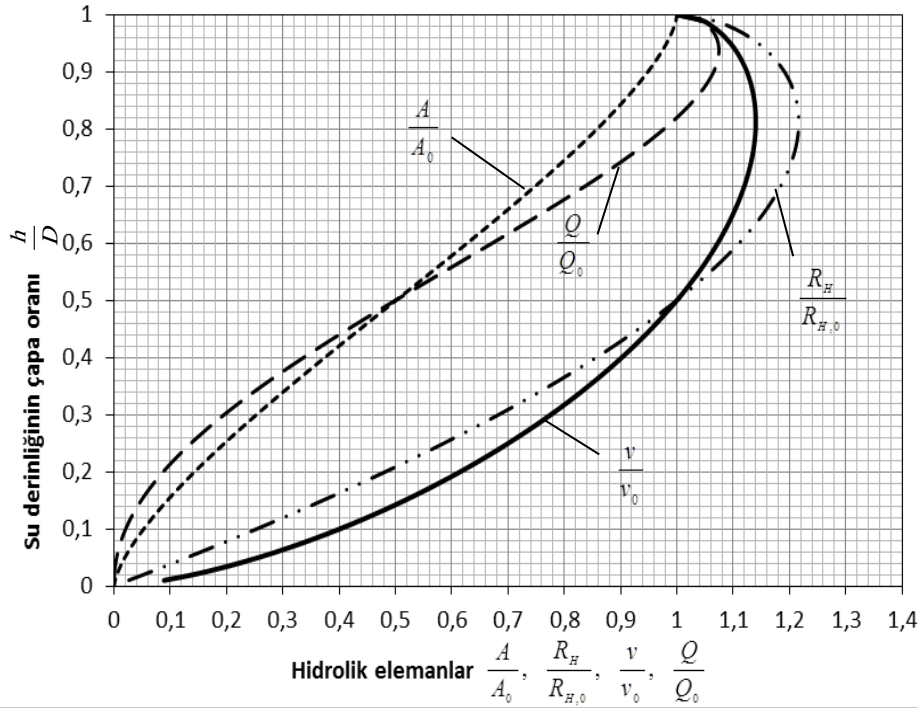
### 2.1. Borularda Akış

Boruda akış koşullarında bilinen bir değer üzerinden diğer bilinmeyenlerin akış açısından belirlenebilmesi mümkündür. Ayrıca Şekil 2'deki abak üzerinden kanalda akış şartlarında oranı bilinen bir değer üzerinden diğer hidrolik oranlamalara ulaşılabilir [1].



Şekil 1. Dairesel Kesitli Kanallarda Kısmi Dolu Akış Durumu [1]

$\theta$	Su kesitinin dairesel kesit merkezinde oluşturduğu açıdır (radyan).
D	Kanal çapıdır (m).
$A_0$	Tam dolu akışta kanal kesit alanıdır ( $m^2$ )
$R_{H,0}$	Tam dolu akışta kanalın hidrolik yarıçapıdır (m)
$V_0$	Tam dolu akışta akış hızıdır (m/sn)
$Q_0$	Tam dolu akıştaki debidir ( $m^3/sn$ )
Q	Kanaldaki debidir ( $m^3/sn$ )
V	Kanaldaki akış hızıdır (m/sn)
$R_H$	Kanaldaki akış şartlarında kanalın hidrolik yarıçapıdır (m)
A	Kanaldaki akış şartlarında kanal kesit alanıdır ( $m^2$ )
h	Kanaldaki akış şartlarında akış derinliğidir (m)



Şekil 2. Doluluk Oranına Göre Diğer Parametre Oranları [1].

Yukarıdaki verilen abakta doluluk oranlarında ( $h/D$ ) geçen debi miktarı oranları incelendiğinde %82 dolulukta tam dolu akış debisine ulaştığı görülmektedir. %82 ile %100 dolu akış aralığında boru debi taşıma kapasitesi üzerine çıktığını ve %100 dolu akışta tekrar tam dolu akış kapasitesine geri geldiği anlaşılmaktadır. Bu durum %100 dolulukta boru yük kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır [5]. Yağmursuyu şebekesi vaka analizinde hesap emniyeti için %90 akış durumu yerine tam dolu akış debisine yani  $Q/Q_0$  oranının 1 olduğu duruma göre hesap yapılacaktır.

## 2.2.Manning Denklemi

Dairesel kesitli ve dairesele kesitli olmayan akımlar için tam dolu veya kısmi dolu olmasına bakılmaksızın, akış hızı aşağıda verilen Manning denklemi ile hesaplanır. Formülde belirtilen  $n$  boru pürüzlülüğüne bağlı manning katsayısını,  $R_H$  hidrolik yarıçapı (Islak Alan/Islak Çevre) (m),  $J_E$  piyezometre çizgisinin eğimini (hidrolik gradyen) ifade etmektedir [1].

$$V = \frac{1}{n} \cdot (R_H)^{2/3} \cdot (J_E)^{1/2} \quad (4.1)$$

Dairesel kesitli boruda tam dolu akış olması halinde  $R_H = \frac{D}{4}$  olarak bulunmaktadır. Bu durumda tam dolu akış hızı,  $V_0$  (m/sn) ve tam dolu debi,  $Q_0$  (m<sup>3</sup>/sn) aşağıdaki formüllerle bulunmaktadır. [5]

$$V_0 = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot (J_E)^{1/2} \quad (4.2)$$

$$Q_0 = \pi \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3} \cdot \frac{1}{n} (D)^{8/3} \cdot (J_E)^{1/2} \quad (4.3)$$

### 2.3. Beton ve Koruge Boruların Hidrolik Etkileri

Borularda yüzey pürüzlülüğü akışı yavaşlatıcı etkisi olan, ıslak çevreyi oluşturan malzeme danelerinin boyut ve şekline bağlı unsurdur. Çalışma kapsamında kullanılacak olan manning formülünde yer alan pürüzlülük katsayısı(n) sadece boru akımlarında değil dere, nehir gibi akarsularda da kullanılabilir. Boru hesaplarında kullanılan pürüzlülük katsayısı değerleri imalatçı, işçilik, hammaddenin kalitesi, borunun kullanım yeri, kullanım süresi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle konuya ilişkin birçok farklı görüşler ve boru türüne göre belirli değer yerine değer aralığı öne sürülebilmektedir. Genellikle ince daneli yüzey malzemelerde n katsayısı düşük, iri daneli malzemelerde n katsayısı yüksek bir değer almaktadır. Akımlarda n katsayısı su derinliğine bağlı olarak bir miktar değişebilmektedir. Eğer çeper malzemesi ince daneli ise su seviyesindeki değişimlerden n katsayısı değişmez. Beton boru yapımında kullanılan ince daneli harç ve koruge boruda kullanılan polietilen ve polipropilen partiküller oldukça pürüzsüz bir yüzey oluşturur ve su seviyesine bağlı pürüzlülük katsayısı değişimi genellikle yok sayılır [5,6]. Kanalizasyon sistemlerinde kullanılan beton ve koruge borularda pürüzlülükle ilgili farklı görüşlerin yanında yönetmelik başta olmak üzere, birçok çalışmada kullanılan genel bir kabul bulunmaktadır. Manning, Kutter ve Darcy Weichbach formüllerindeki yaygın kullanılan pürüzlülük katsayı değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. [1,3,4].

Tablo 1. Beton ve Koruge Boru Pürüzlülük Katsayıları [1,3].

Boru	Manning Katsayısı(n)	Kutter Katsayısı(m)	Darcy-Weisbach Katsayısı(k)
Beton	0.013	0.35	0.3-3
Koruge	0.009	0.12	0.0015

### 2.4. Tasarımda Sınır Değerler

Atıksu ve yağmur suyu projelerinde boru kanallarının sağlıklı hizmet verebilmesi için eğim ve hız parametrelerinde sınırlar konulmuştur. Hidrolik sınır limitleri bulunan eğim ve hız değerleri birbiriyle oldukça ilişkilidir. Atıksularda hız  $0.5 < V < 3.5$  (m/sn) aralığında, yağmursuyu hatlarında ise  $0.5 < V < 5$  (m/sn) aralığında olması gerekmektedir. Eğer ki arazi eğim değerleri sınır eğim değerlerinin üzerinde ise bu bölgeler şütlü bacalar ile geçilmelidir. [1,5].

Tablo 2. Atıksu Hatlarında Sınır Eğim Değerleri [1]

Boru Çapı(mm)	Minimum Eğim	Maksimum Eğim
300	1/300	1/15
$600 \geq D \geq 350$	1/500	1/25
$1000 \geq D \geq 650$	1/1000	1/50
$D \geq 1000$	1/3000	1/75

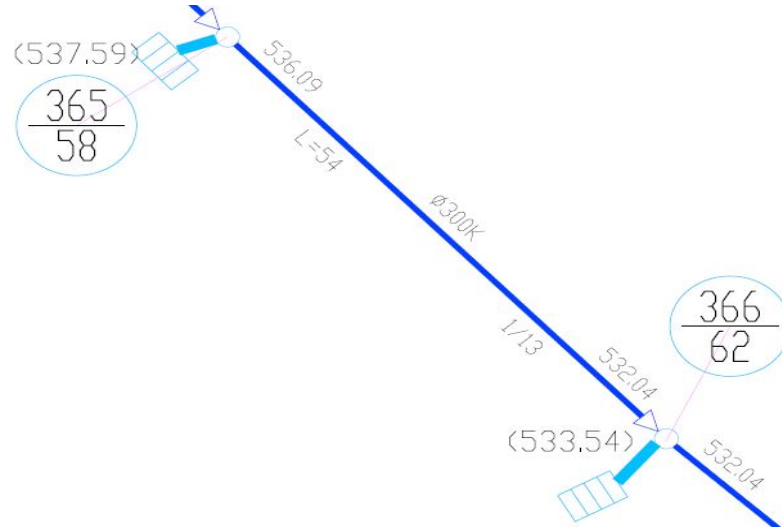
Tablo 3. Yağmur Suyu Hatlarında Sınır Eğim Değerleri [2]

Boru Çapı(mm)	Minimum Eğim	Maksimum Eğim
300	1/500	1/7
400	1/900	1/25
500	1/1000	1/25
600	1/1500	1/25
700	1/1500	1/50
800-900	1/1800	1/50
$\geq 1000$	1/2500	1/75

### 3. Vaka Analizi

Safranbolu Yağmursuyu Şebekesinde yüksek eğime sahip baca ara hattında tetkik yapılmıştır. Yağmursuyu vaka analizinde tahmin edilen boru çapının tam dolu akışı durumunda tasarım debisini karşılayabilmesi ve akışta hız değerleri kontrol edilmiştir.

- ❖ Safranbolu Yağmursuyu Şebekesinde 365-366 nolu baca arası tetkik;



Şekil 3. Safranbolu Yağmursuyu Şebekesi 365-366 Nolu Bacalar Arası Planı

Proje 365 nolu bacaya gelen hesap debisi ( $Q_{yağ}$ ). 113,16 lt/sn dir.

➤ Beton Boru için Hesap;

- Ø200 boru seçildiğinde;

$$Q_o = \pi \left(\frac{1}{4}\right)^5 /_3 \frac{1}{0.013} (0.2)^8 /_3 (1/13)^{1/2} = 0.09096 \text{ m}^3/\text{sn} = 90.96 \text{ lt/sn}, Q_o < Q_{yağ}.$$

Ø200 beton boru tasarım için yeterli gelmemiştir.

- Ø300 beton boru seçildiğinde;

$$Q_o = \pi \left(\frac{1}{4}\right)^5 /_3 \frac{1}{0.013} (0.3)^8 /_3 (1/13)^{1/2} = 0.26819 \text{ m}^3/\text{sn} = 268.19 \text{ lt/sn}, Q_o > Q_{yağ}.$$

$Q_{yağ}/Q_o$  değerleri oranlandığında Şekil 2'deki abak üzerinden  $V/V_o$  belirlenebilir.  
Hız kontrolü;

$Q_{yağ}/Q_o = 113.16/268.19 = 0.422$  abak üzerinden  $V/V_o$  değeri 0.96 bulunur.

$$V_o = \frac{1}{0.013} \left(\frac{0.3}{4}\right)^2 /_3 (1/13)^{1/2} = 3.79 \text{ m/sn}$$

$$V = V_o \cdot 0.96 = 3.79 \cdot 0.96 = 3.64 \text{ m/sn}$$

Boru içindeki akış hızı yönetmelikte belirtilen  $0.5 < V < 5.0$  sınırları arasındadır.

➤ Koruge Boru için Hesap;

- Ø200 boru seçildiğinde;

$$Q_o = \pi \left(\frac{1}{4}\right)^5 /_3 \frac{1}{0.009} (0.2)^8 /_3 (1/13)^{1/2} = 0.13139 \text{ m}^3/\text{sn} = 131.39 \text{ lt/sn}, Q_o > Q_{yağ}.$$

$Q_{yağ.}/Q_o$  değerleri oranlandığında Şekil 2' deki abak üzerinden  $V/V_o$  belirlenebilir.

Hız kontrolü;

$Q_{yağ.}/Q_o = 113.16/131.39 = 0.861$  abak üzerinden  $V/V_o$  değeri 1.12 bulunur.

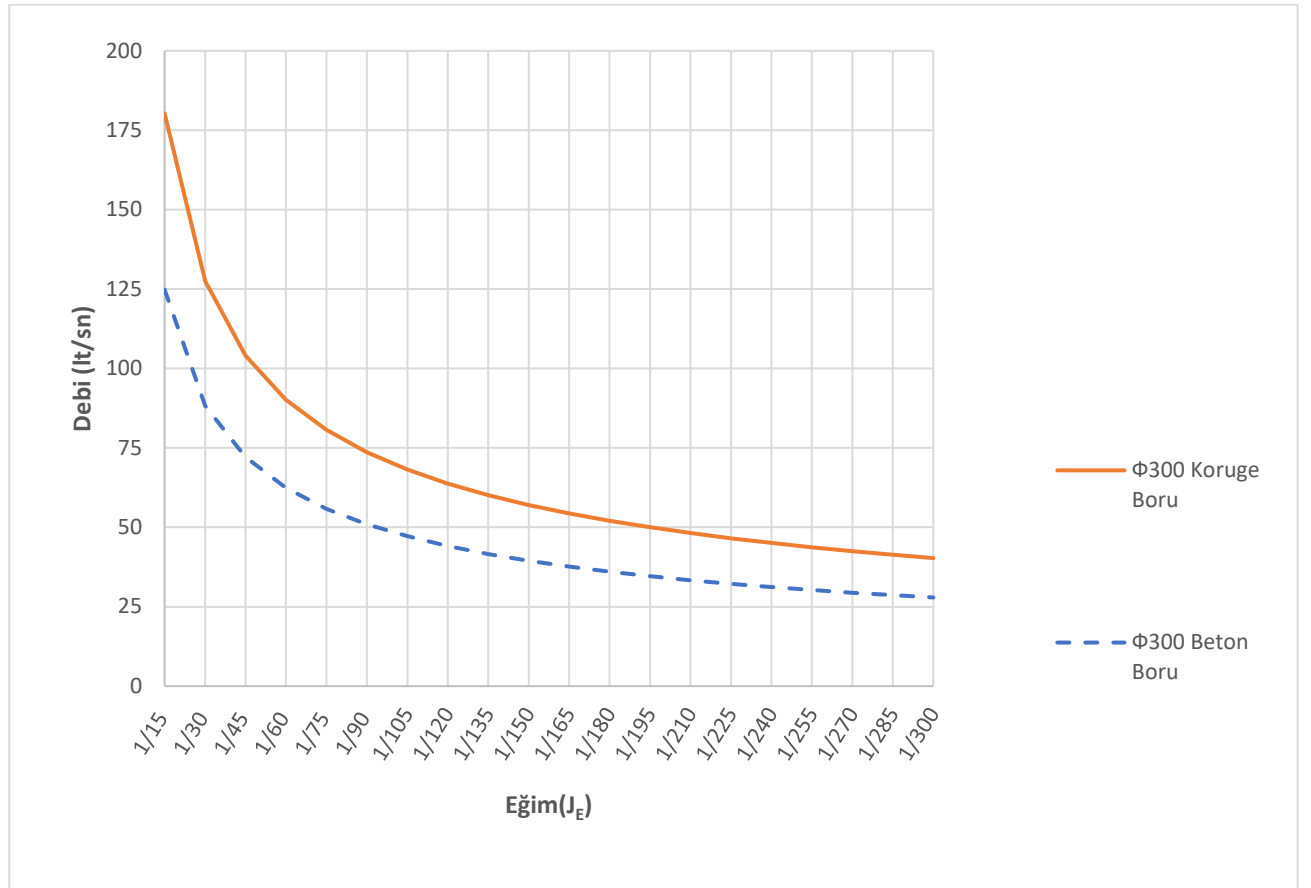
$$V_o = \frac{1}{0.009} \left(\frac{0.2}{4}\right)^{2/3} (1/13)^{1/2} = 4,18 \text{ m/sn}$$

$$V = V_o \cdot 1.12 = 4.68 \text{ m/sn}$$

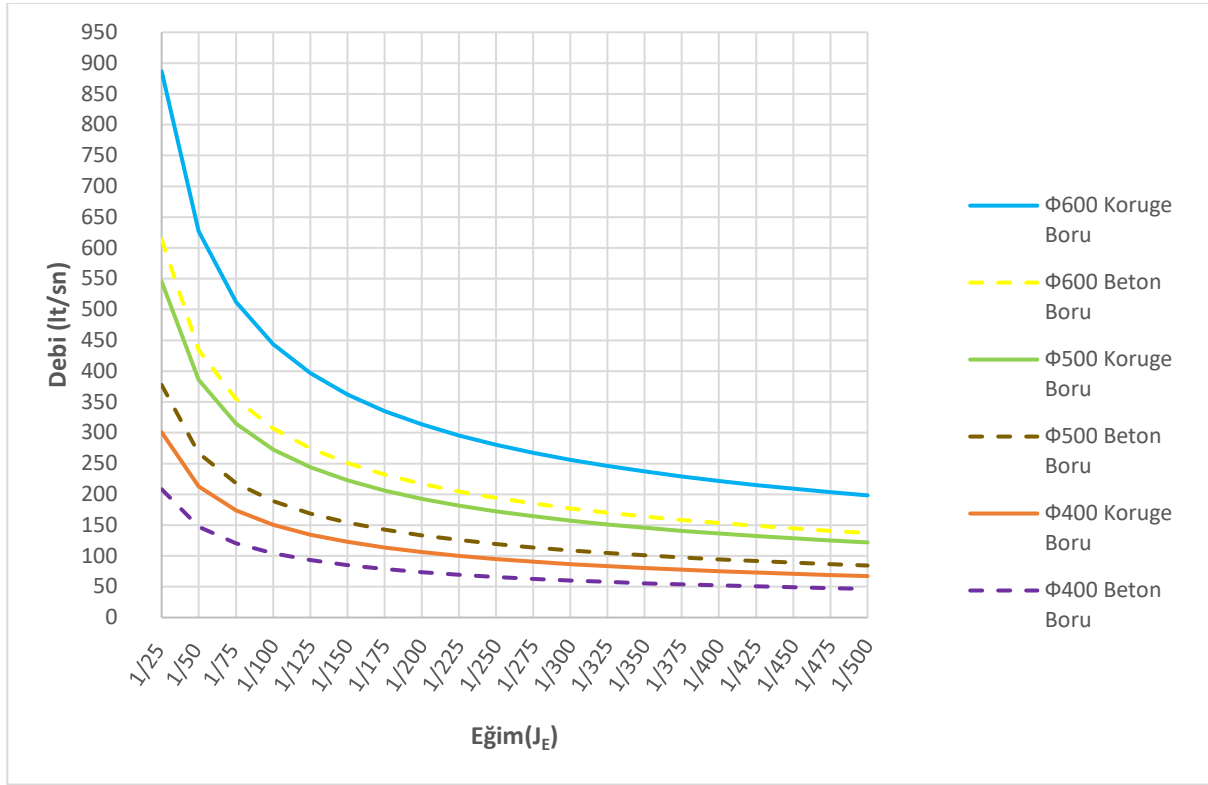
Boru içindeki akış hızı yönetmelikte belirtilen  $0.5 < V < 5.0$  sınırları arasındadır

#### 4.Bulgular

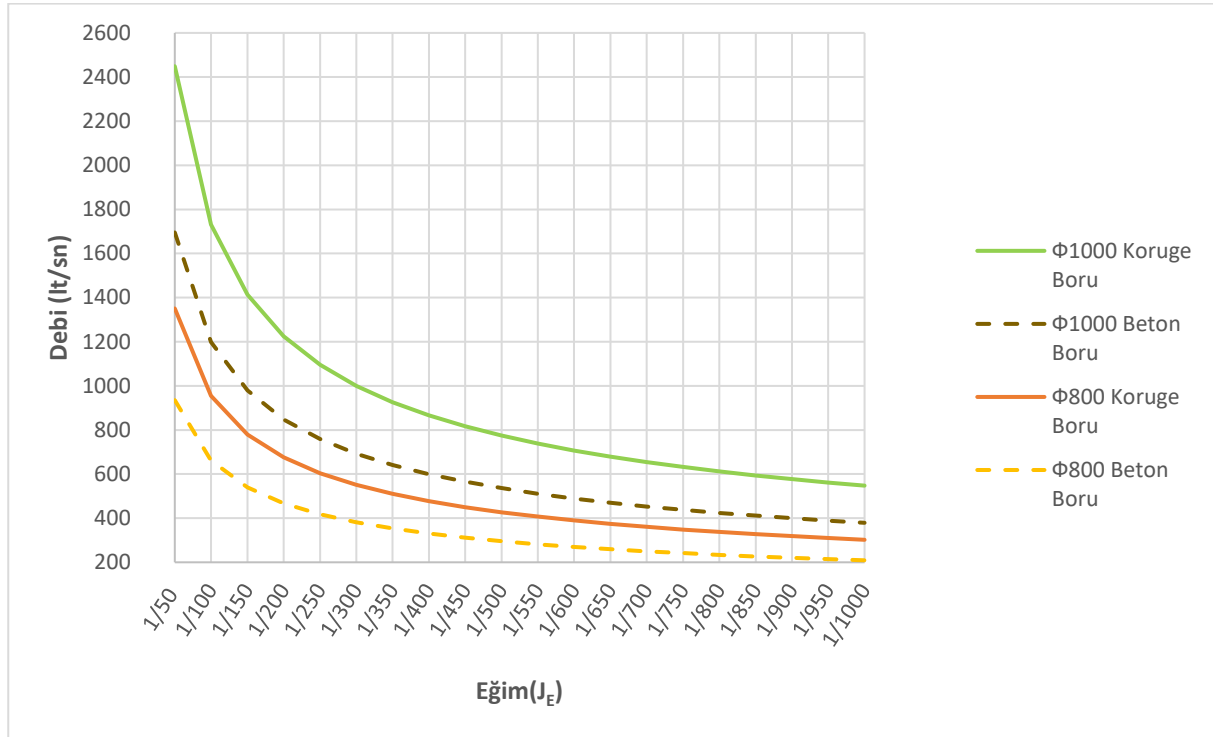
Vaka analizinde tasarım debisi ve projenin değişen eğimine göre çap belirlenmesi, deneme yanılma yöntemi ile yapılmıştır. Excel programında formüller tanımlanarak çoklu verilerle boruların debi taşıma potansiyelleri grafiklerle belirlenmiştir. Grafikler, atıksu ve yağmursuyu kanallarının tasarımında boru tercihi ve çap tayinini tasarım programı kullanmadan fikir vermesi amacıyla oluşturulmuştur. (Şekil 4-Şekil 11) Her bir borunun eğimine göre debi taşıma potansiyelleri atıksu ve yağmur suyu hatlarında ayrı olarak verilmiştir. Hesaplanan tasarım debileri eğim koşulunda grafikte noktası bulunarak, bu nokta üzerinde eğriye sahip borular tercih edilmelidir.



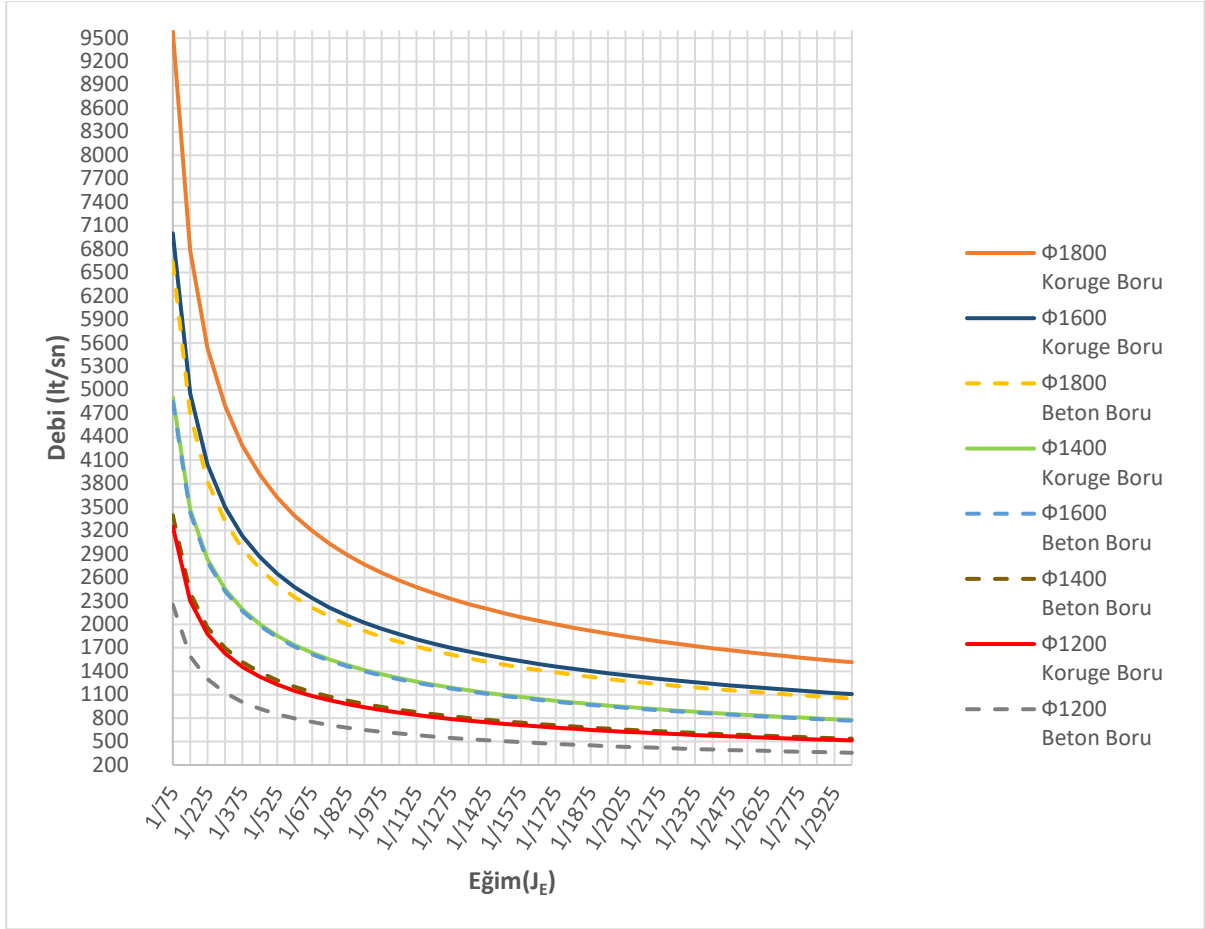
Şekil 4. Ø300 Boruların %50 Dolu Akışta (Atıksu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler



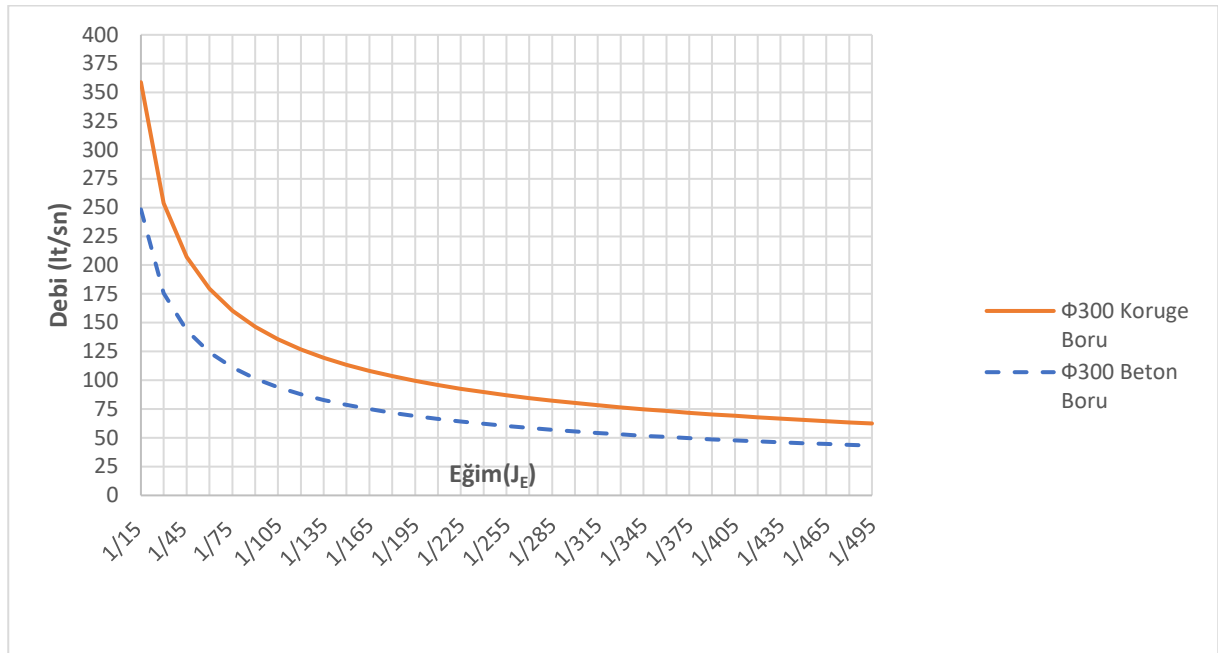
Şekil 5. Ø400-Ø500-Ø600 Boruların %50 Dolu Akışta (Atıksu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler



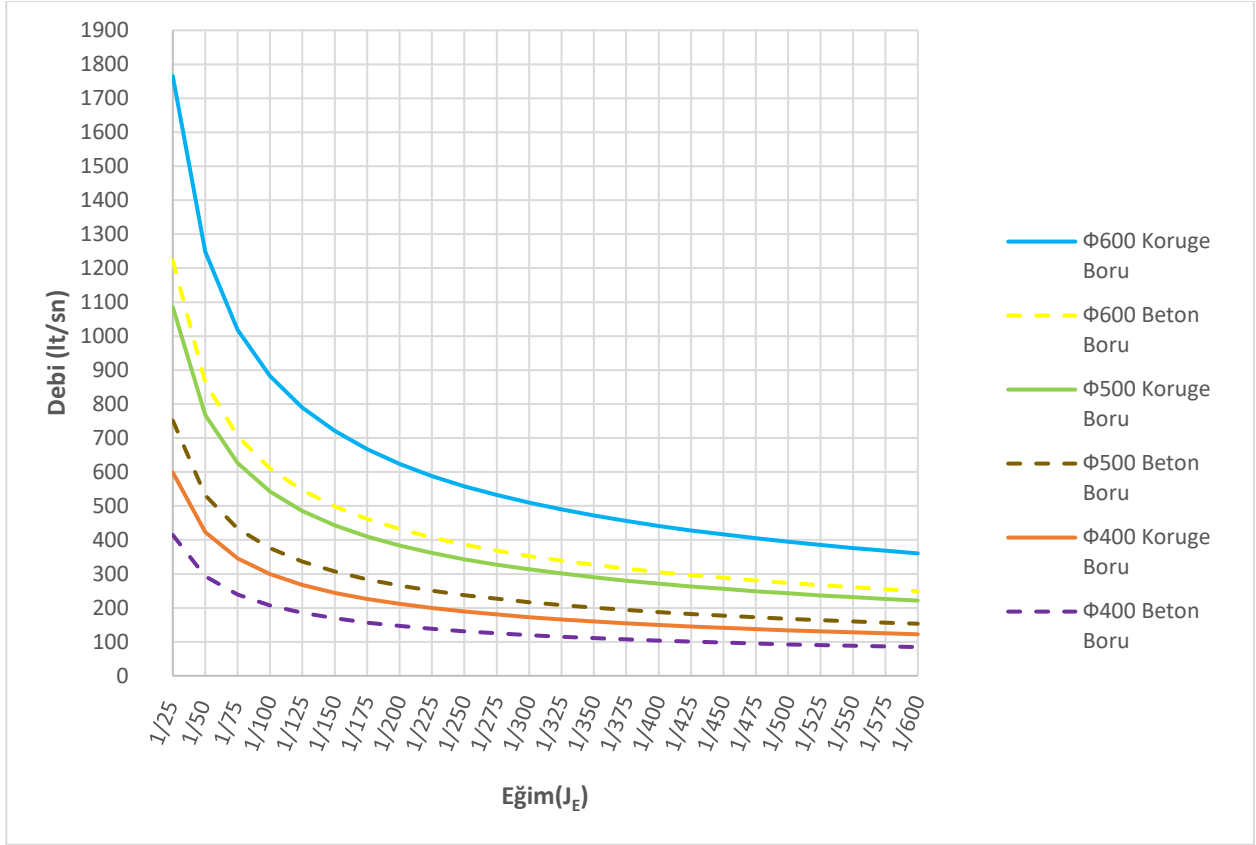
Şekil 6. Ø800-Ø1000 Boruların %50 Dolu Akışta (Atıksu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler



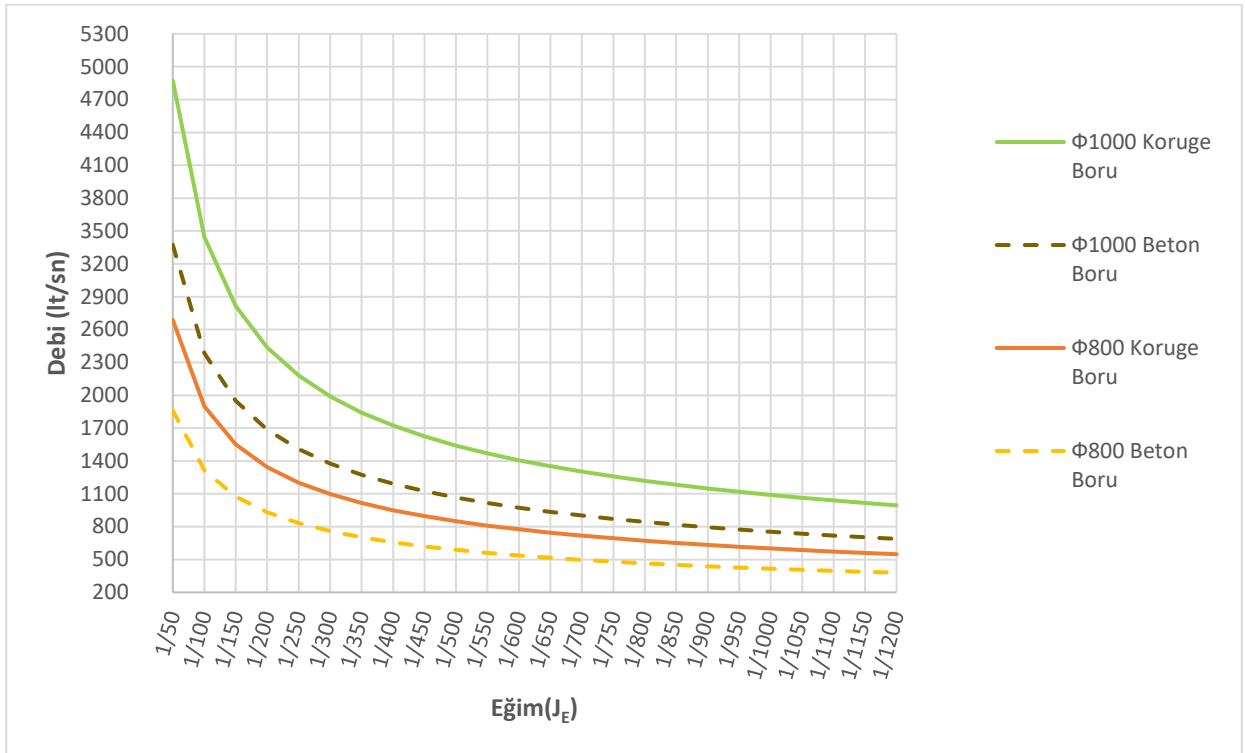
Şekil 7. Ø1200-Ø1400-Ø1600- Ø1800 Boruların %50 Dolu Akışta (Atıksu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler



Şekil 8. Ø300 Boruların Tam Dolu Akışta (Yağmursuyu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler

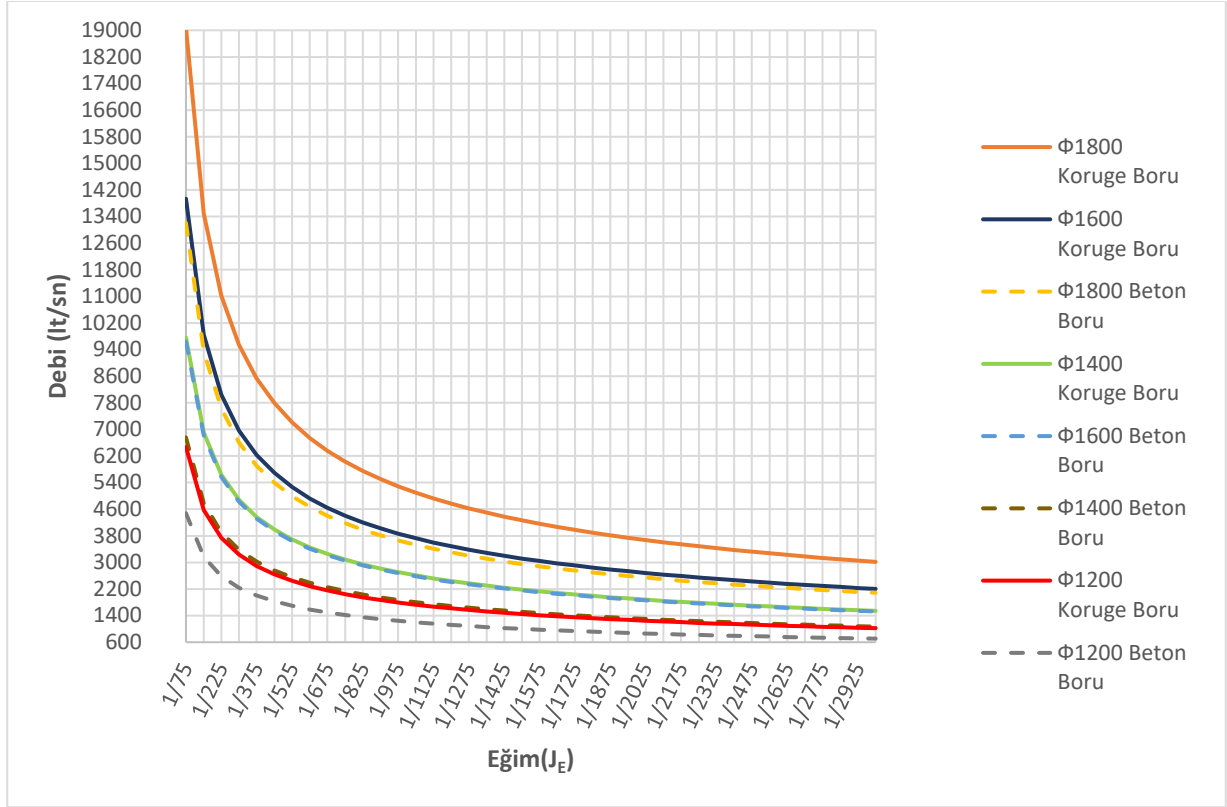


Şekil 9. Ø400-Ø500-Ø600 Boruların Tam Dolu Akışta (Yağmursuyu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler



Şekil 10. Ø800-Ø1000 Boruların Tam Dolu Akışta (Yağmursuyu) Maksimum Taşıyabileceği Debi Kapasiteleri





Şekil 11. Ø1200-Ø1400- Ø1600-Ø1800 Boruların Tam Dolu Akışta (Yağmursuyu) Maksimum Taşıyabileceği Debiler

## 5.Sonuçlar

Boruların eğim ve çap değerlerinin aynı olması durumunda koruge boruların beton borulara göre birim zamanda %44,4 daha fazla debi geçişine imkan sağladığı görülmektedir. Ø1400 çapa kadar, tasarım debisinin miktarına bağlı olmak üzere koruge borular beton borunun bir düşük çapıyla tasarım yapılabilmiştir. Ø1400 ve üzeri çaplarda ise koruge borular beton borunun bir yüksek çapından fazla debi akışını sağladığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] Gazete, Resmi “Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik”, *T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Sayı 29940 (2017).
- [2] Gazete, Resmi. “Yağmursuyu Toplama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik” Sayı 30105
- [3] Tulpar, Hasan “Kanalizasyon şebekelerinde kullanılan boruların hidrolik ve maliyet açısından değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010)
- [4] Kasap A. “Kanalizasyon ve İçme Suyu İnşaatlarında Kullanılan Boru Tiplerine Göre Maliyet Analizi”, <https://www.ilbank.gov.tr/index.php?Sayfa=UzmanlikTezleri> (2016)
- [5] Öztürk İzzet. and İSKİ “Atıksu Mühendisliği”, <http://www.iski.gov.tr/web/assets/SayfalarDocs/e-kutuphane/kultur/docs/at%C4%B1ksu-m%C3%BChendisli%C4%9Fi.pdf> (2017)
- [6] BULU, A., and E. YILMAZ. "Serbest yüzeyli akımlarda pürüzlülük katsayısının belirlenmesi." *Türkiye Mühendislik Haberleri* 420: 421-423. (2002)



## Elastik Olmayan Yanal Buruşmalı Burkulmaya Maruz Kalan Çift Simetri Eksenli Çelik I Kirişlerde Gövde Buruşmalarının Etkilerinin İncelenmesi

### Investigation of the Effects of Web Distortions on Inelastic Lateral Distortional Buckling of Doubly-Symmetric Steel I-Beams

M. Fethi ERTENLİ<sup>1</sup>, İlker KALKAN<sup>2</sup>, Alper BÜYÜKKARAGÖZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Arş. Gör., Karabük, Türkiye  
([m.fethiartenli@karabuk.edu.tr](mailto:m.fethiartenli@karabuk.edu.tr))

<sup>2</sup> Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Doç. Dr., Kırıkkale, Türkiye  
([ilkerkalkan@kku.edu.tr](mailto:ilkerkalkan@kku.edu.tr))

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Doç. Dr., Ankara, Türkiye  
([karagoz@gazi.edu.tr](mailto:karagoz@gazi.edu.tr))

**Özet:** -Çift simetri eksenli I-enkesitli çelik kirişlerin gövde narinlik oranları büyük olduğunda, yanal buruşmalı burkulma olarak tabir edilen bir göçme şekli ortaya çıkmaktadır. Yanal buruşmalı burkulma, yanal burulmalı burkulma ile gövde yerel burkulmasının birleşimidir. Gövde narinliği ve başlık kompaktlığının, yanal buruşmalı burkulma modu üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu çalışma, çift simetri eksenli I-enkesitli çelik kirişlerin inelastik yanal buruşmalı burkulma davranışlarını araştırmaktadır. Kiriş serbest açıklığı azaldıkça elastik olmayan davranışın arttığı ve gövde kesitinde akmanın başlamasıyla gövde buruşmalarının oluştuğu bilinmektedir. Özellikle inelastik davranan kirişlerde gövde buruşmaları daha sık gözlenmektedir. Bu çalışmada, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikte önerilen inelastik burkulma sınır uzunluk ( $L_r$ ) formülünden elde edilen analitik değerler ile sonlu elemanlar analizinden elde edilen uzunluklar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma ile gövdede meydana gelen buruşmaların, kesitin inelastik davrandığı serbest uzunluk aralığını genişlettiği görülmüştür. Gövde buruşmalarının oluşmasında akmanın etkin bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen analitik ve nümerik çalışmalar ile çeşitli gövde narinliklerine sahip kesitlerin  $L_r$  tahminleri yapılmıştır. Bu analizlerde genel olarak yanal buruşmalı burkulma modu gözlemlendiği için yönetmelik tahminlerinden daha uzun  $L_r$  değerleri elde edilmiştir. Ancak kesitlerin gövde narinlikleri arttıkça nümerik yöntem ile belirlenen  $L_r$  değerlerinin analitik formül ile belirlenen  $L_r$  değerlerine oranı artmaktadır. Yapılan çalışma ile yürürlükte bulunan çelik yapı tasarım şartnamesine, önemli bir stabilite problemi olan yanal buruşmalı burkulma formüllerinin de dahil edilmesi gerekliliği gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yanal buruşmalı burkulma, yanal burulmalı burkulma, lokal burkulma, inelastik burkulma boyu; sonlu elemanlar modeli

**Abstract:** -A critical failure mode is encountered in double symmetric steel I-beams, which is known as lateral distortional buckling (LDB), when the web slenderness ratio of the section is relatively high. LDB is a combination of lateral torsion buckling (LTB) and web buckling, i.e. local buckling (LB). Web slenderness and flange compactness have significant effects on LDB. This study focused on the inelastic LDB behavior of doubly-symmetric steel I-beams. The inelastic behavior increases and web distortions take place with the initiation of yielding in the web with decreasing beam length. Generally, web distortions are encountered more commonly in the inelastic range of buckling. In this study, analytical limiting unbraced length ( $L_r$ ) values from the inelastic LTB ( $L_r$ ) formula of the Turkish Steel

Structures Design Code (TSSDC 2016) were compared to the respective finite element results.  $L_r$  values were observed to increase due to web distortions. Yielding was determined to be the most influential parameter on web distortions. Within the scope of this study,  $L_r$  was estimated by analytical and numerical methods for sections having various web slenderness. Since, LDB was commonly observed in the finite element analyses, numerical  $L_r$  values were higher than the respective analytical estimates from code formulations. However, as the web slenderness of the section increases, the numerical-to-analytical  $L_r$  ratio was shown to increase. The study underscored the need to include LDB formulae into the current steel structure design specifications.

**Keywords:** Lateral distortional buckling, lateral torsional buckling, local buckling, inelastic buckling length, finite element model

## 1. Giriş

Yapısal çelik; köprüler, depolar, fabrika-sanayi yapıları, konutlar ve okul binaları gibi yapı türlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Türkiye'de de özellikle depolar, endüstriyel binalar ve çok katlı yüksek binalarda yapısal çelik kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ancak, çelik yapıların yapımı ile ilgili çeşitli zorluklar, yapı inşasının maliyeti ve vasıflı işgücü kıtlığı nedeniyle Türkiye'de mevcut çelik yapı sayısı istenilen düzeyde değildir. Ülkemizde çelik yapıların maliyeti yüksek olmasına rağmen, bu yapıların inşaat süresi daha kısadır ve montaj sonrasında yapı kullanıma hazır hale gelebilmektedir. Örneğin, yapısal çelik tasarımı ve kullanımı bir sanayi yapısının üretime daha erken geçmesine olanak sağlar. Yani, bir sanayi yapısının yapım aşamasında çelik kontrüksiyon betonarme bir yapıya göre daha maliyetli olarak görünse de sanayi yapısının üretime erken geçişi ile sağlayacağı kâr göz önünde bulundurulduğunda bu maliyet zarar olarak değerlendirilmeyecektir. Ayrıca, çelik yapıların demontaj-montaj yeteneği yapının modülerliğine de katkı sunar.

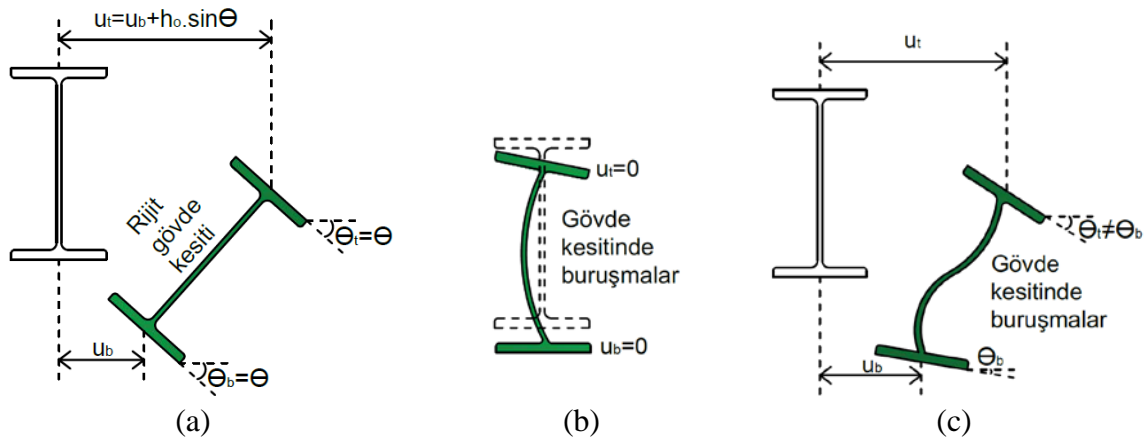
Çelik yapıların tasarım ve kullanımındaki sınırlayıcı etkenlerden birisi de yapısal elemanlardaki stabilite sorunları ve burkulma problemleridir. Çeliğin dayanımı yüksek olan bir malzeme olması nedeniyle, çelik yapılarda eleman kesitleri diğer yapı türlerine (betonarme, ahşap, vs) göre daha küçüktür. Bu durum, eleman rijitliklerinin azalmasına ve kullanılabilirlik ile stabilite sorunlarına yol açmaktadır. Çelik yapı tasarımında, elemanlara stabilite kazandıracak bağlantıların yapılması en önemli tasarım unsuru haline gelmekte ve yapı tasarımını güçleştirmektedir. Bu çalışma kapsamında da, yapısal çelik kirişlerin stabilite problemlerinden birini teşkil eden yanal buruşmalı burkulma davranışı irdelenecektir.

## 2. Yanal Buruşmalı Burkulma (YBŞB)

Eğilme etkisi altındaki kirişler, yanal yer değiştirme ve burulmaya karşı yeterince tutulu olmadıkları durumda, zayıf eksenleri etrafındaki eğilme ve burulma rijitlikleri yetersiz kalır ve yanal burulmalı burkulma (YBLB) göçme modu gerçekleşir. YBLB, kritik bir moment değerinin aşılmasıyla elemanın yatay ve düşey doğrultuda ötelenmesi ile enkesitin dönmesi şeklinde meydana gelir. Bu davranış, eğilme etkisine maruz kalan tüm çelik yapı elemanlarında görülebilir.

Başlık ve gövde narinliklerine bağlı olarak, düzlem içi yüklenen çift simetri eksenli I en-kesitli kirişlerde farklı burkulma modları oluşabilir. Bunlar; başlık burkulması ve gövde burkulmasını içeren lokal burkulma modları (LB) ile yanal burulmalı burkulma (YBLB) ve yanal buruşmalı burkulma (YBŞB) modlarını içeren global burkulma modlarıdır. YBLB, kirişlerin salt yanal burkulma modudur. Bu modda kiriş en-kesiti formunu koruyarak rijit bir şekilde döner ve gövde veya başlıkta herhangi

bir lokal burkulma olmaksızın yanal yönde ötelenir. Bu nedenle YBLB'de buruşma görülmez. LB, yanal hareket ve kiriş kesitinde rijit bir dönme olmadan gövde ve/veya başlık plakasının eğilmesine yol açan salt bir buruşmalı burkulma modudur. YBLB ve LB'nin bir kombinasyonu olan YBŞB modu ise genel olarak kiriş kesitinin güçlü başlıklara ve narin gövde yapısına sahip olması durumunda gözlenebilir. YBŞB'de, kiriş yanal yönde ötelenir, gövde plakası buruşur ve enkesit burulma dönmesine maruz kalır. Bu nedenle, Bradford ve Ronagh [1], YBŞB durumunda kesitin burulma rijitliği ve dolayısıyla burkulma momenti kapasitesinin azaldığı sonucuna varmıştır. Şekil 1'de, çift simetri eksenli çelik I en-kesitli bir kirişin burkulma modları gösterilmektedir.



Şekil 1. Çift simetri eksenli I en-kesitli çelik bir kirişin burkulma modları: (a) YBLB; (b) LB; (c) YBŞB

Çelik yapı tasarımlarında en önemli konulardan biri stabilite sorunudur. Literatürde çelik elemanların stabilite problemleri konusunda pek çok deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır. Bradford [2] yürüttüğü çalışma ile inelastik sonlu elemanlar metodundan elde ettiği yük tahminlerinin, yeniden düzenlenmiş Southwell [3], Southwell [4] ve Massey [5] test tahmin metodlarına göre hesaplanan yük değerleri ile iyi bir uyum içerisinde olduğunu göstermiştir. Trahair [6], tek açıklıklı I en-kesitli kirişlerin elastik YBŞB davranışı üzerine bir dizi çalışma yapmış ve kuvvetli başlıklara sahip kesitlerde kritik burkulma yüklerinin nispeten azaldığını belirtmiştir. Bradford [7] tarafından yapılan çelik I en-kesitli kirişlerin elastik ve inelastik burkulmasına ilişkin çalışma, narin gövde yapılı ve kuvvetli başlıklı I en-kesitli kirişlerde gövde buruşmaları nedeniyle elastik YBŞB gerilmesinin önemli ölçüde azaldığını kanıtlamıştır. Zirakian ve Showkati [8], fabrikasyon üretim I en-kesitli çelik kirişleri üç noktalı eğilme altında test etmiştir. Numunelerde inelastik davranışın gözlemlenebilmesi için, eleman narinlikleri AISC/LRFD'nin [9] plastik ve elastik narinlik sınırları arasında kalacak şekilde seçilmiştir. Açıklık orta ve çeyrek noktalarındaki gerilme ölçümlerinin gösterdiği kiriş gövde plakası eğilme deformasyonlarından yola çıkarak, Zirakian ve Showkati [8], numunelerin buruşmalı burkulma ile göçtükleri sonucuna varmıştır. Yaptıkları kiriş testlerinde ölçülen burkulma yüklerini AISC/LRFD [9] ve AS4100 [10]'ün önerdiği formüllerden elde edilen tasarım yükü değerleri ile karşılaştırmıştır. Her iki şartnamenin önerdiği formüllerin, sınırlı inelastik davranış sebebiyle uzun kirişlerin deney sonuçlarına yakın değerler sağladığı, ancak inelastik davranışın baskınlığı sebebiyle kısa kirişler için güvenilir olmadığını belirtmiştir.

Pi ve Trahair [11], gövde buruşmalarının çelik kirişlerin burulma rijitliğini azalttığını ve yanal buruşmalı burkulmaya neden olduğunu belirtmiştir. I en-kesitli bir kirişin sonlu eleman modelini (FEM) kullanarak yapılan burkulma hesaplamaları, gövde buruşmalarından dolayı kesitin burulma rijitliğindeki azalmanın dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Pi ve Trahair [11]'in bu önerilerini dikkate alan Kalkan ve Büyükkaragöz [12], çift simetri eksenli I en-kesitli çelik kirişin gövde

buruşmalarının YBLB momentleri üzerindeki etkilerini analitik ve nümerik olarak araştırmıştır. Kalkan ve Büyükkaragöz [12], azaltılmış burulma ve eğilme rijitliklerini içeren yeni bir analitik formülasyon önermiş ve analitik çözümlerden elde edilen sonuçları sonlu elemanlar analizinden elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Analitik ve nümerik sonuçların uyum sergilediğini belirtmiştir. Ellobody [13], I-enkesite sahip düzenli gövde boşluklu çelik petek kirişlerin YBLB ve YBŞB modlarını incelediği çalışmasında, petek kirişlerde kesitin gövde yapısının narin olması durumunda gövdede meydana gelen buruşmaların kirişin göçme yükünü önemli ölçüde düşürdüğünü belirtmiştir. Kalkan ve Büyükkaragöz [12], Bradford [7], Pi ve Trahair [11] ve Nethercot ve Trahair [14]'ün çalışmalarını temel alarak, çift simetri eksenli I en-kesitli çelik profillerin elastik ve inelastik yanal burkulma momentlerini tahmin için alternatif denklemler geliştirmişlerdir. Kalkan ve Büyükkaragöz [12] çalışmalarında bir kirişin elastik veya inelastik yanal buruşmalı burkulma altındaki kritik momentini ( $M_{crd}$ ) Eşitlik 1'de verilen denklemlerle açıklamıştır:

$$M_{crd} = \left\{ \begin{array}{l} \text{eğer } \rightarrow L_b \leq L_{rd}; \Rightarrow M_p \times \left[ 0,7 + \frac{0,3 \cdot \left[ 1 - 0,7 \cdot \frac{M_p}{\alpha_m \cdot M_{od}} \right]}{0,61 - 0,3 \cdot \beta_m + 0,07 \cdot \beta_m^2} \right] \leq \min(\alpha_m M_{od}, M_p) \\ \text{eğer } \rightarrow L_b > L_{rd}; \Rightarrow \frac{C \cdot \pi}{L} \times \sqrt{EI_y \cdot GJ_e \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 \cdot \frac{EI_{we}}{GJ_e} \right]} \end{array} \right\} \quad \text{Eşitlik 1}$$

Kalkan ve Büyükkaragöz [12]  $\alpha_m$ 'in hesaplanması için Eşitlik 2'yi kullanmıştır:

$$\alpha_m = 1,75 + 1,05\beta_m + 0,3\beta_m^2 \leq 2,56 \quad \text{Eşitlik 2}$$

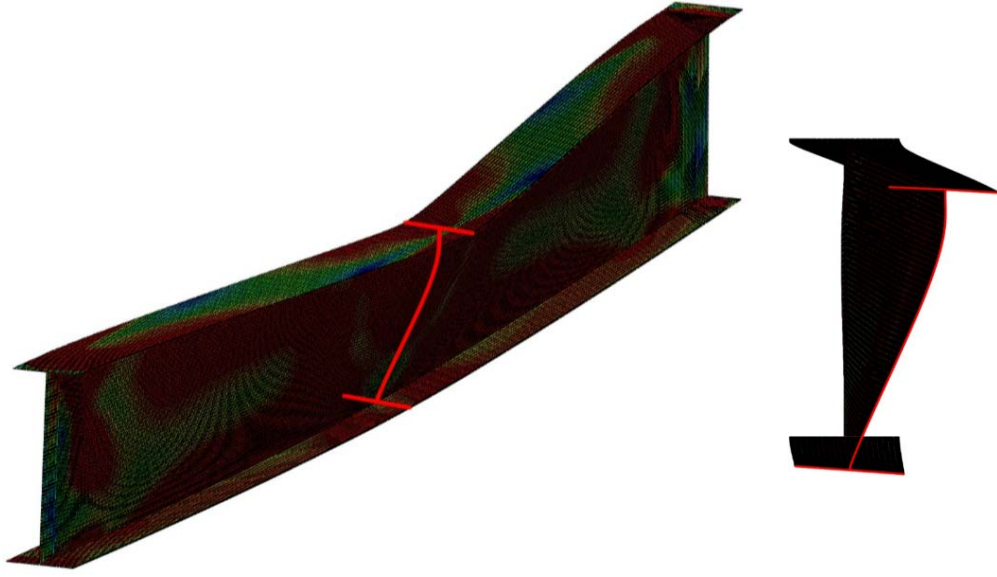
Eşitlik 1'de yer alan  $M_{od}$  Eşitlik 3'ten hesaplanmaktadır.

$$M_{od} = \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y \left( GJ_e + \frac{\pi^2 EI_{we}}{L_b} \right)} \quad \text{Eşitlik 3}$$

### 3. Sonlu Elemanlar Modeli (FEM)

FEM modelinin oluşturulmasında Abaqus/CAE [15] yazılımı kullanılmıştır. Farklı gövde narinliklerine sahip Çizelge 1'de verilen 5 adet Amerikan geniş başlıklı I en-kesit (W kesit) modellenmiştir. Kiriş modellerinde sonlu elemanlar programının kütüphanesinde yer alan S4R elemanı kullanılmıştır. Optimum sonlu eleman ağı boyutu bir dizi iterasyon yapılarak, 20 mm olarak belirlenmiştir. Elemanların malzeme özelliklerinin tanımlanmasında S355 sınıfı çelik kullanılmıştır. Yapılan çalışmada inelastik bölge üzerine yoğunlaşıldığından, mesnet ve yükleme bölgelerinde kesme gerilmesi yığılmasının önüne geçilmesi için üniform moment yüklemesi kullanılmıştır. Açıklık boyunca üniform moment yüklemesi, tekil yükler altında kesitte ortaya çıkacak lokal buruşmaların da önüne geçmiştir. Bu amaçla çatal mesnet özellikleri elemanlara sınır şartları olarak tanımlanmıştır.

Sonlu eleman olarak modellenen kirişler üzerine statik analiz yapılmıştır. Analiz sonucu, kiriş gövdesinde oluşan deformasyonlar Şekil-2'de gösterilmiştir. Analizler sonrasında elemanın gövde kesitinin narin olmasından dolayı gövdenin yapısal formunun bozulduğu ve buruşmaların meydana geldiği görülmüştür (Şekil 2).



Şekil-2. Sonlu elemanlar analizi sonucunda eleman gövdesinde oluşan buruşmalar

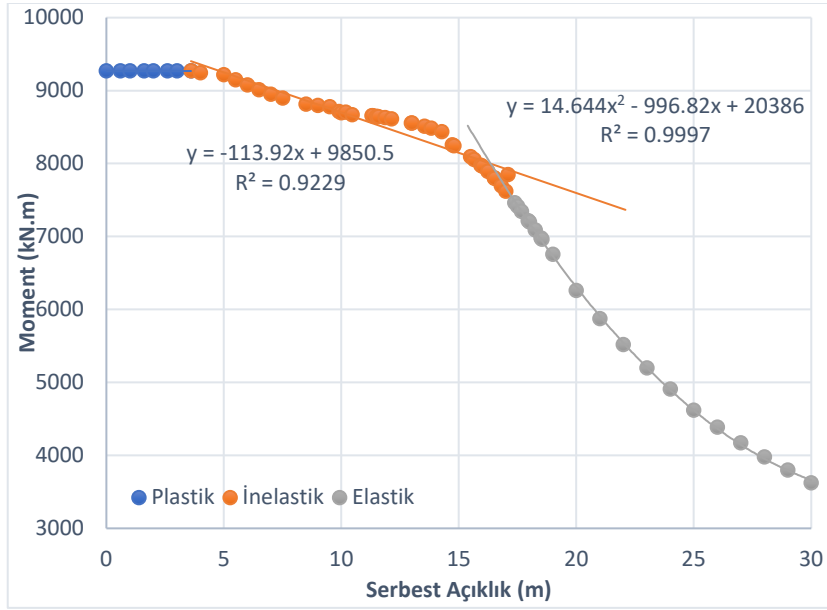
Çalışmada kullanılan kesitlerin, ülkemizde çelik yapıların tasarımında kullanılan, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikte [16] yer alan ve Eşitlik 4’de verilen denkleme göre teorik olarak inelastik yanal burulmalı burkulma için sınır uzunlukları ( $L_r$  (teorik)) hesaplanmıştır ve elde edilen değerler Çizelge 1’de verilmiştir.

$$L_r = 1,95i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{JC}{W_{ex}h_o} + \sqrt{\left(\frac{JC}{W_{ex}h_o}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E}\right)^2}} \quad \text{Eşitlik 4}$$

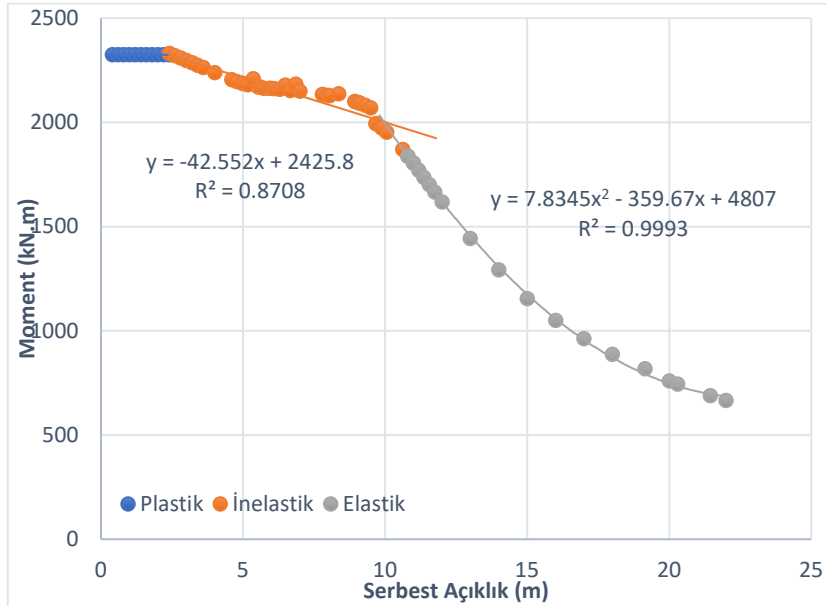
Çizelge 1. Çalışmada kullanılan kesitler

Kesit Adı	Gövde Narinliği (h/t <sub>w</sub> )	L <sub>r</sub> (Teorik) (m)	L <sub>r</sub> (Nümerik) (m)	L <sub>r</sub> Oranı Nümerik/Teorik
W18x234	15,90	18,005	20,771	1,15
W30x357	24,40	15,870	19,762	1,24
W36x330	35,75	14,382	19,004	1,32
W44x335	42,25	11,488	16,387	1,43
W30x124	51,89	6,932	9,959	1,44
W30x99	57,88	6,494	9,566	1,47

Analiz edilen kesitlerden W44x335 ve W30x124 kesitlerinin açıklığa göre değişen moment taşıma gücü grafikleri Şekil 3 ve 4’te gösterilmektedir. Bu grafikler, serbest açıklığa göre ortaya çıkan davranış aralıklarının plastik, elastik olmayan burkulma ve elastik burkulma şeklinde sıralandığını açıkça göstermekte ve bu davranış aralıklarını birbirinden ayıran sınır uzunluk değerlerini ortaya koymaktadır. Çizelge 1’de verilen değerler, başlık narinliği sabite yakın olduğunda, elastik ve inelastik burkulma bölgelerini ayıran  $L_r$  sınır uzunluğunun, yönetmelik formülünden elde edilen değerden uzaklaştığını göstermektedir. Yani, gövde buruşmaları arttıkça elastik olmayan burkulma bölgesi genişlemekte ve nümerik  $L_r$  değerinin analitik  $L_r$  değerine oranı artmaktadır.



Şekil 3. W44x335 kesit için sonlu eleman analizleri ile elde edilen Moment/Açıklık grafiği



Şekil 4. W30x124 kesit için sonlu eleman analizleri ile elde edilen Moment/Açıklık grafiği

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda yürürlükteki Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikte [16] yer alan inelastik bölge sınır uzunluğunun ( $L_r$ ) hesabı için önerilen formül kullanılarak analitik yolla hesaplanan değerlerin aynı kesitler için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenen değerlerden düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun oluşmasında yönetmelikte önerilen  $L_r$  formülünde kesit gövdesinde meydana gelen buruşma etkilerinin göz önüne alınmaması etkilidir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sonlu eleman analizlerinde gövde kesitinde buruşmalar meydana geldiği için yönetmelik tahminlerinden daha yüksek  $L_r$  değerleri belirlenmiştir. Ancak, yapılan bir dizi sonlu elemanlar analizi ile kesitlerin gövde narinlikleri arttıkça nümerik

yöntem ile belirlenen  $L_r$  uzunluklarının analitik formül ile belirlenen  $L_r$  uzunluklarına oranının da arttığı görülmüştür. Yapılan çalışma yürürlükteki çelik yapı tasarım şartnamelerine önemli bir stabilite problemi olan yanal buruşmalı burkulma sınır durumuna ilişkin formüllerin de dahil edilmesi ihtiyacını göstermiştir.

### Simge ve Kısaltmalar

$u_b$	Alt başlık ötelenmesi
$u_t$	Üst başlık ötelenmesi
$\theta$	Dönme açısı
$\theta_b$	Alt başlık dönme açısı
$\theta_t$	Üst başlık dönme açısı
$L_b$	Kirişin serbest uzunluğu
$L_r$	İnelastik yanal burulmalı burkulma sınır uzunluğu
$M_p$	Plastik moment
$M_{od}$	Yanal yönde desteklenmemiş açıklık boyunca düzgün yayılı eğilme momenti durumundaki referans elastik buruşmalı burkuluma momenti
$\alpha_m$	Serbest açıklık boyunca üniform olmayan moment dağılımı için hesaplanan moment düzeltme katsayısı
$\beta_m$	Desteklenmemiş açıklığın uç momentleri oranı
$EI_y$	Yanal eğilme rijitliği
$GJ_e$	Efektif (azaltılmış) burulma rijitliği
$L_{rd}$	İnelastik yanal buruşmalı burkulma sınır durumu için yanal yönde desteklenmemiş uzunluk sınırı
$EI_w_e$	Efektif (azaltılmış) çarpılma rijitliği
$W_{ex}$	x-eksenine göre elastik mukavemet momenti
$h_o$	I-enkesitte başlık ağırlık merkezleri arasındaki mesafe

### KAYNAKLAR

- [1] M. A. Bradford and H. R. Ronagh, "Generalized elastic buckling of restrained I-beams by FEM," *J. Struct. Eng.*, 1997.
- [2] M. A. Bradford, "Inelastic distortional buckling of I-beams," *Comput. Struct.*, 1986.
- [3] N. Trahair, "Deformations of Geometrically Imperfect Beams," *J. Struct. Div.*, 1969.
- [4] R. V. Southwell, "On the Analysis of Experimental Observations in Problems of Elastic Stability," *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 1932.
- [5] C. Massey, "Elastic and inelastic lateral instability of I-beams.," *Eng.*, 1963.
- [6] N. S. Trahair, "Lateral-distortional buckling of monorails," *Eng. Struct.*, vol. 31, no. 12, pp. 2873–2879, Dec. 2009.
- [7] M. A. Bradford, "Lateral-Distortional buckling of steel I-Section members," *J. Constr. Steel Res.*, 1992.
- [8] T. Zirakian and H. Showkati, "Experiments on distortional buckling of I-beams," *J. Struct. Eng.*, 2007.
- [9] American Institute of Steel Construction, "ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings," *Am. Inst. Steel Constr.*, 2010.
- [10] Standards Association of Australia, *AS 4100 steel structures*. 1998.





- [11] Y. L. Pi and N. S. Trahair, “Distortion and warping at beam supports,” *J. Struct. Eng. New York, N.Y.*, 2000.
- [12] I. Kalkan and A. Buyukkaragoz, “A numerical and analytical study on distortional buckling of doubly-symmetric steel I-beams,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 70, pp. 289–297, Mar. 2012.
- [13] E. Ellobody, “Interaction of buckling modes in castellated steel beams,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, no. 5, pp. 814–825, May 2011.
- [14] D. A. Nethercot and N. S. Trahair, “INELASTIC LATERAL BUCKLING OF DETERMINATE BEAMS,” *ASCE J Struct Div*, 1976.
- [15] Simulia 3DS, “Abaqus Analysis User’s Manual (version 6.12),” *University of Cambridge - Faculty of Mathematics*, 2015. .
- [16] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*. 2016.



## Çelik Yapıların Deprem Davranışının İncelenmesi

### Investigation Earthquake Behavior of Steel Structures

Asuman Işıl ÇARHOĞLU<sup>1</sup>, Pınar USTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

<sup>2</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

**Özet:** Çelik yapıların deprem etkisindeki davranışını belirlemek oldukça önem taşımaktadır. Bu çalışmada 6 katlı 18m yüksekliğindeki çelik bir yapının mod birleştirme yöntemi ile analizi yapılmıştır. Analizler sırasında, 1. ve 4. Deprem düzeyleri ve tüm zemin sınıfları göz önünde bulundurulmuştur. Maksimum yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri belirlenerek karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik, yapı, deprem

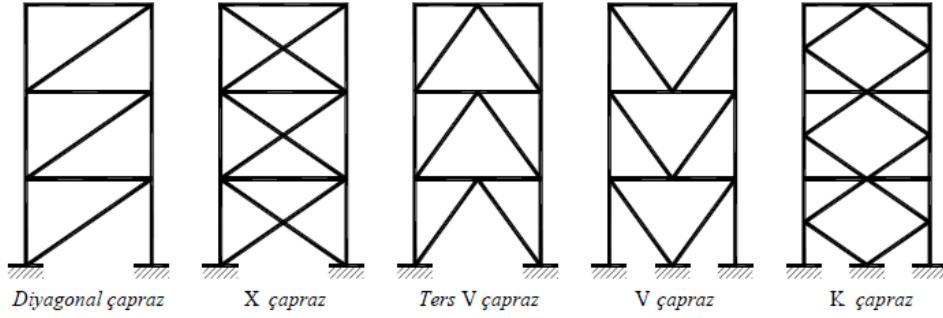
**Abstract:** It is very important to determine the behavior of steel structures under earthquake effect. In this study, A steel structure was analyzed by using the response spectrum method. During the analyzes, earthquake level 1-4 and all soil classes were taken into consideration. The values of maximum displacement and base shear values were determined and compared.

**Keywords:** Steel, structure, earthquake

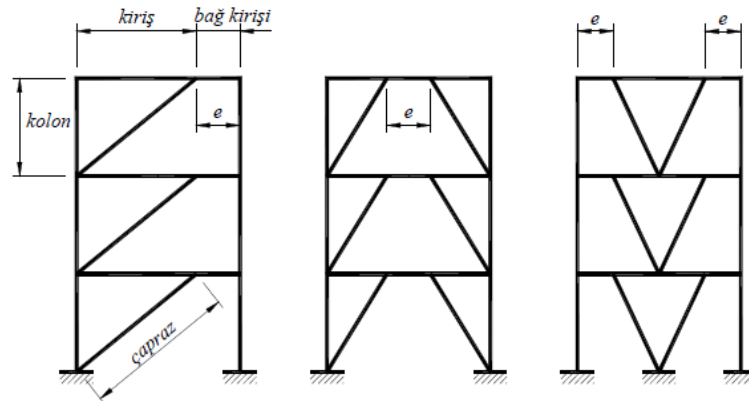
#### 1. Giriş

Ülkemizde geçmişten günümüze kadar birçok yıkıcı deprem meydana gelmiş, bu depremlerde oldukça fazla can ve mal kaybı oluşmuştur. Bu depremlerden en büyüklerinden biri 32962 kişinin hayatını kaybettiği 26.12.1939 Erzincan depremidir. Kuzey Anadolu fay hattı üzerinde bulunan Erzincan ilinde 1942, 1943, 1944 yıllarında da oldukça büyük depremler meydana gelmiştir [1,2].

Yapı sistemlerinde oluşan yer değiştirmeler ve salınım faktörleri sistemlerde çapraz elemanlar kullanılarak istenilen sınırlarda tutulabilmektedir [3,4]. Yapı yüksekliğinin genişliğe oranının dört veya beş değerini aşması durumunda uygun olan yer değiştirmeyi sınırlara uygun olarak tutmak için ek rijitlikler gereklidir [4,5]. Çaprazlı çelik çerçeveler, mafsallı birleşimli ve moment aktaran çerçeveler olarak tasarlanmaktadır. Bu sistemlere merkezi ve dış merkez olarak çaprazlar eklenmektedir. Çapraz şekline bağlı olarak bu sistemler merkezi ve dışmerkez çaprazlı yapılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 1’de merkezi çaprazlı, Şekil 2’de dış merkez çaprazlı çelik çerçeveler mevcuttur [6].



Şekil 1. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler [6]

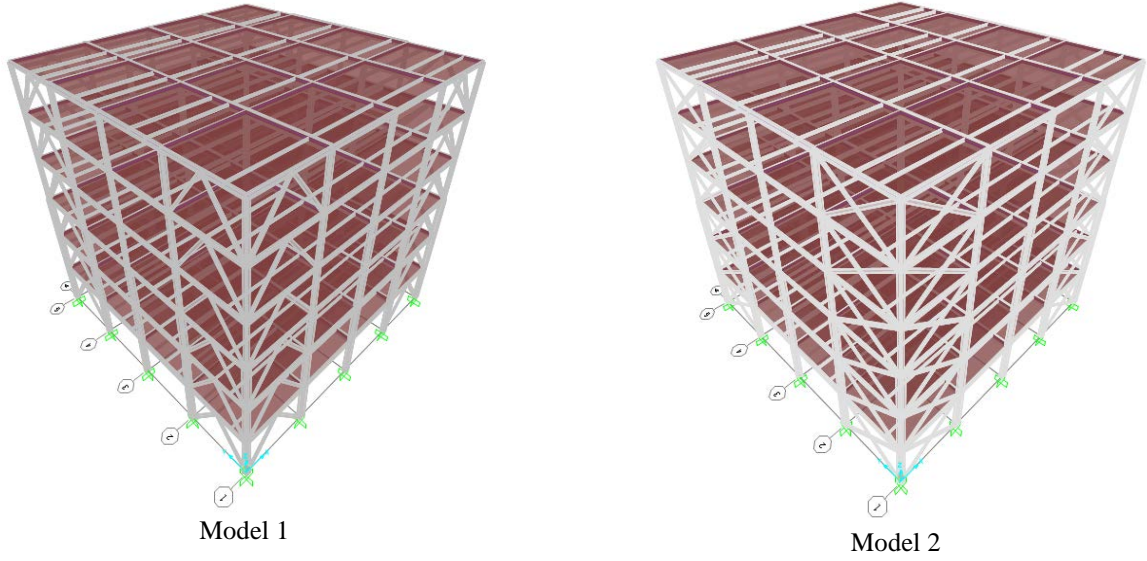


Şekil 2. Dış merkez çaprazlı çelik çerçeveler [6]

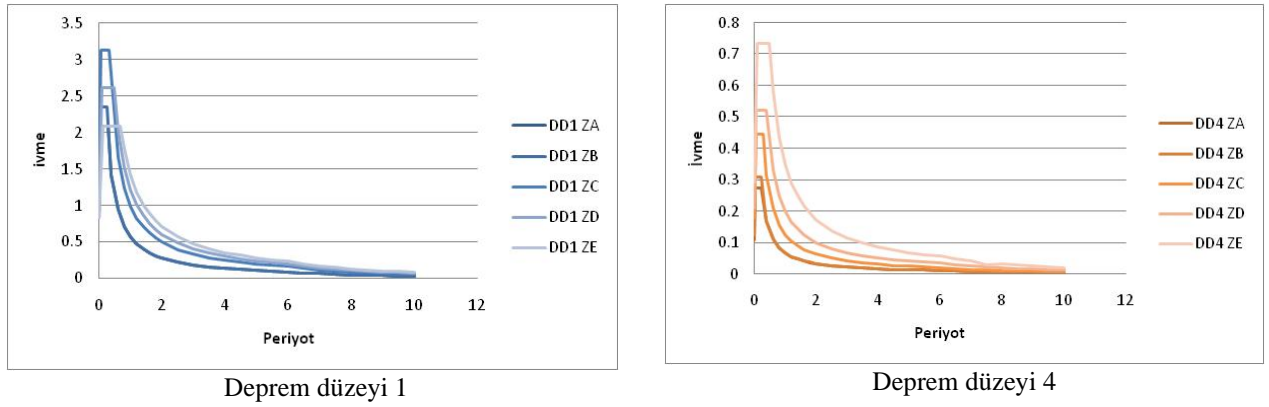
Yaman ve Ağcakoca (2018), Yapıların deprem ve rüzgar etkisindeki davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla, diyagonal ve ters V çaprazlama şekline sahip çelik yapıların davranışlarını karşılaştırmışlardır [7]. Çavdar (2017), Farklı çapraz şekillerini gözönünde bulundurarak üç farklı çelik yapının eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Merkezi çaprazlı X, ters V ve dışmerkez çaprazlı sistemleri periyot, yer değiştirme ve kesit tesirlerini belirleyerek karşılaştırmışlardır [8]. Kural ve Zeybek (2011), Merkezi çelik çaprazlı çok katlı çelik yapıların geometri bakımından doğrusal olmayan davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; yatay yerdeğiştirme, görelî kat ötelenmeleri, iç kuvvet değerleri elde edilerek karşılaştırılmıştır [4]. Türker K. (2017), Çelik endüstri yapılarında farklı tipte çaprazlı perdelerin (ters V, diyagonal, X) etkilerini incelemişlerdir. Deprem performanslarını inceleyerek en uygun sistemin X tipi olduğunu belirlemişlerdir [9].

## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada; x ve y yönlerinde 4 açıklıklı, açıklıklar arası mesafe 4.5m olan 6 katlı 18m yüksekliğinde çelik bir yapının tasarımı SAP 2000 sonlu elemanlar programı ile yapılarak deprem etkisindeki davranışı 2018 TBDY'e göre belirlenmiştir [6,10]. Yapı zati yükü 3.5 KN/m<sup>2</sup>, hareketli yük 2.0 KN/m<sup>2</sup> alınmıştır. Taşıyıcı sistem kirişleri IPE, kolonlar HEA ve çapraz elemanlar IPE profillerle boyutlandırılmıştır. Şekil 3'de çelik yapı modeli mevcuttur. Çelik yapı, model 1'de ters V, model 2'de X çaprazlarla tasarlanmıştır. Spektrum eğrileri belirlenirken Yalova ili ele alınarak deprem düzeyi olarak 1 ve 4, zemin sınıfı olarak tüm zemin sınıfları göz önüne alınmıştır. Şekil 4'de spektrum eğrileri bulunmaktadır [11].



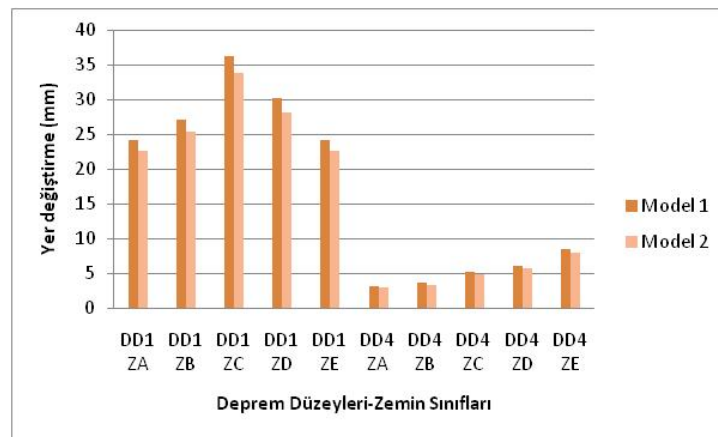
Şekil 3. Üç boyutlu çelik yapı görünümü



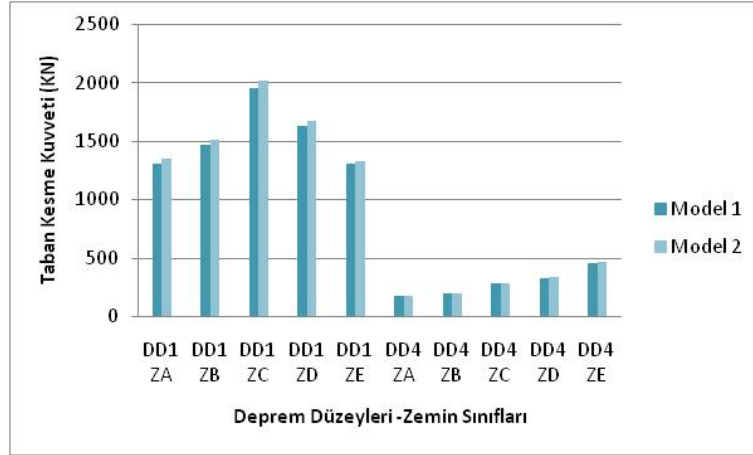
Şekil 4. Spektrum eğrileri [11]

### 3. Araştırma ve Bulgular

Şekil 5 ve 6'de yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri mevcuttur.



Şekil 5. Yer değiştirme değerleri



Şekil 6. Taban kesme kuvveti değerleri

Model 1’de; deprem düzeyi 1 ve zemin sınıfı C’de en büyük yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri oluşmakta olup, yer değiştirme değeri 36.35mm taban kesme kuvveti değeri 1964 KN olarak elde edilmektedir.

En küçük yer değiştirme değeri, deprem düzeyi 4 zemin sınıfı A’da yer değiştirme değeri 3.2mm, taban kesme kuvveti 171.25KN ve deprem düzeyi 4 zemin sınıfı E’de yer değiştirme değeri 8.5 mm ve taban kesme kuvveti değeri 458.5 KN’dur.

Model 2’de; deprem düzeyi 1 ve zemin sınıfı C’de en büyük yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri oluşmakta olup, yer değiştirme değeri 34.01mm taban kesme kuvveti değeri 2022 KN olarak elde edilmektedir. En küçük yer değiştirme değeri deprem düzeyi 4 zemin sınıfı A’da 2.96 mm ve taban kesme kuvveti değeri 176 KN’dur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 6 katlı çelik bir yapı ele alınarak TBDY 2018’e göre mod birleştirme yöntemi ile analizler yapılmıştır. Çelik yapılar iki farklı merkezi çapraz durumu (X ve ters V) göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Deprem düzeyi 1 ve Deprem düzeyi 4 için tüm zemin sınıfları göz önünde bulundurularak spektrum eğrileri elde edilmiştir [11].

En büyük yer değiştirme değeri 1. Derece deprem bölgesi zemin sınıfı C’de elde edilmektedir. Deprem düzeyinin 4 olması durumunda meydana gelen yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri azalmaktadır. Yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri deprem düzeyi 4’de zemin sınıfı A’dan E’ye doğru gidildikçe artmaktadır. En küçük yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değeri deprem düzeyi 4 ve zemin sınıfı A’da oluşmaktadır. Deprem düzeyi 1’de zemin sınıfı A’dan C’ye doğru gidildikçe değer artmakta zemin sınıfı D ve E’de azalmaktadır. Deprem düzeyi 1’de elde edilen değerler deprem düzeyi 4’de elde edilen değerlerden daha büyüktür.

Çelik yapı X ve merkezi ters V olarak tasarlanmış olup yer değiştirme değerleri X şeklindeki çaprazda merkezi ters V’ye oldukça yakın olup daha küçüktür. Taban kesme kuvveti değeri X şeklindeki çaprazda merkezi ters V’den daha büyük elde edilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, M., “2018 Türkiye Bina deprem yönetmeliği ve Türkiye deprem tehlike haritası ile ilgili iç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme”, *Selçuk-Teknik Dergisi*, Cilt 17,Sayı:2, 2018.
- [2] Pampal, S., Özmen, B., 2007, “Türkiye Deprem bölgeleri haritalarının gelişimi”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 105-115, 2007.
- [3] E. Kural, H. Tok, “Benzer Betonarme Taşıyıcı Sisteme Alternatif Bir Çelik Taşıyıcı Sistem Üzerinde Araştırma”, *Yüksek Binalar II. Ulusal Sempozyumu*, İstanbul, 1992.
- [4] Kural M.E., Zeybek Ö., Seçer M., “Çelik Yapı sistemlerinde ikinci mertebe analiz yöntemlerinin incelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt: 13, Sayı:2, 2012.
- [5] Gönen, N. Kıraç, M: Doğan, A. Günaydın, “Çok Katlı Çelik Yapılarda Yatay Deplasmanın Diyagonallerle Kontrolü”, *2. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu*, sf 88-96, Eskişehir, 2007.
- [6] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018, Ankara.
- [7] Yaman Z., Ağcakoca E., “Dairesel kesite sahip merkezi çelik çaprazların performans analizi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 340-349, 2018.
- [8] Çavdar Ö., “Farklı Şekilde Çapraz Elemanlı Çelik Yapıların Dinamik Davranışının İncelenmesi”, *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, 2017.
- [9] Türker K., Lekeşiz İ., “Tipik Bir Çelik Endüstri Yapısında Çaprazlı Perde Tipinin Deprem Performansına Etkisi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2017.
- [10] Wilson, E.L., “Three Dimensional Static And Dynamic Analysis of Structures”, *Computers and Structures*, 2001.
- [11] <https://tdth.afad.gov.tr/>



## Basınç Etkisi Altındaki Çelik U Profillerin Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'e Göre Tasarımı

### Design of Steel Channels Subject to Compression Based on Turkish Specification for Design and Construction of Steel Structures

Umut ÇELİK<sup>1</sup>, Seval PINARBAŞI ÇUHADAROĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 41380 İzmit/Kocaeli, e-posta: [umutclk1993@gmail.com](mailto:umutclk1993@gmail.com)

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 41380 İzmit/Kocaeli, e-posta: [seval.pinarbasi@kocaeli.edu.tr](mailto:seval.pinarbasi@kocaeli.edu.tr)

**Özet:** Ülkemizde çelik yapı tasarım esasları dört yıl önce yenilenmiş; emniyet gerilmeleri yöntemine dayanan ve güncelliğini uzun süredir yitirmiş olan TS648 standardı yürürlükten kaldırılarak yerine Çelik Yapıların Tasarımı, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYEEY) yürürlüğe girmiştir. Taşıma gücü (sınır durumlar) yönteminin kullanıldığı bu yönetmelikte, ülkemizdeki çelik yapı tasarım esaslarının büyük bölümünün güncellendiği veya yenilendiği gözlenmektedir. Bu köklü değişim sonrasında, ülkemizde çelik yapı tasarımı yapan bir çok mühendis ve mimarın ÇYTHYEEY'yi anlama ve uygulamada zorluk çektiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, gerek yönetmeliğin hazırlanmasını sağlayan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan uygulama kılavuzunda gerekse yönetmelik ile ilgili verilen eğitimlerde, yönetmeliğin içeriğinin yoğun olması nedeniyle I-kesitli profillere öncelik verildiği, çelik tasarımda özellikle ikincil taşıyıcı elemanlar olarak yaygın şekilde kullanılan U, T, L, Z ve benzeri kesitlere sahip diğer çelik profiller hakkında sınırlı bilgi paylaşıldığı fark edilmiştir. Çelik U profillerin tasarımları tek simetri eksenine sahip olmaları ve kayma merkezlerinin geometrik merkezleriyle çakışmıyor olması nedeniyle I profillere kıyasla nispeten daha karışıktır. Basınç etkisindeki çelik U profillerin dayanım hesaplarında, I profillerin tasarımında dikkate alınmayan eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmanın temel amacı, basınç etkisindeki U profillerin başlıca sınır durumlarını ve tasarım esaslarını ÇYTHYEEY çerçevesinde irdeleyerek, ülkemizde sık kullanılan profil ebatları ve çelik kaliteleri için tasarım dayanımlarının listelendiği pratik tasarım tabloları oluşturmaktır. Tasarımlarında çelik U profil kullanan mühendis ve mimarların, tasarım tablolarını ön tasarımda uygun kesiti seçmek, nihai tasarımda ise kullanılan profilin tasarım dayanımını yönetmelikte verilen ve işlem yoğunluğu nispeten fazla olan tasarım formüllerini kullanmadan hızlı bir şekilde belirlemek amacıyla kullanabilecekleri düşünülmektedir.

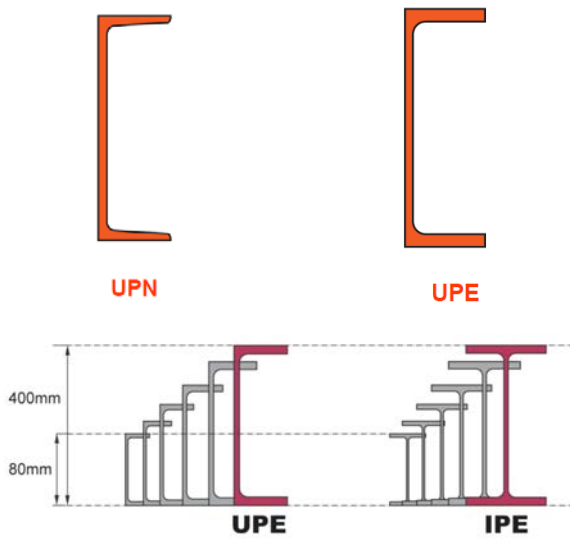
**Abstract:** In Turkey, the design guidelines for steel structures were revised four years ago. Specification for Design and Construction of Steel Structures (SDCSS) superseded the outdated TS648 standard. Besides the change in the design approach from allowable stress method to limit state method, most of the design rules for structural steel members have been either changed or revised in SDCSS. It is noticed that most of the Turkish steel designers have difficulty in comprehending/applying SDCSS. Moreover, since the scope of SDCSS is rather broad, both the design guide published and the seminars/lectures given on SDCSS are observed to be concentrated on the design of I-shaped members and only limited information has been shared on the design of members with other sections, such as U, T, L and Z. Since the shear centers of steel channels do not coincide with their centroids, their design may become more complicated. Flexural-torsional buckling limit state, which is not considered in the design of I-shaped members, should be taken into consideration in the design of channels under compression. The main objective of this study is to review the fundamental limit states and design principles for steel channels subject to compression within the framework of SDCSS and to prepare design tables listing the design strengths of U profiles widely used in our country. It is believed that these design tables will enable the Turkish steel designers to select economic channel sections in the preliminary stage and to verify their strengths in the final stage of their design.

## 1. Giriş

Çelik U-profiller genel olarak az katlı çelik yapılarda ana taşıyıcı elemanlar (Şekil 1, sol), çok katlı çelik yapılarda ise ikincil taşıyıcı elemanlar olarak (Şekil 1, sağ) kullanılmaktadır. Ülkemizde, sık kullanılan U-kesitli profiller (Şekil 2), Avrupa UPN (NPU) ve UPE profilleridir. Günümüzde çelik yapı tasarımında, UPE profillerin UPN profillere kıyasla daha çok tercih edildiği görülmektedir. Bunun bir çok nedeni vardır. Şekil 2’den de fark edilebileceği gibi, eğimli başlıklara sahip UPN profillerin başlıklarında oluşturulacak birleşimler karmaşık detaylar gerektirir. Buna karşın, düz başlıklara sahip UPE profillerde birleşimler daha kolay ve ekonomik bir şekilde teşkil edilebilmektedir. Şekil 3’te sunulan grafiklerde, ülkemizde kullanılan UPN ve UPE profillerin başlık genişlikleri ( $b_f$ ) ile başlık kalınlıklarının ( $t_f$ ) ve gövde kalınlıklarının ( $t_w$ ) kesit derinlikleriyle ( $d$ ) değişimleri gösterilmektedir. Grafiklerden de anlaşılabilir gibi, genel olarak, UPE profiller aynı kesit derinliğine sahip UPN profillere göre daha geniş ve ince başlıklara ve daha ince gövdelere sahiptirler. Bu nedenle, UPE profiller, aynı kesit derinliğine sahip UPN profillere kıyasla çoğu zaman daha hafif ve ekonomiktir. Şekil 4’te, kesit derinliği aynı olan UPN ve UPE profillerin birim boy kütlelerinin ( $G$ ) derinlikle değişimleri gösterilmektedir. U profillerin narinlikleri ve basınç dayanımları asal atalet yarıçaplarına ( $i_x$  ve  $i_y$ ) bağlı olduğundan Şekil 4’te, atalet yarıçapları da karşılaştırılmıştır. Başlık genişlikleri daha fazla olmasına rağmen, UPE profillerin aynı kesit derinliğine sahip UPN profillerden ortalama %7.87 daha hafif olduğu, bu değer derinliği 180 mm olan UPE profillerde %10.5’lara ulaştığı gözlenmiştir (Şekil 4, sol).



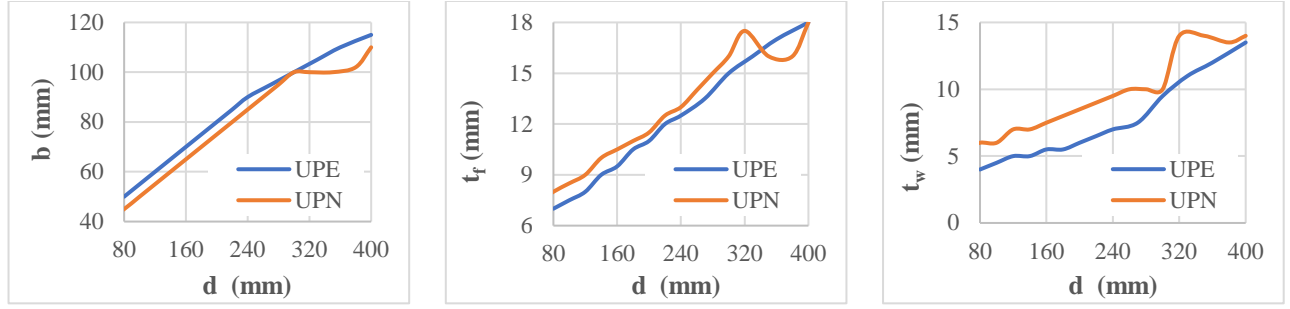
Şekil 1. U profillerin çelik yapılarda kullanımı [1,2]



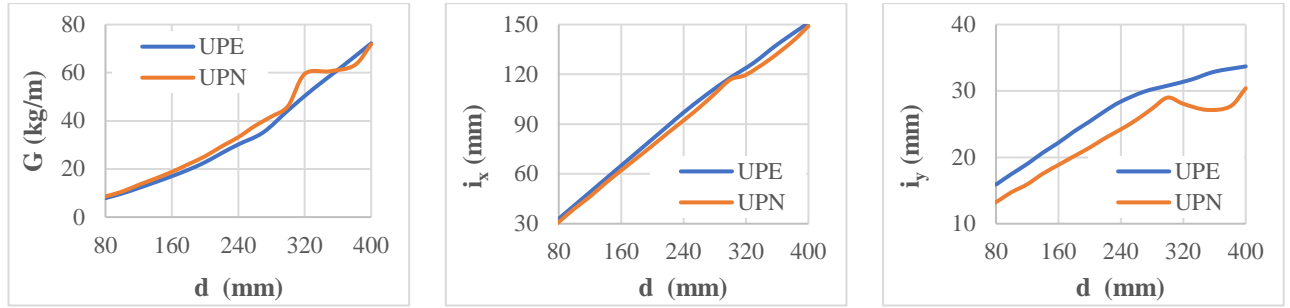
Depth (mm)	UPN	UPE	IPE
80	UPN	UPE	IPE
100	UPN	UPE	IPE
120	UPN	UPE	IPE
140	UPN	UPE	IPE
160	UPN	UPE	IPE
180	UPN	UPE	IPE
200	UPN	UPE	IPE
220	UPN	UPE	IPE
240	UPN	UPE	IPE
260	UPN		
270		UPE	IPE
280	UPN		
300	UPN	UPE	IPE
320	UPN		
330		UPE	IPE
350	UPN		
360		UPE	IPE
380	UPN		
400	UPN	UPE	IPE

Şekil 2. Ülkemizde kullanılan Avrupa U profilleri [3]





Şekil 3. Aynı kesit derinliğine sahip U profillerin başlık genişlikleri ile başlık ve gövde kalınlıklarının karşılaştırılması



Şekil 4. Aynı kesit derinliğine sahip U profillerin birim boy kütleleri ile asal atalet yarıçaplarının karşılaştırılması

Şekil 4'te ortada ve sağda sunulan grafiklerden fark edilebileceği gibi, aynı kesit derinliğine sahip UPE ve UPN profillerin kuvvetli eksen (x) etrafındaki atalet yarıçapları hemen hemen aynıyken UPE profillerin zayıf eksen (y) etrafındaki atalet yarıçapları UPN profillerin atalet yarıçaplarından daha büyüktür. Bu da, ilerleyen bölümlerde bahsedileceği gibi, eksenel basınç kuvveti etkisindeki bir U profilin davranışını belirleyen sınır durumun zayıf eksen etrafında eğilmeli burkulma olması durumunda, eleman dayanımını artıracaktır. Modern çelik yapılarda UPE profillerin kullanılmalarının tercih edilmelerinin bir diğer nedeni de, Şekil 2'de gösterildiği gibi, UPE profillerin derinliklerinin IPE profillerin derinlikleriyle uyumlu olmasıdır.

Türkiye'de çelik U profillerin tasarımları, ABD'de çelik yapı tasarımında kullanılan Yapısal Çelik Binalar için Yönetmelik (AISC 360-16) [4] temel alınarak hazırlanan, 4 Şubat 2016 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanan, 1 Eylül 2016 tarihinde yürürlüğe giren, 15 Şubat 2018 tarihinde güncellenen Çelik Yapıların Tasarımı, Hesabı ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik'te (ÇYTHYEV) [5] verilen tasarım esasları kullanılarak yapılmalıdır. Ülkemizde inşa edilen çelik yapıların tasarımında 36 yıl boyunca kullanılmış olan TS 648 [6] standardına kıyasla daha kapsamlı olan bu yönetmelikte, tasarımcı basınç etkisindeki çelik U profillerin tasarım dayanımını Bölüm 8'de tanımlanan olası bütün sınır durumları dikkate alarak hesaplamalıdır. Yönetmeliğin nispeten yeni ve kapsamlı olması, tasarımda yıllardır kullanıldığı için iyi bilinen ve basit mukavemet ilkelerine dayanan emniyet gerilmeleri yönteminden taşıyıcı sistem ve eleman davranışının daha iyi bilinmesini gerektiren sınır durumlar yöntemine geçilmiş olması ve yönetmeliğin uygulanmasını kolaylaştırmak amacıyla yayınlanan kılavuzun [7] ve verilen eğitimlerin çoğu zaman çift simetri eksenine sahip I ve H profilleri üzerine yoğunlaşması olması ve benzeri sebeplerle ülkemizde tek simetri eksenli U ve T profillerle eşit kollu korniyerler ve simetri eksenli bulunmayan farklı kollu korniyerlerle Z kesitli profillerin tasarım esaslarının nispeten daha az bilindiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada tek simetri eksenine sahip olmaları nedeniyle kayma merkezleri geometrik merkezleriyle çakışmayan, bu nedenle tasarımları I- ve H-kesitli profillere kıyasla nispeten daha

karişik olan U profillerin basınç kuvveti etkisi altındaki tasarım esaslarının ÇYTHYEEY çerçevesinde detaylıca incelenmesi ve ülkemizde sık kullanılan profil ebatları ve çelik kaliteleri için tasarım dayanımlarının sunulduğu pratik tasarım tablolarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 14 UPE ve 16 UPN (Şekil 2) profilin tasarım basınç kuvveti dayanımları farklı çelik kaliteleri ve burkulma boyları için hesaplanarak listelenmiştir. Tasarımlarında çelik U profil kullanan mühendis ve mimarların, tasarım tablolarını ön tasarımda uygun kesiti seçmek, nihai tasarımda ise kullanılan profilin tasarım dayanımını yönetmelikte verilen ve işlem yoğunluğu nispeten fazla olan tasarım formüllerini kullanmadan hızlı bir şekilde belirlemek amacıyla kullanabilecekleri, böylece daha pratik, hızlı ve ekonomik tasarımlar yapabilecekleri düşünülmektedir.

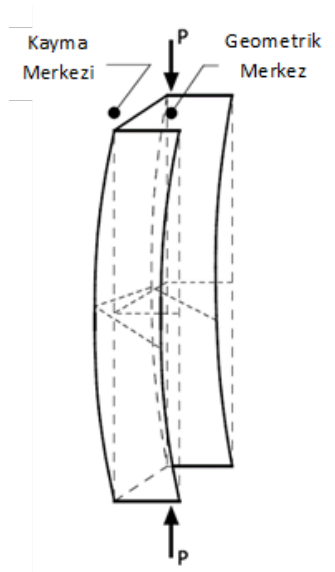
## 2. U Profillerin Basınç Etkisi Altındaki Sınır Durumları

Basınç etkisi altındaki sıcak haddelenmiş bir U profilin doğru tasarımı için profilde gözlenebilecek olası bütün sınır durumlar dikkate alınmalıdır. Diğer kesit türlerine sahip elemanlarda olduğu gibi, aksel basınç kuvvetiyle yüklenmiş bir U profilinde gözlenen sınır durumlar üç ana başlık altında toplanabilir. Akma sınır durumu, profilde yerel veya genel burkulma modlarından birine ulaşılmadan kesitteki liflerin tamamının akma gerilmesine ulaştığı sınır durum olarak tanımlanabilir. Çelik yapı uygulamalarında sıkça kullanılan profil boyları dikkate alındığında, akma sınır durumunun genel burkulma modlarından önce gözlenme ihtimali çok düşük olduğundan ÇYTHYEEY akma sınır durumunu basınç etkisindeki çelik elemanlar için özel olarak tanımlamamaktadır. ÇYTHYEEY'ye göre, elemanın akma sınır durumuna ulaşabilmesi için kesitin yeterince kompakt olması ve genel burkulmasının tamamen engellenmiş olması; yani, ilgili burkulma boyunun sıfır ya da sıfıra yakın bir değere eşit olması, gerekir.

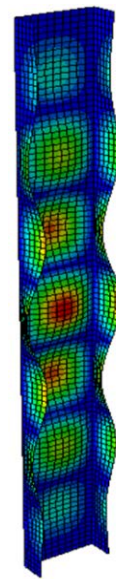
Eksel basınç kuvveti taşıyan, tek simetri aksel kesite sahip bir çelik yapı elemanı için iki genel burkulma sınır durumu tanımlanır [8]: (i) zayıf aksel etrafında (yani, profilin başlıklarına dik  $y$  aksel etrafında) eğilmeli burkulma (Şekil 5 (a)), (ii) kuvvetli aksel etrafında (yani, profilin başlıklarına paralel  $x$  aksel etrafında) eğilmeli ve kesite dik aksel (yani,  $z$  aksel) etrafında burulmalı burkulma (Şekil 5b).



(a) Eğilmeli burkulma [9]



(b) Eğilmeli-burulmalı burkulma [10]



(c) Yerel burkulma [11]

Şekil 5. Aksel basınç etkisindeki U profillerde gözlenen başlıca burkulma sınır durumları

Eğilmeli burulmalı burkulma, çift simetri eksenine sahip olmaları nedeniyle I- ya da H-kesitli elemanlarda gözlenmeyen bir burkulma modudur. Şekil 5(b)'de de gösterildiği gibi, kesitin kayma merkezi simetri eksenini üzerinde olmakla birlikte kesitin geometrik merkeziyle çakışmıyor olduğundan, U kesitli elemanlar simetri eksenini etrafında eğilerek burkulurken aynı zamanda eksenleri etrafında burulurlar.

Elbette bütün ince cidarlı yapı elemanlarında olduğu gibi, basınç etkisindeki bir U profil sınır durumuna başlık veya gövde burkulmasıyla (Şekil 5(c)) da ulaşabilir. Bu nedenle, olası yerel burkulma sınır durumları da U profillerin tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır.

### **3. Eksenel Basınç Etkisindeki U Profillerin Tasarımı için ÇYTHYEEY'de Tanımlanan Esaslar**

#### **3.1. Genel Esaslar**

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki çelik U profillerin temel tasarım kuralları ÇYTHYEEY'de Bölüm 8'de tanımlanmaktadır. Bu bölümde, ilk olarak, enkesit türünden bağımsız olarak, bütün çelik basınç elemanlarının narinlik oranları 200 ile sınırlandırılmaktadır. Yönetmeliğe göre, çelik basınç elemanlarının narinlik oranları ( $L_c/i$ ), burkulma boyları ( $L_c=KL$ ) atalet yarıçaplarına ( $i$ ) bölünerek hesaplanmalıdır. Ardından, elemanın karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı  $P_n$ 'nin hesaplanmasında kullanılacak olası genel burkulma (eğilmeli, burulmalı ve/veya eğilmeli-burulmalı burkulma) sınır durumları sıralanarak, kullanılacak tasarım yöntemine bağlı olarak mevcut dayanım hesabında kullanılan dayanım azaltma katsayıları tanımlanmaktadır. ÇYTHYEEY'de yük birleşimleri ve dayanım azaltma katsayıları birbirinden farklı olan iki tasarım yöntemi tanımlanmaktadır: (i) Yük ve Tasarım Katsayıları ile Tasarım (YDKT), (ii) Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT). Tasarımda YDKT yönteminin kullanılması durumunda, tasarım basınç kuvveti dayanımı ( $\phi_c P_n$ ),  $\phi_c=0.90$  kullanılarak hesaplanmalıdır. Buna karşın, tasarımda GKT yönteminin kullanılması durumunda, güvenli dayanım ( $P_n/\Omega_c$ ),  $\Omega_c=1.67$  kullanılarak hesaplanmalıdır. Karakteristik dayanımların yöntemden bağımsız olduğu dikkate alındığında, dayanımlar arasında geçişin zor olmadığı gözlenebilir. Bu çalışmada YDKT yöntemi kullanılarak elemanların yalnız tasarım dayanımlarının hesaplanmasına karar verilmiştir. Tasarım dayanımlarının iki dayanım azaltma katsayısının çarpımına eşit olan 1.50 değerine bölünmesiyle kolayca güvenli dayanımlara çevrilebileceği fark edilebilir.

#### **3.2. Enkesit Sınıflandırması**

U profillerin ÇYTHYEEY'ye göre karakteristik dayanımları hesaplanırken, ilk olarak enkesitleri sınıflandırılmalıdır; zira, yerel burkulma sınır durumunun elemanın davranışını kontrol eden sınır durum olması halinde, bu durum tasarım denklemlerine dahil edilmelidir. Yönetmelik kesit sınıflandırması için tasarımcıyı Bölüm 5'teki Tablo 5.1A'ya yönlendirmektedir. Bu tabloda eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesit parçaları için genişlik/kalınlık oranı ( $b/t$ ,  $h/t_w$  veya  $D/t$ ) hesabında kullanılan parametrelerin farklı kesit türleri için tanımları ile sınır narinlik değerleri ( $\lambda_r$ ) verilmektedir. Bu tabloya göre, bir U profilinin başlık narinliği ( $\lambda_f$ ), başlık genişliği ( $b_f$ ) başlık kalınlığına ( $t_f$ ) bölünerek, gövde narinliği ( $\lambda_w$ ) ise düz gövde yüksekliği ( $h$ ) gövde kalınlığına ( $t_w$ ) bölünerek hesaplanmalıdır. Tabloda, U profillerin başlık ve gövde narinlikleri için verilen sınır değerler sırasıyla  $\lambda_{rf}=0.56(E/F_y)^{0.5}$  ve  $\lambda_{rw}=1.49(E/F_y)^{0.5}$ 'tir. Sınır değer hesabında kullanılan eşitliklerde,  $E$  yapısal çeliğin elastisite modülü olup, değeri Yönetmelik'te 200 GPa olarak tanımlanmaktadır. Benzer şekilde,  $F_y$  yapısal çeliğin karakteristik akma gerilmesi olup, kullanılan çelik kalitesi ve profil kalınlığı için uygun değer Tablo 2.1A'dan alınmalıdır. Bu çalışmada, kalınlığı 40 mm'yi geçmeyen S235 ve

S355 çelik kaliteli U profiller ele alınmış olup, belirtilen tabloya göre ilgili  $F_y$  değerleri sırasıyla 235 ve 355 MPa'a eşittir. S235 (S355) için sınır değerler,  $\lambda_{rf}=16.3$  (13.2) ve  $\lambda_{rw}=43.4$  (35.3)'tür. ÇYTHYEEY Bölüm 5.4.1, aksenal basınç kuvveti etkisindeki elemanların enkesitlerini narin ve narin olmayan olarak iki gruba ayırmaktadır. Enkesit parçalarından en az birinin narinliği ( $\lambda$ ), sınır narinlik değerini ( $\lambda_r$ ) aşan enkesitler narin enkesit, ilgili sınır değerlerden daha büyük narinliğe sahip enkesit parçası içermeyen enkesitler narin olmayan enkesit olarak sınıflandırılmaktadır. İncelenen UPE ve UPN kesitlerin başlık ve gövde narinlikleri hesaplandığında, başlık narinliklerinin sırasıyla 7.50 ve 6.54, gövde narinliklerinin ise sırasıyla 28.4 ve 23.2 değerlerini aşmadığı gözlenmiştir. Belirtilen en büyük narinlik değerleri ilgili sınır değerleri aşmadığı için, incelenen kesitlerin tamamı ÇYTHYEEY'ye göre narin olmayan enkesit olarak sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle, çalışmada incelenen profillerin tasarımında yerel burkulma sınır durumunun dikkate alınmasına gerek yoktur.

### 3.3. Karakteristik Aksenal Basınç Kuvveti Dayanımı

Yönetmelik'te narin olmayan enkesitli elemanların karakteristik basınç kuvveti dayanımlarının hesabı için kullanılacak tasarım formülleri Bölüm 8.2'de tanımlanmıştır. Buna göre, karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı Denklem (1) kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (1)$$

Burada,  $F_{cr}$  kritik burkulma gerilmesi,  $A_g$  ise kayıpsız enkesit alanıdır. Kritik burkulma gerilmesi, ele alınan genel burkulma modunda elemanın elastik burkulma gerilmesine ( $F_e$ ) bağlı olarak Denklem (2)'de verilen eşitliklerden uygun olan kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{ için, } F_{cr} = \left( 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y ; \quad \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \text{ için, } F_{cr} = 0.877 F_y \quad (2)$$

Bölüm 8.2.1'e göre, zayıf eksende eğilmeli burkulma sınır durumu için elastik burkulma gerilmesi ( $F_{ey}$ ) aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(L_{cy} / i_y)^2} \quad (3)$$

Denklem (3)'te,  $L_{cy}/i_y$  zayıf eksende eğilmeli burkulma sınır durumu için eleman narinliğidir. Elemanın eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumundaki elastik burkulma gerilmesi ( $F_{exz}$ ) ÇYTHYEEY'de Bölüm 8.2.2(b)'de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmalıdır:

$$F_{exz} = \left( \frac{F_{ex} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ex} F_{ez} H}{(F_{ex} + F_{ez})^2}} \right] \quad (4)$$

Denklem (4)'te,

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(L_{cx} / i_x)^2}, \quad F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{i}_0^2}, \quad H = 1 - \frac{x_0^2}{\bar{i}_0^2} \quad \text{ve} \quad \bar{i}_0^2 = x_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (5)$$

olup, Denklem (5)'te,  $L_{cx}/i_x$  kuvvetli ekseninde eğilmeli burkulma sınır durumu için eleman narinliği,  $L_{cz}$  burulmalı burkulma sınır durumu için elemanın burkulma boyu,  $C_w$  kesitin çarpılma sabiti,  $J$  kesitin burulma sabiti,  $G$  yapısal çeliğin kayma modülü (77.2 GPa),  $x_0$  kayma merkeziyle geometrik merkez

arasındaki mesafe,  $I_x$  ve  $I_y$  ise kesitin asal atalet momentleridir. Dayanım katsayıları ile  $P_n$  (Denklem 1) ve  $F_{cr}$  (Denklem 2) formülleri her iki genel burkulma sınır durumu için de aynı olduğundan, karakteristik dayanımın iki genel burkulma sınır durumu için ayrı ayrı hesaplanmasına gerek yoktur. Denklem (2)'de  $F_e$  yerine  $F_{ey}$  ve  $F_{exz}$  değerlerinden büyük olan kullanıldığında elemanın kritik burkulma gerilmesi pratik bir şekilde hesaplanabilir.

#### 4. İncelenen U Profiller için Tasarım Tabloları

İncelenen U kesitli çelik profillerin tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları ( $\phi_c P_n$ ) iki farklı çelik kalitesi (S235 ve S355) ve farklı burkulma boyları ( $L_c$ ) için, Bölüm 3'te özetlenen tasarım kuralları kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 1-4'te sunulmuştur. Tablolarda listelenen dayanımlar, elemanların bütün burkulma boylarının birbirlerine eşit olduğu, yani,  $L_{cx}=L_{cy}=L_{cz}=L_c$  olduğu kabulüyle hesaplanmıştır. Tasarım tablolarında, burkulma boyları 0'dan başlayarak, eleman narinliği yönetmelikte belirtilen sınır değere (200) ulaşıncaya kadar, 0.5'er m aralıklarla artırılmıştır.

**Tablo 1.** S235 çelik kaliteli UPE profillerin farklı burkulma boylarında tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

S235	$\phi_c P_n$ (kN)												
	Farklı $L_c$ (m) Burkulma Boyları İçin												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
UPE 80	214	194	175	137	97.1	63.7	44.2	-	-	-	-	-	-
UPE 100	264	245	221	183	138	95.4	66.3	48.7	-	-	-	-	-
UPE 120	326	306	278	239	188	138	96.2	70.7	-	-	-	-	-
UPE 140	389	370	337	300	244	188	137	100	76.8	-	-	-	-
UPE 160	459	440	403	366	306	244	185	136	104	-	-	-	-
UPE 180	531	512	473	436	375	308	242	182	140	110	-	-	-
UPE 200	613	594	553	512	450	379	306	238	182	144	117	-	-
UPE 220	717	698	654	609	546	468	388	310	241	190	154	-	-
UPE 240	814	795	750	700	636	554	467	382	302	239	194	160	-
UPE 270	948	929	882	827	758	669	574	479	388	308	250	206	-
UPE 300	1197	1177	1126	1064	970	862	746	629	517	413	335	277	232
UPE 330	1434	1412	1358	1283	1176	1052	918	781	649	524	425	351	295
UPE 360	1648	1625	1568	1486	1371	1236	1089	937	789	649	526	434	365
UPE 400	1944	1921	1860	1761	1631	1478	1310	1136	963	799	650	538	452

**Tablo 2.** S235 çelik kaliteli UPN profillerin farklı burkulma boylarında tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımları

S235	$\phi_c P_n$ (kN)												
	Farklı $L_c$ (m) Burkulma Boyları İçin												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
UPN 80	233	217	176	123	75.8	48.5	-	-	-	-	-	-	-
UPN 100	286	267	227	170	114	72.7	-	-	-	-	-	-	-
UPN 120	360	340	295	231	163	107	74.4	-	-	-	-	-	-
UPN 140	432	411	367	299	225	156	108	80	-	-	-	-	-
UPN 160	508	487	442	371	291	212	148	109	-	-	-	-	-
UPN 180	592	571	524	450	363	276	198	145	111	-	-	-	-
UPN 200	681	660	611	533	441	345	255	188	144	-	-	-	-
UPN 220	791	769	720	640	543	439	339	252	193	152	-	-	-
UPN 240	895	873	822	739	637	526	416	315	241	191	-	-	-
UPN 260	1022	1000	947	861	754	635	515	403	308	244	197	-	-
UPN 280	1127	1106	1055	971	864	745	620	500	390	308	249	-	-
UPN 300	1244	1222	1169	1088	981	859	730	602	482	381	308	255	-
UPN 320	1603	1577	1505	1391	1246	1081	909	740	583	461	373	308	-
UPN 350	1635	1608	1528	1405	1249	1073	892	716	557	440	356	-	-

UPN 380	1701	1673	1594	1469	1311	1133	948	768	601	475	385	318	-
UPN 400	1935	1909	1834	1714	1560	1382	1191	1000	817	651	527	436	366

**Tablo 3.** S355 çelik kaliteli UPE profillerin farklı burkulma boylarında tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

S355	$\phi_c P_n$ (kN)												
	Farklı $L_c$ (m) Burkulma Boyları İçin												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
UPE 80	323	278	240	165	99.5	63.7	44.2	-	-	-	-	-	-
UPE 100	399	355	305	230	149	95.4	66.3	48.7	-	-	-	-	-
UPE 120	492	467	399	308	214	139	96.2	70.7	-	-	-	-	-
UPE 140	588	544	473	396	291	197	136	100	76.8	-	-	-	-
UPE 160	693	649	569	492	376	267	185	136	104	-	-	-	-
UPE 180	802	758	672	596	473	352	248	182	140	110	-	-	-
UPE 200	926	883	792	705	581	447	324	238	182	144	117	-	-
UPE 220	1083	1039	943	845	717	568	428	314	241	190	154	-	-
UPE 240	1230	1187	1086	978	847	686	531	395	302	239	194	160	-
UPE 270	1431	1388	1284	1165	1022	846	671	509	390	308	250	206	-
UPE 300	1808	1762	1647	1513	1317	1101	885	683	523	413	335	277	232
UPE 330	2166	2117	1994	1830	1605	1356	1104	865	663	524	425	351	295
UPE 360	2489	2438	2310	2128	1885	1612	1331	1062	821	649	525	434	365
UPE 400	2936	2884	2747	2529	2252	1940	1617	1304	1016	803	650	538	452

**Tablo 4.** S355 çelik kaliteli UPN profillerin farklı burkulma boylarında tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımları

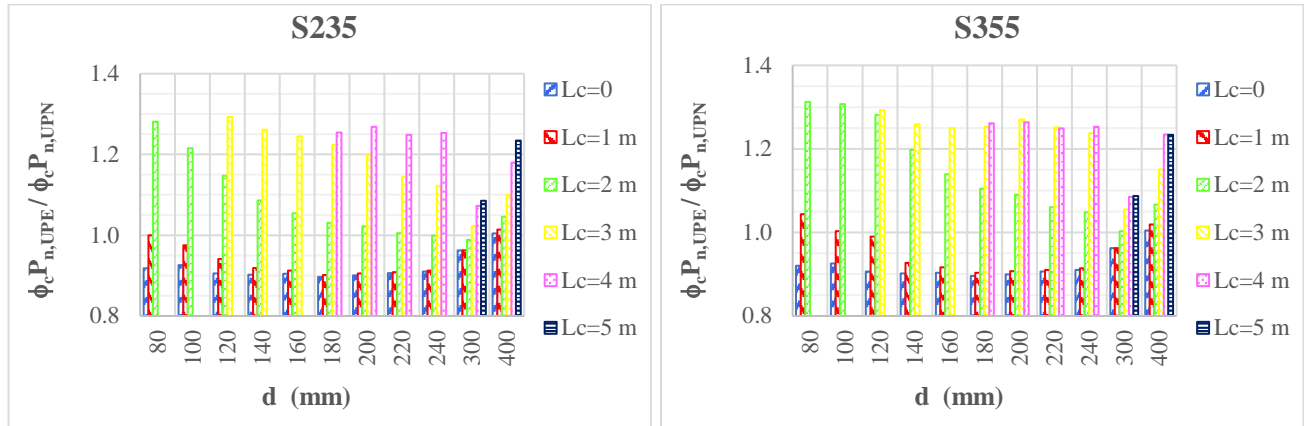
S355	$\phi_c P_n$ (kN)												
	Farklı $L_c$ (m) Burkulma Boyları İçin												
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
UPN 80	351	316	230	135	75.8	48.5	-	-	-	-	-	-	-
UPN 100	431	390	304	197	114	72.7	-	-	-	-	-	-	-
UPN 120	543	500	403	278	167	107	74.4	-	-	-	-	-	-
UPN 140	652	605	510	375	243	156	108	79.5	-	-	-	-	-
UPN 160	767	720	621	477	330	214	148	109	-	-	-	-	-
UPN 180	895	847	744	591	428	285	198	145	111	-	-	-	-
UPN 200	1029	981	873	711	533	368	255	188	144	-	-	-	-
UPN 220	1195	1146	1036	868	676	491	342	252	193	152	-	-	-
UPN 240	1351	1302	1188	1012	808	605	429	315	241	191	-	-	-
UPN 260	1543	1493	1376	1192	975	753	548	403	308	244	197	-	-
UPN 280	1703	1653	1540	1359	1140	910	691	509	390	308	249	-	-
UPN 300	1879	1829	1712	1536	1313	1074	839	629	482	380	308	255	-
UPN 320	2422	2363	2202	1954	1654	1335	1027	761	583	460	373	308	-
UPN 350	2470	2408	2231	1964	1644	1308	988	727	557	440	356	-	-
UPN 380	2569	2507	2329	2060	1735	1391	1062	785	601	475	384	318	-
UPN 400	2923	2864	2695	2434	2111	1757	1405	1075	823	651	527	436	366

Çelik kalitesi, profil türü ve numarası ile elemanın burkulma boyunun bilinmesi durumunda, tasarım tablolarından elemanın tasarım dayanımı kolaylıkla okunabilir. Örnek olarak,  $L_c = 4$  m boyundaki S235 çelik kaliteli UPN 300 profilinin tasarım dayanımı, Tablo 2’den 482 kNm olarak okunabilir. Tablonun okunmasında kullanılan parametreler (UPN 300 ve  $L_c = 4.0$  m) ile okunan sonuç (482 kNm), ilgili tabloda *italik* olarak gösterilmiştir. Tasarım tabloları, gerekli dayanım ile burkulma boyunun bilindiği durumlarda, ekonomik bir kesit seçmek için de kullanılabilir. Örneğin, burkulma boyu 3 m olan ve gerekli dayanımının 1000 kN olduğu bilinen ekonomik U profiller, S235 çelik kalitesinde UPE 360 veya UPN 400, S355 çelik kalitesinde ise UPE 330 ve UPN380’dir.

## 5. Bulgular

Bölüm 4'te sunulan tasarım tablolarında  $L_c=0$  durumu, genel burkulmanın engellendiği ya da elemanın taşıma gücüne akma sınır durumuyla ulaştığı duruma karşılık gelmektedir. Bu durumda, elemanın karakteristik dayanımı, akma dayanımına yani  $F_y A_g$ 'ye eşit olmaktadır. ÇYTHYEEY'de tanımlanan burkulma eğrisi doğrusal olmadığından, tablolardan da fark edilebileceği gibi,  $L_c$  arttıkça eleman dayanımları hızla azalmaktadır. Örnek olarak, tasarım akma yükü 214 kN olan UPE 80 profilinin tasarım dayanımı, burkulma boyu 3 m'ye çıktığında (yani, narinliği 189 olduğunda) 44.2 kN'a düşmektedir. Diğer bir deyişle, eleman narinliği dayanımda %80 seviyelerinde kayba neden olmaktadır. Bununla birlikte, burkulma boyu yarıya düşürülürse, elemanın dayanımı 137 kN'a çıkmaktadır. Bu durumda, narinlik nedeniyle oluşan dayanım kaybı %35 mertebelerinde kalmaktadır. Tasarım tablolarından, çelik kalitesinin tasarım dayanımına olan etkisinin elemanların burkulma boylarına bağlı olduğu da görülmektedir. Elastik bölgede burkulanan elemanların dayanımları çelik kalitesinden bağımsızken (örneğin, burkulma boyu 3.0 m olan UPE80 profilinin tasarım dayanımı S235 çelik kalitesi için de S355 çelik kalitesi için de 44.2 kN'dur), elastik olmayan bölgede burkulanan veya plastikleşebilen elemanlarda, dayanım  $F_y$  arttıkça artmaktadır (örnek olarak, burkulma boyu 1 m olan UPE 80 profilinin tasarım dayanımı S235 çeliği için 175 kN, S355 çeliği için ise 240 kN'dur.).

Tasarım tablolarından, davranışın akma sınır durumu tarafından kontrol edildiği durumlarda, UPN profillerin dayanımlarının aynı kesit yüksekliğine sahip UPE profillerin dayanımından genel olarak bir miktar daha fazla (en çok %10) olduğu gözlenmektedir. Elbette ki bunun nedeni, çoğu UPN profilin enkesit alanının aynı derinliğe sahip UPE profilden fazla olmasıdır. Ancak,  $L_c$  değerleri arttıkça, diğer bir ifadeyle, profilin davranışını kontrol eden sınır durum, akmadan genel burkulmaya doğru kaydıkça UPE profillerin dayanımlarının, aynı derinliğe sahip UPN profillerin dayanımına ulaştığı, yeterince büyük burkulma boylarında ise daha yüksek dayanımlara çıktığı gözlenmektedir. Örnek olarak, S235 çelik kaliteli UPE 200 kesitli bir yapı elemanın tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı  $L_c=0$  için 613 kN,  $L_c=2$  m için 450 kN,  $L_c=4$  m için 182 kN'dur (Tablo 1). Aynı burkulma boyları için, UPN 200 kesitli elemanın tasarım dayanımları sırasıyla 681 kN, 441 kN ve 144 kN'dur (Tablo 2). Buradan, UPE 200 profilinin dayanımının UPN200 profilinin dayanımından  $L_c=0$  için %10 daha küçük olduğu,  $L_c=2$  m için %2 daha büyük olduğu,  $L_c=4$  m için ise %27 daha büyük olduğu görülebilir. Diğer bir ifadeyle,  $L_c$  değeri arttıkça UPE 200 profili UPN 200 profiline kıyasla daha ekonomik olmaktadır. Benzer durumun incelenen diğer profillerde de gözlemlendiği, Şekil 6'da sunulan ve aynı kesit yüksekliğine sahip UPE ve UPN profillerin tasarım dayanımlarının altı farklı burkulma boyu ( $L_c=0, 1, 2, 3, 4, 5$  m) için oranlanarak çizdirildiği grafiklerden de fark edilebilir.



Şekil 6. İki farklı çelik kalitesi ve altı farklı burkulma boyu için, UPE profillerin tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımlarının aynı kesit derinliğine sahip UPN profillerin dayanımlarına oranları

## 6. Sonuçlar

Ülkemizde elik yapı tasarımı esasları, 2016 yılında yürürlüğe giren elik Yapıların Tasarımı, Hesabı ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (YTHYEY) [5] ile büyük bir değişime uğramıştır. Geçtiğimiz dört yıl boyunca, yönetmeliğin temel esaslarının ülkemizde elik yapı tasarımı yapan mimar ve mühendisler anlatılması amacıyla bir çok eğitim verilmiş, ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından bir uygulama kılavuzu [7] yayınlanmıştır. Ancak, yönetmeliğin oldukça kapsamlı olması nedeniyle, verilen eğitimlerde de uygulama kılavuzunda da yoğun olarak I ve H profillerin üzerinde durulduğu, tasarım esasları ve genel burkulma modları bu profillere kıyasla daha farklı olan U, T, L ve Z profillerin tasarım esaslarının tasarımcılar tarafından nispeten daha az bilindiği fark edilmiştir. Tasarımlarında U profilleri kullanan tasarımcılara yol göstermek ve tasarımlarında kullanabilecekleri pratik tablolar oluşturmak amacıyla, bu çalışmada elik U profillerin basınç kuvveti etkisi altındaki tasarım esasları YTHYEY çerçevesinde incelenmiş, ülkemizde sık kullanılan profil ebatları, elik kaliteleri ve eleman boyları için tasarım aksel basınç kuvveti dayanımları hesaplanarak tablanmıştır. Her ne kadar tasarımlarında GKT yöntemi kullanan tasarımcılar için ayrı tasarım tabloları sunulmamış olsa da, güvenli dayanımlar tasarım dayanımları 1.50'ye bölünerek kolayca hesaplanabilir. Tasarımcılar, tasarım tablolarını tasarımlarının ilk aşamasında uygun ve ekonomik kesit seçimi için, nihai aşamasında ise dayanım kontrolü için kullanabilirler. Tasarım tablolarının elik yapı tasarımı yapan mimar ve mühendisler daha ekonomik ve hızlı tasarımlara imza atma yolunda faydalı olacağına inanılmaktadır. Çalışmada ayrıca, aynı elik kalitesine ve kesit derinliğine sahip UPE ve UPN profillerin tasarım dayanımları karşılaştırılmış, genel olarak, burkulma boyunun 2 m'ye eşit ya da daha fazla olduğu durumlarda, UPE profillerin daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

## References

- [1] <https://www.insaatim.com/wp-content/uploads/2020/02/C%CC%A7elik-I%CC%87skelet-Yapilar-770x433.jpg> (Son Ziyaret Tarihi: 08.08.2020)
- [2] <https://izmirdizaynmetal.com/wp-content/uploads/2018/06/ee5-1067x800.jpg> (Son Ziyaret Tarihi: 08.08.2020)
- [3] <http://www.iposteelnetwork.org/images/meetings/GeneralManager/2014-zuerich/GA-product-range-comparison-upe-upn.pdf> (Son Ziyaret Tarihi: 08.08.2020)
- [4] AISC 360-16, *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, 2016.
- [5] YTHYEY, *elik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [6] TS 648, *elik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, 1. Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- [7] YTHYEY, *elik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2017.
- [8] Yu W.-W., LaBoube R. A., *Cold Formed Steel Design*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2020.
- [9] Ljubinkovic F., *Structural Behavior of Cold-Formed Steel Beams Subjected to Fire*, MSc Thesis, University of Coimbra, 2016.
- [10] AISI S100-16/S1-18, *North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members*, American Iron and Steel Institute, 3rd Printing, 2018.
- [11] <https://www.scielo.br/img/revistas/lajss/v12n1/1679-7825-lajss-12-01-00001-gf4.jpg> (Son Ziyaret Tarihi: 10.08.2020)





## Energy Modification Factor of Single-Degree-of-Freedom Systems Based on Real Ground Motion Records

Onur MERTER<sup>1</sup>, Taner UÇAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, İzmir University of Economics, 35330, Balçova, İzmir, onur.merter@ieu.edu.tr

<sup>2</sup> Department of Architecture, Dokuz Eylül University, 35390, Buca, İzmir, taner.ucar@deu.edu.tr

**Abstract:** In energy-based seismic design and evaluation of structures, strong ground motion effect is considered as an energy input to the systems. Inelastic structural behavior is possibly observed to resist the energy input due to strong ground motions. Total energy capacity of the inelastic structural system can be defined in terms of a specific multiplier of elastic energy. In earthquake engineering discipline, this multiplier is generally called the energy modification factor and it is defined as the ratio of the inelastic energy to the elastic energy of the system. The energy modification factor mainly depends on both displacement ductility and yield strength reduction factor. In this study, twenty real strong ground motion records are selected from Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) and nonlinear time history analyses (NLTH) are conducted for single-degree-of-freedom (SDOF) systems with damping ratio of five percent and different displacement ductilities. For all ground motion records, yield strength reduction factors are computed as a function of natural period, for the constant ductility value. Subsequently, the energy modification factors are calculated as functions of the ductility and the yield strength reduction factors and presented by graphs. The results of dynamic analyses show that the energy modification factor tends to be nearly constant after specific period values.

**Keywords:** Energy modification factor, SDOF systems, yield strength reduction factor, ductility demand.

### 1. Introduction

Conventional strength-based structural design hardly assesses the appropriate ductility level while determining the base shear strength of structural systems. However, in displacement-based methods, structural systems can be designed to achieve a specified displacement limit and a desired ductility level under the effects of strong ground motions. Performance levels of structures can be assessed considering inelastic structural behavior and more detailed information about the nonlinear behavior of structures can be provided [1-6].

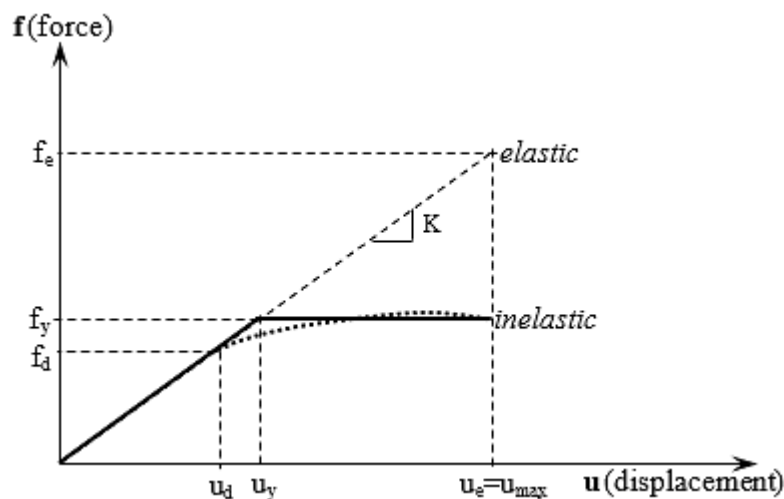
Energy-based seismic design and evaluation methods can be mentioned more reliable owing to the fact that they correlate not only the peak ground acceleration but also the other important characteristics of strong ground motions. These methods can be introduced as an alternative to displacement-based methods since the energy-based parameters are more rational and reliable [6-10]. However, many questions need to be solved while using energy-based methods in earthquake resistant design. The energy input to the structure during strong ground motion should be known and the distribution of this energy throughout structural members should be investigated [8, 9].

The total inelastic energy demand imposed on structures during earthquake ground motions can be computed using the elastic energy. In other words, the ratio of the inelastic energy to the elastic energy of the system is called as the energy modification factor and it can be used to derive the energy-based

design base shear force for structural systems [11, 12]. The energy modification factor depends on both the displacement ductility and the yield strength reduction factor and it can idealize the energy of the inelastic system. In the study, twenty real earthquake ground motion data have been selected from PEER database and NLTH analyses have been performed for SDOF systems. Displacement ductilities have been taken as 2, 3, 4 and 5, respectively, and viscous damping ratio has been considered as 5%. PRISM software has been used in NLTH analyses [13]. First, yield strength reduction factors have been computed as a function of natural period for all ground motion records and then energy modification factors have been obtained as functions of the ductility and the yield strength reduction factors. The results of dynamic analyses have shown that the energy modification factor tends to be nearly constant after specific period values and they have been presented by graphs.

## 2. Concept of Energy Modification Factor

For ductile structural systems, the peak displacement of the inelastic structure can be accepted as equal to the peak elastic displacement. This rule is called as the equal displacement rule and it is a well-known empirical rule for the assessment of the nonlinear behavior of structures subjected to strong ground motions. The equal displacement rule leads to the concept of yield strength reduction factor ( $R_y$ ) which is equal to the global displacement ductility ( $\mu$ ) for long-period systems [14].



**Figure 1.** Force-displacement ( $f-u$ ) relation of elastic and inelastic systems according to the equal displacement rule

The elastic and inelastic force-displacement ( $f-u$ ) relationships in regard to equal displacement rule are shown in Figure 1. In this figure,  $f_e$ ,  $f_y$  and  $f_d$  represent the elastic force, yield force and design force and  $u_{max}$ ,  $u_e$ ,  $u_y$  and  $u_d$  represent the maximum displacement, elastic displacement, yield displacement and design displacement, respectively.  $K$  is the elastic stiffness of the SDOF system. Yield strength reduction factor ( $R_y$ ) can be defined as the ratio of the elastic strength demand ( $f_e$ ) to the inelastic strength demand ( $f_y$ ):

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} \quad (1)$$

In regard to the equal displacement rule, the yield strength reduction factor ( $R_y$ ) can be equated to the displacement ductility ( $\mu$ ) for long-period systems as:

$$R_y = \mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (2)$$

The ratio of the total inelastic energy ( $E_{\text{inelastic}}$ ) to the total energy of the elastic system ( $E_{\text{elastic}}$ ) can be expressed by the energy modification factor,  $\gamma$ , as [11, 12]:

$$\gamma = \frac{E_{\text{inelastic}}}{E_{\text{elastic}}} = \frac{\frac{1}{2} f_y u_y + f_y (u_{\max} - u_y)}{\frac{1}{2} f_e u_{\max}} \quad (3)$$

Equation (3) shows the general expression of the energy modification factor and it is obtained by using the idealized elastic-perfectly plastic SDOF system in Figure 1. The energy modification factor can be obtained from Equation (3) in terms of the displacement ductility ( $\mu$ ) and the strength reduction factor ( $R_y$ ) as:

$$\gamma = \frac{2\mu - 1}{R_y^2} \quad (4)$$

Equation (4) can be rewritten for long-period structural systems by substituting  $R_y = \mu$  as given in Equation (2).

### 3. Selection of Strong Ground Motions and Time History Analyses

A total of 20 recorded real accelerograms having strike-slip focal mechanism are selected to investigate the energy modification factor. Inelastic SDOF systems are selected considering displacement ductilities of  $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ , respectively. The average shear-wave velocities in the top thirty meters of the soil ( $V_{S30}$ ) are between the value of  $180$  m/s and  $360$  m/s. Soil site class is D (stiff soil with  $180 \text{ m/s} < V_{S30} \leq 360 \text{ m/s}$ ) according to National Earthquake Hazards Reduction Program site classification [15]. Moment magnitudes ( $M_w$ ) of selected earthquakes are between  $6.2$  and  $7.3$  and Joyner-Boore distances ( $R_{JB}$ ) are selected more than  $20$  km (i.e., far-field effects are considered). All of the selected accelerograms in the study are obtained from the database of Pacific Earthquake Engineering Research Center [16]. Characteristics of selected accelerograms are shown in Table 1.  $I_A$  is the Arias Intensity, as defined by Arias [17], and it is proportional to the square of the ground acceleration integrated over time.  $PGA$ ,  $PGV$  and  $PGD$  are the peak ground acceleration, peak ground velocity and peak ground displacement, respectively.

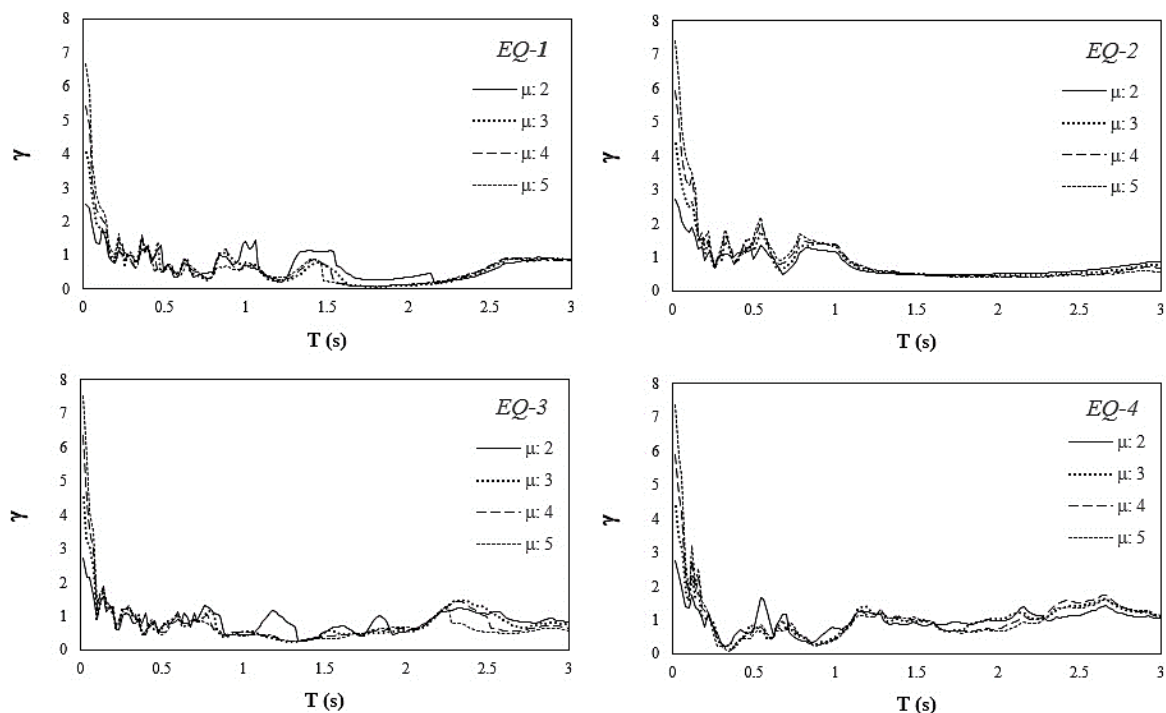
Nonlinear time history analyses are performed for inelastic SDOF systems using the software PRISM [13]. Elastic-perfectly plastic hysteretic model is used in dynamic analyses and viscous damping ratio is considered as  $5\%$ . Ductility ratio values are selected as  $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ , respectively. Newmark time integration method is used by the software [13]. The yield strength reduction factors ( $R_y$ ) are computed as a function of period ( $T$ ) for all ground motion records.

**Table 1.** Selected earthquake ground motions

# EQ No	Event Name	Station	Year	$M_w$	$I_A$ (m/s)	$R_{JB}$ (km)	$V_{S30}$ (m/s)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Big Bear	San B. - E & Hospitality	1992	6.46	0.3	34.98	296.97	0.101	11.90	3.35
2	Borrego Mtn	El Centro Array 9#	1968	6.63	0.2	45.12	213.44	0.133	26.70	14.60
3	Landers	Yermo Fire	1992	7.3	0.71	23.62	353.6	0.152	29.70	24.69
4	Trinidad	Rio Dell Overpass	1980	7.2	0.4	76.06	311.75	0.151	8.86	3.60
5	Northern Calif-01	Ferndale City Hall	1941	6.4	0.1	44.52	219.31	0.122	13.53	5.30
6	Northern Calif-03	Ferndale City Hall	1954	6.5	0.5	26.72	219.31	0.203	52.40	39.40
7	Imp. Valley-06	Coachella Canal #4	1979	6.53	0.2	49.1	336.49	0.128	32.00	13.03
8	Imp. Valley-06	Delta	1979	6.53	3.3	22.03	242.05	0.350	32.99	20.17
9	Imp. Valley-06	El Centro Array #1	1979	6.53	0.3	19.76	237.33	0.136	10.97	7.10
10	Imp. Valley-06	El Centro Array #13	1979	6.53	0.3	21.98	249.92	0.139	13.65	7.73
11	Imp. Valley-06	Victoria	1979	6.53	0.3	31.92	242.05	0.168	8.84	1.93
12	Morgan Hill	Capitola	1984	6.19	0.2	39.08	288.62	0.142	8.29	1.67
13	Supers. Hills-02	Calipatria Fire Station	1987	6.54	0.5	27	205.78	0.259	14.97	3.35
14	Landers	Baker Fire Station	1992	7.28	0.3	87.94	324.62	0.106	10.97	7.96
15	Landers	Desert Hot Springs	1992	7.28	0.7	21.78	359	0.154	20.87	7.77
16	Landers	Hemet Fire Station	1992	7.28	0.3	68.66	328.09	0.097	5.64	2.27
17	Landers	Indio – Coach. Canal	1992	7.28	0.3	54.25	339.02	0.109	15.11	9.79
18	Landers	Mission Creek Fault	1992	7.28	0.4	26.96	355.42	0.132	14.62	11.42
19	Landers	North Palm Springs	1992	7.28	0.7	26.84	344.67	0.134	14.53	5.70
20	Landers	Palm Springs Airport	1992	7.28	0.4	36.15	312.47	0.089	13.91	5.26

#### 4. Energy Modification Factors for Selected Ground Motions

The variation of energy modification factor  $\gamma$  with system period  $T$  is computed for systems with different displacement ductility ratios as  $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ .  $\gamma$ - $T$  graphs for the first four ground motion records (for EQ-1, EQ-2, EQ-3 and EQ-4) are presented by Figure 2. The energy modification factor tends to have greater values for short periods, but after the significant value of the period it tends to have smaller values in comparison with the short periods.



**Figure 2.** Energy modification factor graphs of EQ-1, EQ-2, EQ-3 and EQ-4

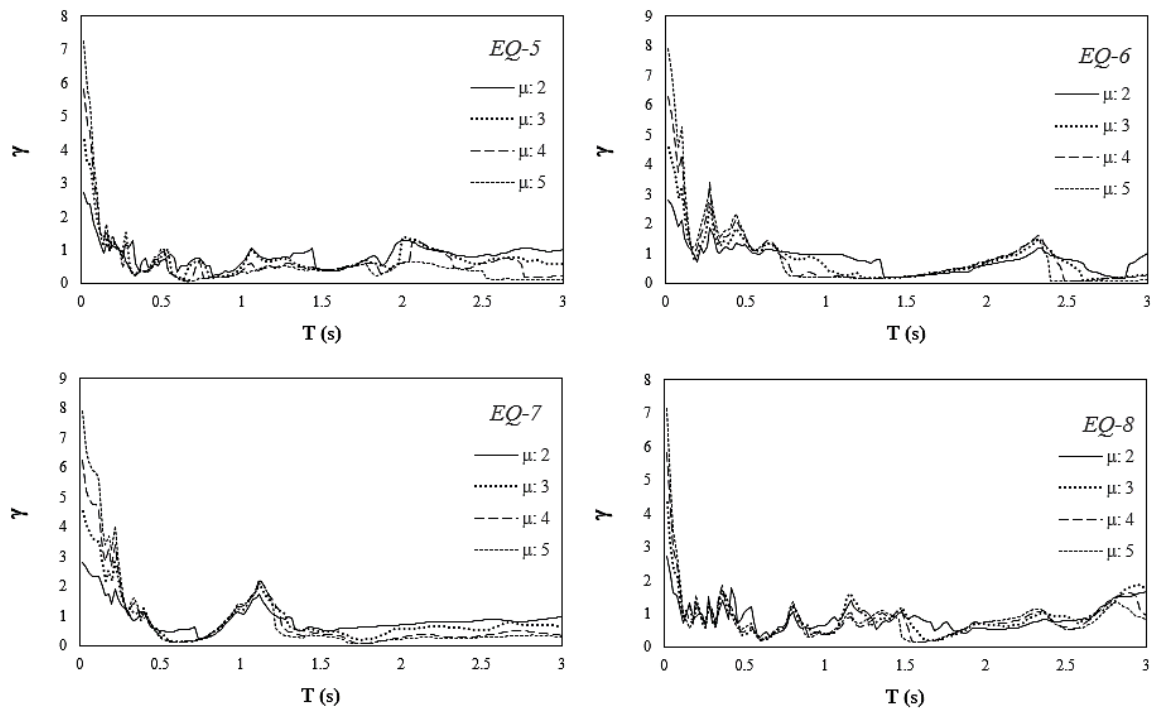


Figure 3. Energy modification factor graphs of EQ-5, EQ-6, EQ-7 and EQ-8

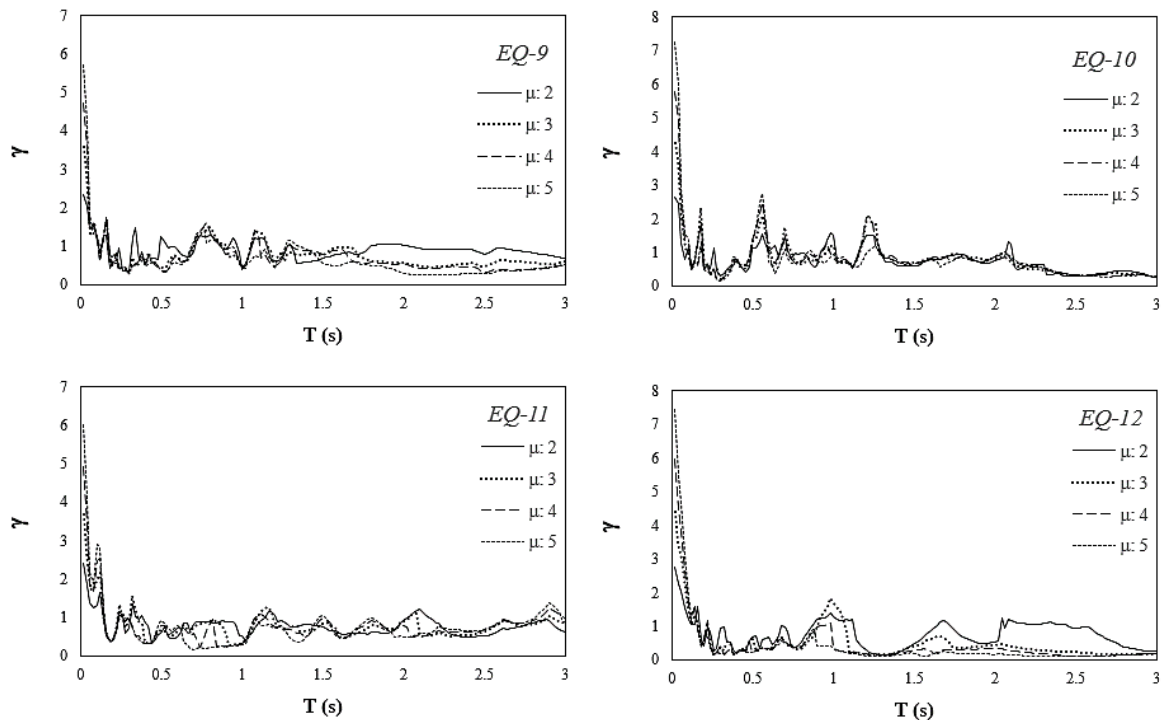


Figure 4. Energy modification factor graphs of EQ-9, EQ-10, EQ-11 and EQ-12

$\gamma$ - $T$  graphs for ground motion records EQ-5, EQ-6, EQ-7 and EQ-8 are presented by Figure 3. In Figure 4, energy modification factor graphs are given for records EQ-9, EQ-10, EQ-11 and EQ-12. All graphs are obtained for ductility ratios of  $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ , respectively. As the ductility ratio increases from  $\mu = 2$  to  $\mu = 5$ , it is observed that the energy modification factor values generally tend to have smaller values.

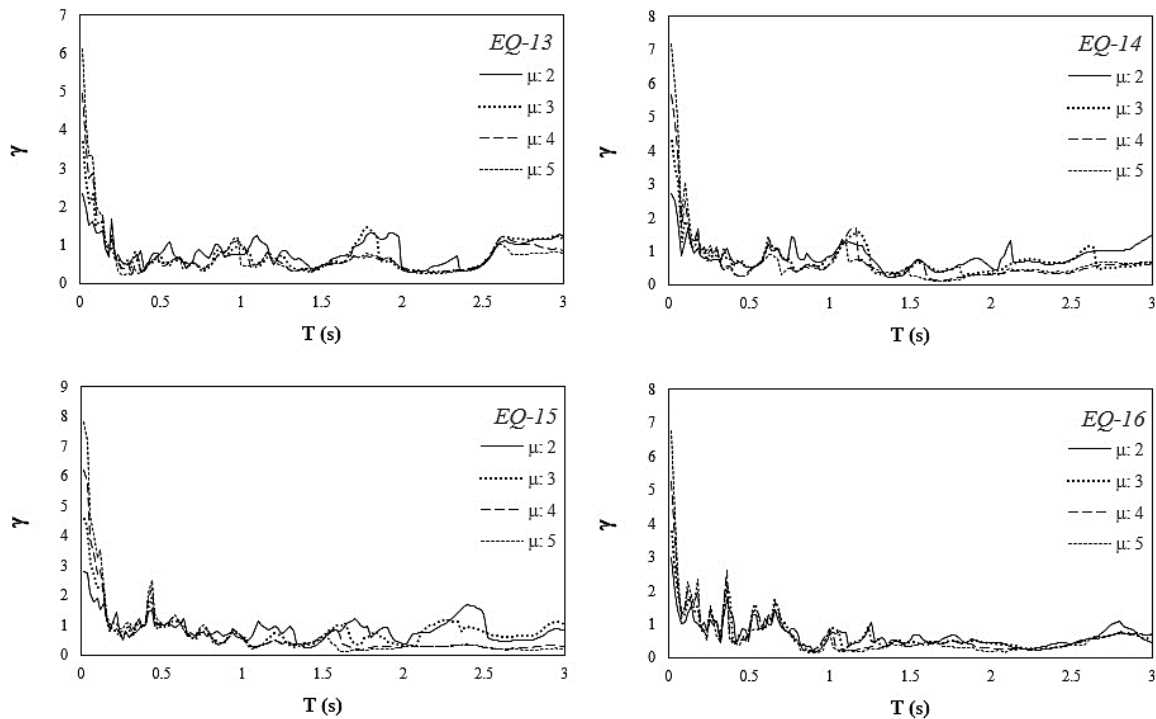


Figure 5. Energy modification factor graphs of EQ-13, EQ-14, EQ-15 and EQ-16

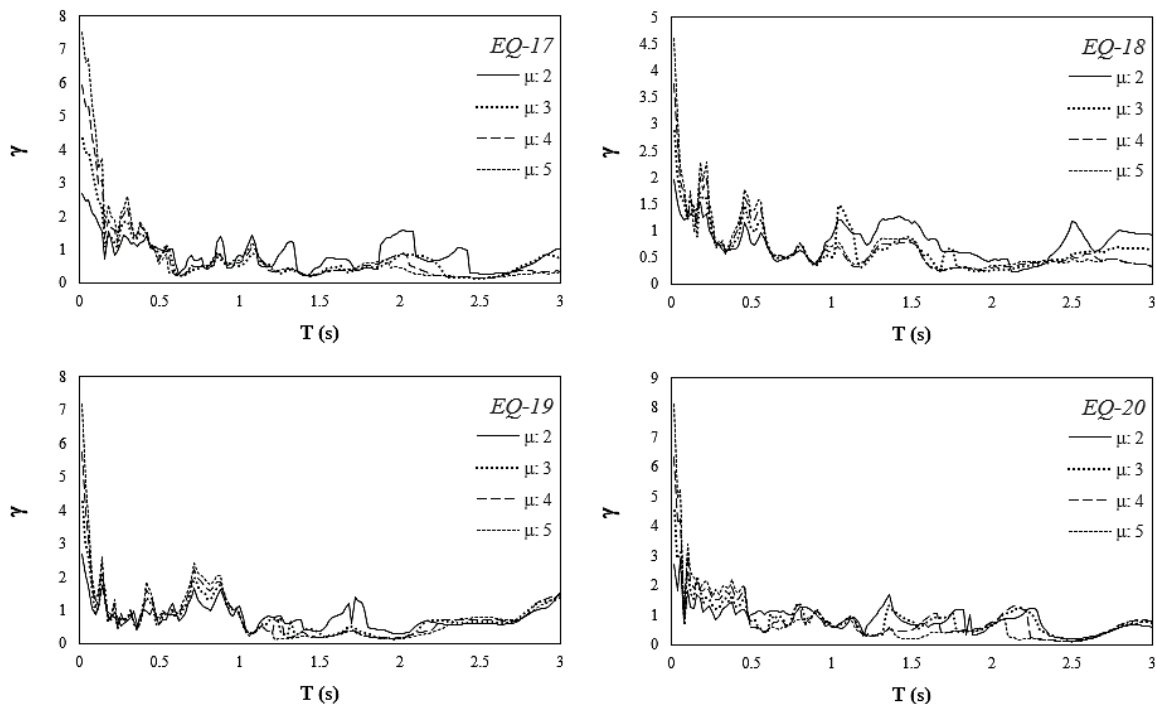


Figure 6. Energy modification factor graphs of EQ-17, EQ-18, EQ-19 and EQ-20

The energy modification factors for ground motions EQ-13, EQ-14, EQ-15 and EQ-16 are shown in Figure 5 for four different ductility ratios ( $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ ). Finally, the energy modification factors of the last four ground motions (EQ-17, EQ-18, EQ-19 and EQ-20) are analyzed and given as graphs as it can be seen from Figure 6. From the graphs, it can be concluded that all ground motion records reflect their own characteristics to dynamic analyses.

### 5. Energy Modification Factors for Different Ductility Ratios

The energy modification factors from different earthquake ground motion records (Table 1) are investigated within the study according to displacement ductility ratios. The results are presented by Figure 7, considering four different ductility ratios ( $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ ). The graph of factor of  $\gamma$  is given with  $\pm 1$  standard deviations and it is clear from the graphs that the energy modification factor tends to be nearly constant over a significant period value. As the ductility ratio increases from  $\mu = 2$  to  $\mu = 5$ , it is observed that the maximum values of  $\gamma$  are greater at shorter periods (Figure 7).

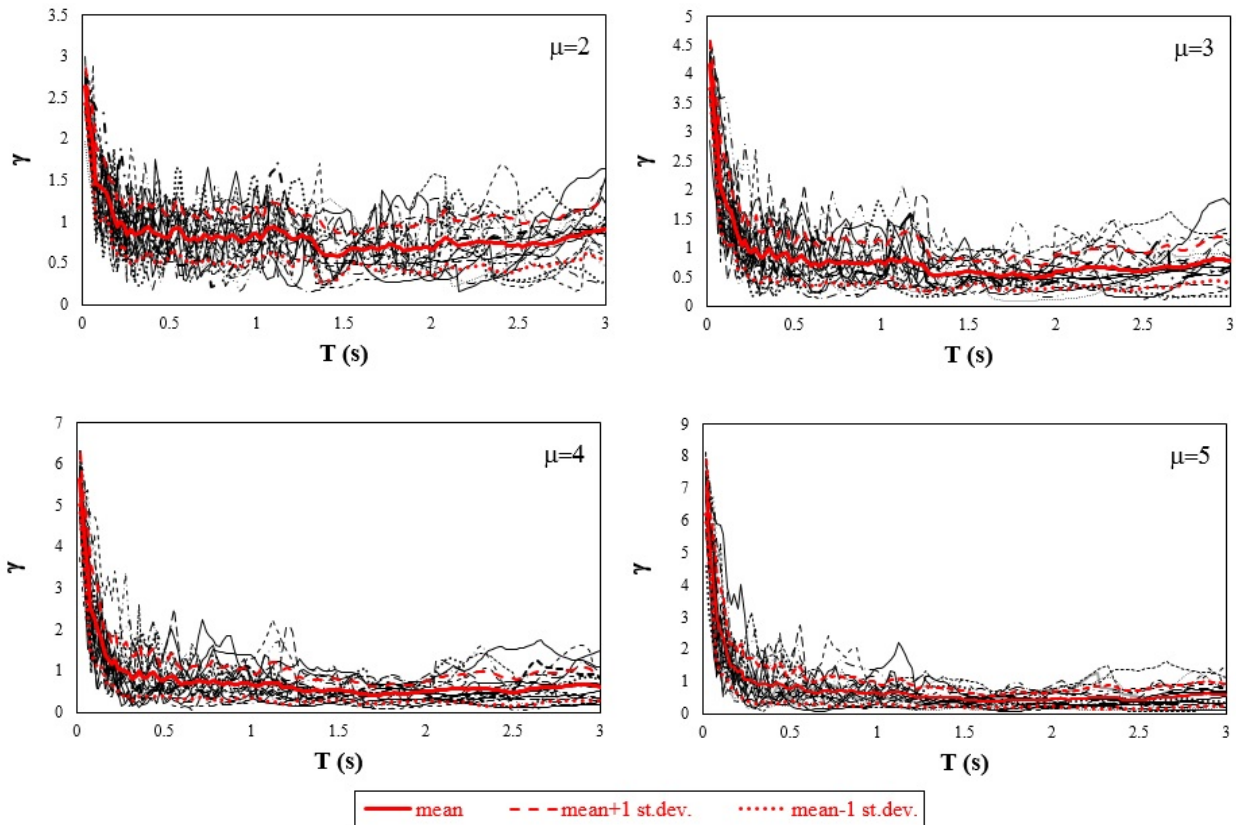


Figure 7. Energy modification factor graphs according to ductility ratios

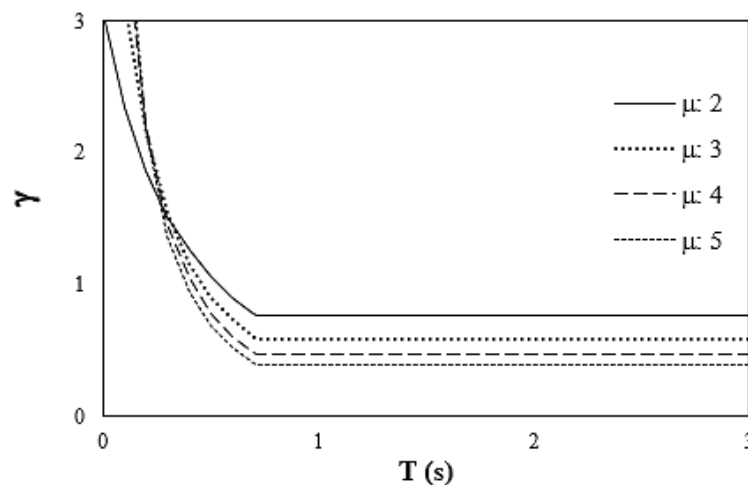


Figure 8. Energy modification factor graph which considers  $R_y$  according to TBEC

When the yield strength reduction factor  $R_y$  is taken according to Turkish Building Earthquake Code (TBEC) [18], the variation of energy modification factor with system period  $T$  can be shown as in Figure 8 for systems having different displacement ductility ratios ( $\mu = 2, 3, 4$  and  $5$ ). It can be clearly seen from Figure 8 that the energy modification factor becomes constant for periods greater than the period  $T_B$ , which is the second corner period of the horizontal elastic design acceleration spectrum in TBEC. In this figure, the design acceleration spectrum is considered for Konak region in İzmir, Turkey and  $T_B$  is obtained as 0.716 sec for soil class ZE (for the design earthquake ground motion). The application of Turkey Earthquake Risk Map is used from AFAD's website [19]. The yield strength reduction factor  $R_y$  of TBEC is expressed by Equation (5) and relations are used to obtain the design energy modification factor in Figure 8.

$$\begin{aligned} R_y(\mu-T) &= \mu \quad [for T > T_B] \\ R_y(\mu-T) &= 1 + (\mu - 1) \frac{T}{T_B} \quad [for T \leq T_B] \end{aligned} \quad (5)$$

## 6. Conclusions

The exact values of the energy modification factor have been investigated for the selected earthquake ground motions. Real ground motions recorded at similar soils have been considered for dynamic analyses and the yield strength reduction factors have been obtained from time history analyses as a function of natural vibration period of SDOF systems. Four different displacement ductility ratios as 2, 3, 4 and 5 have been taken for the systems and elastic-perfectly plastic hysteretic model is used to define the nonlinear behavior. Viscous damping ratio is considered as 5% in the study. As a result of the conducted analyses, the energy modification variations have been obtained for all ground motion records and they have been presented as a function of natural period in graphs. In previous studies, the energy modification factor has generally been used to compute the energy-based design base shear force of structural systems and it has been given according to seismic code-based yield strength reduction factor relation. However, in this study the exact variation of energy modification factor with period has been obtained for real ground motion records.

The main finding of the study is that the energy modification factor tends to remain almost stable after certain period values. On the other hand, it has been obtained from dynamic analyses that the maximum values of the energy modification factors are greater at short periods as the ductility ratio increases from 2 to 5. It is quite clear that all ground motion records reflect their own characteristics to dynamic analyses and the calculated energy modification factors are valid for the used ground motion records. On the other hand, the variation of mean energy modification factors with natural period follows almost the same trend and it is quite consistent with that obtained using the design acceleration spectrum.

## REFERENCES

- [1] Rubinstein, M. and Möller, O., "Inelastic displacement-based design approach of R/C building structures in seismic regions", *Structural Engineering and Mechanics*, 12(6), 573-594, 2001.
- [2] Priestley, M.J.N., *Myths and Fallacies in Earthquake Engineering*, Revisited (The Mallet Milne Lecture), IUSS Press, Pavia, Italy, 2003.





- [3] Calvi, G.M., Priestley, M.J.N. and Kowalsky, M.J., “Displacement based seismic design of structures”, *3<sup>rd</sup> Hellenic Conference on Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, Athens, Greece, November, 2008.
- [4] Ayala, A.G., Castellanos, H. and López, S., “A displacement based seismic design method with damage control for RC buildings”, *Earthquakes and Structures*, 3(3), 413-434, 2012.
- [5] Segovia, V.A. and Ruiz, S.E., “Direct displacement based design for buildings with hysteretic dampers, using best combinations of stiffness and strength ratios”, *Journal of Earthquake Engineering*, 21(5), 752-775, 2017.
- [6] Kumbhar, O.G. and Kumar, R., “Performance assessment of RC frame designed using force, displacement & energy based approach”, *Structural Engineering and Mechanics*, 73(6), 699-714, 2020.
- [7] Pierre, L. and Dussault, S., “Seismic energy dissipation in MDOF structures”, *Journal of Structural Engineering*, 118(5), 1251-1269, 1992.
- [8] Shen, J. and Akbas, B., “Seismic energy demand in steel moment frames”, *Journal of Earthquake Engineering*, 3(4), 519-559, 1999.
- [9] Akbas, B. and Shen, J., “Earthquake resistant design (EQRD) and energy concepts”, *Technical Journal*, 14(67), 2877-2901, 2003. [in Turkish]
- [10] Cheng, Y., Lucchini, A. and Mollaioli, F., “Ground motion prediction equations for constant strength and constant ductility input energy spectra”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(1), 37-55, 2020.
- [11] Goel, S.C., Liao, C., Bayat, M.R. and Chao, H., “Performance-based plastic design (PBPD) method for earthquake resistant structures: an overview”, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 19(1-2), 115-137, 2010.
- [12] Liao, W.C., *Performance-based plastic design of earthquake resistant reinforced concrete moment frames*, Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, USA, 2010.
- [13] PRISM for Earthquake Engineering, A Software for Seismic Response Analysis of Single-Degree-of-Freedom Systems, Department of Architectural Engineering, INHA University, 2011.
- [14] Lestuzzi, P. and Badoux, M., “An experimental confirmation of the equal displacement rule for RC structural walls”, *Proceedings of the FIB Symposium 2003: Concrete Structures in Seismic Regions*, Athens, Greece, Paper No: 127, 2003.
- [15] BSSC, National Earthquake Hazards Reduction Program Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions, Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency (FEMA P-750), Washington, D.C., 2009.
- [16] PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Center Strong Ground Motion Database, <http://ngawest2.berkeley.edu/>, 2018.
- [17] Arias, A., *A Measure of Earthquake Intensity in Seismic Design for Nuclear Power Plants*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1970.
- [18] TBEC, Turkish building earthquake code, Ministry of Public Works and Settlement; Ankara, Turkey, 2018.
- [19] AFAD, Republic of Turkey, Prime Ministry Disaster & Emergency Management Authority. <http://deprem.gov.tr/en/Category/earthquake-zoning-map-96531>, 2018.



## Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY- 2007) İle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nin Taban Kesme Kuvvetleri Açısından Karşılaştırılması

### Comparison Between the Turkish Seismic Code (DBYBHY, 2007) and Turkish Building Seismic Code (TBDY-2018) in Terms of Base Shear Forces

Hatice Tuğçe AKSAN<sup>1</sup>, Prof. Dr. Zeki KARACA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İmşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

**Özet:** Geçmişten günümüze kadar geline süreçte, dünyada ve ülkemizde depreme karşı dayanıklı yapıların tasarlanması oldukça hassas ve önem verilen bir konu olmuştur. Gelişen teknolojiler ve yapılan bilimsel çalışmalar hep daha iyi depreme karşı dayanıklı tasarımlar ortaya koyabilmek amacıyla gerçekleştirilmiş ve ilgili yönetmeliklerin belli dönemlerde güncellenmesini gerekli kılmıştır. Ülkemizde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) 2007'de yayımlanmış ve yönetmelikteki bazı konular kapsamlı olarak ele alınamamıştır. Bu sebeple, 2016'da taslak olarak yayımlanan ve 1 Ocak 2019 itibari ile yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'nde çok daha fazla konu kapsamlı olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada, İzmir ve Samsun iline ait 2 farklı koordinat seçilerek, bu koordinatlarda tasarlanan 8 katlı ve 12 katlı betonarme bina modellerinin kabul edilen 4 farklı zemin koşullarına göre elde edilen yapısal analizlerine yer verilmiştir. Bina modellerine ait deprem analizleri, STA4CAD paket programı yardımıyla Mod Birleştirme Yöntemine göre hesaplanmıştır. Bu analizler, TBDY-2018'e ve DBYBHY- 2007 'ye göre ayrı ayrı yapılarak taban kesme kuvvetleri sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yapılan karşılaştırmalarda kat sayısı ve deprem riskinin değişmesi durumlarında taban kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişimler de incelenmiştir. Sonuç olarak, her iki yönetmelikte de İzmir iline ait modellerin taban kesme kuvvetlerinin Samsun iline ait modellerin taban kesme kuvvetlerine göre artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Hatta modellerde kat sayısının arttığı durumunda taban kesme kuvvetlerinde de daha fazla artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, TBDY-2018'e göre analizi yapılan modellerin taban kesme kuvvetlerinde meydana gelen artış oranlarının, DBYBHY-2007'ye göre analizi yapılan modellerin taban kesme kuvvetlerinde meydana gelen artış oranlarından daha fazla çıktığı sonucuna da ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** DBYBHY- 2007, Taban Kesme Kuvvetleri, Mod Birleştirme Yöntemi

**Abstract:** In the process from the past to the present, the design of earthquake-resistant structures in the world and our country has been a very delicate and important issue. Developing technologies and scientific studies have always been conducted to provide better earthquake-resistant designs, and they have required the relevant regulations to be updated in certain periods. In our country, the Turkish Seismic Code (DBYBHY, 2007) was released in 2007, and some issues in the code could not be addressed comprehensively. Therefore, many more issues were addressed comprehensively in the Turkish Building Seismic Code (TBDY-2018), which was released as a draft in 2016 and entered into force as of January 1, 2019. In this study, two different coordinates belonging to Izmir and Samsun provinces were selected, and the structural analyses of 8-storey and 12-storey reinforced concrete building models designed in these coordinates based on four different ground conditions were included. The earthquake analyses of the building models were calculated based on the Mode Superposition Method using the STA4CAD software. These analyses were performed separately according to TBDY-2018 and DBYBHY- 2007, and the base shear

force results were compared with each other. Furthermore, the changes in the base shear forces in case of changes in the number of floors and earthquake risk were also analyzed in the comparisons. In conclusion, in both codes, it was observed that the base shear forces of the models of Izmir province increased compared to the base shear forces of the models of Samsun province. Moreover, it was observed that there was a further increase in base shear forces in case of an increase in the number of floors in the models. Furthermore, it was also concluded that the rates of increase in the base shear forces of the models analyzed according to TBDY-2018 were higher than the rates of increase in the base shear forces of the models analyzed according to DBYBHY-2007.

**Keywords:** DBYBHY- 2007, Base Shear Forces, Mode Combination Method

## 1.Giriş

Dünyanın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de deprem oldukça önemli bir konudur. Deprem yönetmelikleri ile depremin yıkıcı etkilerine karşı izlenmesi gereken adımlar aktarılmaya çalışılmaktadır. Gelişen teknoloji ve ortaya çıkan yeni ihtiyaçlarla birlikte, ülkemizdeki DBYBHY-2007 yürürlükten kaldırılarak, 1/1/2019 tarihinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) yürürlüğe girmiştir. Deprem yönetmeliklerinde DBYBHY-2007’de tek tasarım deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmasına karşılık; TBDY-2018’deki deprem yönetmeliğinde deprem yer hareketi dört farklı düzeyde (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) tanımlanmıştır [1]. TBDY-2018 deprem yönetmeliğinde belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyine ait deprem verilerine Deprem Tehlike Haritası (TDTH-2018) üzerinden ulaşılmaktadır. TBDY-2018 deprem yönetmeliğindeki farklılıklar gibi, 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ (TDTH-2018) nda da önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklardan biri, deprem bölgesi kavramının kaldırılarak deprem tehlikesini bölge bazında ve sabit bir büyüklük yerine pratik olarak her lokasyonda ayrı ayrı tanımlanabilir hale getirilmesidir. Ayrıca, TDTH-2018’den alınan veriler ışığında yapılan analizlerde daha gerçekçi ivmeler elde edilerek daha hassas sonuçlara ulaşılabiliyor olunması TBDY-2018’in göze çarpan önemli yeniliklerinden bir tanesi de olmaktadır [2].

Deprem etkisinde tasarımlar, dayanıma ve şekil değiştirmeye göre iki şekilde yapılmaktadır. DBDY-2007’ de tasarımlar, sadece mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi durumlarında şekil değiştirmeye göre tasarımlar yapılmaktadır. Ancak, TBDY-2018’de tasarımlarda mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi durumlarına ek olarak yüksek binaların ve deprem yalıtımlı binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde şekil değiştirmeye göre tasarımlar yapıldığı görülmüştür. Şekil değiştirmeye göre tasarım yönteminde doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılırken; dayanıma göre tasarım yönteminde doğrusal hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Yapıların dayanıma göre tasarımı kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemleri; Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Toplama Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi olmak üzere üç yöntemdir. Doğrusal hesap yöntemlerinden Mod Toplama ve Mod Birleştirme Yöntemleri, Modal Hesap yöntemleri olarak adlandırılmakta ve bu yöntemler tüm yapıların deprem hesabında kullanılabilir [3]. Mod Birleştirme Yöntemi’nde, verilen bir deprem doğrultusunda, deprem tasarım spektrumu’ndan yararlanarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda, davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri hesaplanmaktadır. Bu yöntem ile, yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan, ancak eş zamanı olmayan en büyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri elde edilebilmektedir [4].

Bilindiği gibi, bir yapının projelendirilmesinde taban kesme kuvvetleri önemli bir etkiye sahiptir. Öztürk (2018) tarafından yapılan çalışmada, TBDY-2018 ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile İç

Anadolu Bölgesi'ndeki 4 ilde değerlendirmelerde bulunarak; bu illerdeki değerlendirmelerini DBYBHY-2007'nin koşullarına göre farklı zemin sınıfları ve periyot değerlerine göre karşılaştırmış ve sonucunda yeni yönetmelikte oldukça köklü değişikliklerin meydana geldiği bilgilerine ulaşılmıştır [5]. Yapılacak bu çalışmada da, TBDY-2018 deprem yönetmeliğindeki bina tasarım esaslarında yapılan yeniliklere göre, seçilen 2 farklı koordinatın taban kesme kuvvetlerinde ne gibi değişiklikler olabileceği ve ilgili koordinatlardaki deprem riski ve kat sayısı farklılığının sonuçları ne şekilde etkileyebileceği araştırılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

Bu çalışmada, Samsun il sınırlarında bulunan 41,338348 enlem ve 36,263455 boylam değeri ile İzmir il sınırlarında bulunan 38,605627 enlem ve 27,087501 boylam değerlerine sahip 2 farklı koordinat seçilmiştir. X doğrultusunda 3 açıklıklı ve y doğrultusunda 4 açıklıklı betonarme bina referans çerçeve modeli kullanılmıştır. Aks aralıkları, x doğrultusunda 5 m ve 6 m; y doğrultusunda ise 5 m ve 4 m olmak üzere her iki doğrultuda da simetrik olacak şekilde akslar yerleştirilmiştir. Kat yükseklikleri ise 3,00 m olarak alınmıştır. Seçilen beton sınıfı C30 (karakteristik basınç dayanımı  $f_{ck} = 30$  MPa), beton elastisite modülü  $E_c = 32000$  MPa ve çelik minimum akma dayanımı  $f_{yk} = 420$  MPa ( $4200 \text{ kg/cm}^2$ )'dir. Tasarımlar DBYBHY-2007, TBDY-2018, TS500 ve TS498'e uygun olarak yapılmıştır.

TBDY-2018'e göre yapılacak çözümlenmelerde belirtilen koordinatlara ait DD2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_S$  değerlerine ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$  değerlerine Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'nın hazırlanmış olduğu <https://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden ulaşılarak analizler gerçekleştirilmiştir [6].

DBYBHY-2007'de Z1, Z2, Z3 ve Z4 olan 4 yerel zemin sınıfı sayısı, TBDY-2018'de ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE olarak 6 yerel zemin sınıfı sayısına çıkarılmıştır. Çalışma kapsamında da birbirine en yakın zemin sınıfları olarak Z1 ile ZA, Z2 ile ZB, Z3 ile ZC ve Z4 ile ZE ikilileri kabul edilerek, bu ikililer arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın yapısal çözümlenmelerinde, Sta4cad paket programı ile Dayanım Göre Tasarımda kullanılacak olan Doğrusal Hesap Yöntemlerinden biri olan Modal Analiz (Mod Birleştirme Yöntemi) kullanılmıştır.

### **2.1. DBYBHY-2007 tasarımları için belirlenen bazı katsayılar**

Bu başlıkta DBYBHY-2007 tasarımlarında kullanılacak olan Etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0$ , Spektrum katsayısı  $S(T)$ , Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), Deprem Yükü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$ , Bina Önem Katsayısı (I) ve Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) gibi bazı katsayıların üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada, elastik deprem yüklerinin belirlenmesinde Spektral İvme Katsayısı  $A(T)$  kullanılmıştır (Denklemler 2.1.1).  $S_{ae}(T)$  ise; % 5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatıdır ve Spektral İvme Katsayısı  $A(T)$  ile yerçekimi ivmesi  $g$ 'nin çarpımına karşı gelmektedir [7].

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T)g \quad (\text{Denklem 2.1.1})$$

Spektrum katsayısı  $S(T)$ ; yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T$ 'ye bağlı olarak Denklem 2.1.2'de belirtilmektedir [7].

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1,5 \frac{T}{T_A} & 0 \leq T \leq T_A \\ S(T) &= 2.5 & T_A \leq T \leq T_B \\ S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} & T_B \leq T \end{aligned} \quad (\text{Denklem 2.1.2})$$

Deprem bölgesine göre farklı değerler alan Etkin yer ivmesi katsayısı  $A_0$ ; İzmir ilinin 1. Deprem Bölgesinde yer almasından dolayı 0,40 alınırken; Samsun ilinin 2. Deprem Bölgesinde yer almasından dolayı 0,30 olarak alınmıştır. Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıflarına ait Spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$ ,  $T_B$ ) DBYBHY-2007'den temin edilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ), tasarımların deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşıdığı yerinde dökme betonarme binalar olması sebebiyle  $R=8$  olarak alınmıştır. Yapının Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$ ; Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R$ 'ye ve Doğal Titreşim Periyodu  $T$ 'ye bağlı olarak Denklem 2.1.3 ve Denklem 2.1.4 ile belirtilmiştir [7].

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (\text{Denklem 2.1.3})$$

$$R_a(T) = R \quad T_A \leq T \quad (\text{Denklem 2.1.4})$$

DBYBHY-2007'ye göre yapısal çözümlemesi yapılan tüm modellere ait  $R_a(T)$  değeri ise 8 olarak hesaplanmıştır. Bina kullanım amacının konut olması sebebiyle Bina Önem Katsayısı ( $I$ )=1.0 ve Hareketli Yük Katılım Katsayısı ( $n$ ) değeri de 0,30 olarak alınmıştır.

## 2.2. TBDY-2018 tasarımları için belirlenen bazı katsayılar

Bu başlıkta TBDY-2018 tasarımlarında kullanılacak olan Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri  $S_{ae}(T)$ , Deprem Tasarım Sınıfı (DTS), Bina Yükseklik Sınıfı (BYS), Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$ ), Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$ , Bina Kullanım Sınıfı (BKS), Bina Önem Katsayısı ( $I$ ) ve Hareketli Yük Katılım Katsayısı ( $n$ ) gibi bazı katsayıların üzerinde durulmuştur.

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun ordinatları olan Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri  $S_{ae}(T)$ ; Doğal Titreşim Periyodu'na bağlı olarak yerçekimi ivmesi ( $g$ ) cinsinden Denklem 2.2.1'de tanımlanmıştır [4].

$$\begin{aligned} S_{ae}(T) &= 0.4 + 0,6 \frac{T}{T_A} & 0 \leq T \leq T_A \\ S_{ae}(T) &= S_{DS} & T_A \leq T \leq T_B \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & T_B \leq T \leq T_L \\ S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}T_L}{T^2} & T_L \leq T \end{aligned} \quad (\text{Denklem 2.2.1})$$

Denklem 2.2.1'de yer alan  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ , Tasarım Spektral İvme Katsayıları'nı ve  $T$  Doğal Titreşim

Periyodu'nu göstermektedir.  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  Tasarım Spektral İvme Katsayıları, Harita Spektral İvme Katsayıları  $S_S$  ve  $S_1$ 'e ve Yerel Zemin Etki Katsayıları  $F_S$  ve  $F_1$ 'e bağlı olarak Denklem 2.2.2'de tanımlanmıştır [4].

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (\text{Denklem 2.2.2})$$

Denklem 2.2.3'de Yatay Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları olan  $T_A$  ve  $T_B$ ;  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  katsayılarına bağlı olarak tanımlanmıştır. Burada,  $s$  Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L=6s$  olarak alınmıştır [4].

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (\text{Denklem 2.2.3})$$

Samsun ili ve İzmir ili örneklerinden yola çıkılarak hazırlanan bu çalışmada, BKS ve  $S_{DS}$  değerlerine bağlı olarak belirlenen Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) bilgileri Tablo 2.2.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.1** Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) bilgileri

	Samsun	İzmir
ZA	3	1
ZB	3	1
ZC	2	1
ZE	1	1

Tablo 2.2.1'de, Samsun ilinde ZA ve ZB zeminleri için Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)=3, ZC zemini için DTS=2 ve Z4 zemini için DTS=1 olarak belirlenirken; İzmir iline ait bütün zeminlerde Deprem Tasarım Sınıfı Değerleri DTS=1 olarak belirlenmiştir.

Ayrıca, DTS ve bina yüksekliği değerlerine bağlı olarak belirlenen Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) bilgileri de Tablo 2.2.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.2** Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) bilgileri

	Samsun 8 kat	İzmir 8 kat	Samsun 12 kat	İzmir 12 kat
ZA	6	5	5	4
ZB	6	5	5	4
ZC	5	5	4	4
ZE	5	5	4	4

Tablo 2.2.2'de, İzmir 8 katlı modellerde  $BYS=5$ , İzmir 12 katlı modellerde  $BYS=4$  olarak belirlenmiştir. Yine, Samsun 8 katlı ZA ve ZB modellerinde  $BYS=6$  ile ZC ve ZE modellerinde  $BYS=5$  olarak belirlenirken, Samsun 12 katlı modellerde ZA ve ZB modellerinde  $BYS=5$ , ZC ve ZE modellerinde ise  $BYS=4$  olarak belirlenmiştir.

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$ ; Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)'na, Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)'na ve Bina Önem Katsayısı (I)'na bağlı olarak Denklem 2.2.4a ve 2.2.4b'de tanımlanmıştır [4].

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T \geq T_B \quad (\text{Denklem 2.2.4a})$$

$$R_a(T) = D + \left( \frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (\text{Denklem 2.2.4b})$$

T; sistemin Doğal Titreşim Periyodu'nu ve  $T_B$  Denklem 2.2.3'de tanımlanan Spektrum Köşe Periyodunu göstermektedir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), tasarımların deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı yerinde dökme betonarme bina olması ve izin verilen bina yükseklik sınıfının  $BYS \geq 3$  şartının sağlanması sebebiyle  $R=8$  olarak alınmıştır. Bu durumda Dayanım Fazlalığı Katsayısı da (D)=3 olarak belirlenmiştir. TBDY-2018'e göre yapısal çözümlemesi yapılan tüm modellere ait  $R_a(T)$  değeri ise 8 olarak hesaplanmıştır. Bina kullanım amacının konut olması sebebiyle Bina Önem Katsayısı (I)=1.0, Bina Kullanım Sınıfı BKS=3 ve Hareketli yük katılım katsayısı(n) değeri 0,30 olarak alınmıştır.

Yatay doğrultuda azaltılmış deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak azaltılmış tasarım ivme spektrumunun belirli bir T doğal titreşim periyodu için ordinatı olan azaltılmış tasarım spektral ivmesi  $S_{aR}(T)$ , Denklem 2.2.5'te verilmiştir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (\text{Denklem 2.2.5})$$

### **2.3. DBYBHY-2007'ye göre bazı tasarım formülleri**

Denklem 2.3.1'de binanın deprem doğrultusunda hakim doğal periyodunun maksimum değeri tanımlanmıştır [7].

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (\text{Denklem 2.3.1})$$

Denklemden  $F_i$ : i. kata etkiyen fiktif yük; N: binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı;  $m_i$ : binanın i. katının kütlesi ve  $d_{fi}$ : binanın i. katında  $F_i$  fiktif yüklerine göre hesaplanan yer değiştirmeyi simgelemektedir [7].

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)  $V_{tB}$ 'nin hesabı, her mod için ayrı ayrı deprem yükünün bulunarak istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilmektedir. [7] Tek modlu yapılarda (eşdeğer deprem yükü yönteminde) deprem yükü (taban kesme kuvveti)  $V_t$ 'nin bulunması Denklem 2.3.2'de verilmiştir.

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.1 A_0 I W \quad (\text{Denklem 2.3.2})$$

W, binanın toplam ağırlığını;  $A(T_1)$ , birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme katsayısını;  $R_a(T_1)$ , deprem yükü azaltma katsayısını;  $A_0$ , etkin yer ivme katsayısını ve I, bina önem katsayısını göstermektedir [7].

### **2.4. TBDY-2018'e göre bazı tasarım formülleri**

Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu ifade eden  $T_p^X$ , daha kesin bir hesap yapılmadıkça, Denklem 2.4.1 ile hesaplanacaktır [4].

$$T_p^x = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(x)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(x)} d_{fi}^{(x)}} \right)^{1/2} \quad (\text{Denklem 2.4.1})$$

Denklemden  $F_i^{(X)}$  i. kata etkiyen fiktif yükü,  $N$  binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısını,  $m_i$  binanın  $i$ . katının kütlesi,  $d_{fi}^{(X)}$   $X$  deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında  $i$ . kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yer değiştirmeyi simgelemektedir [4].

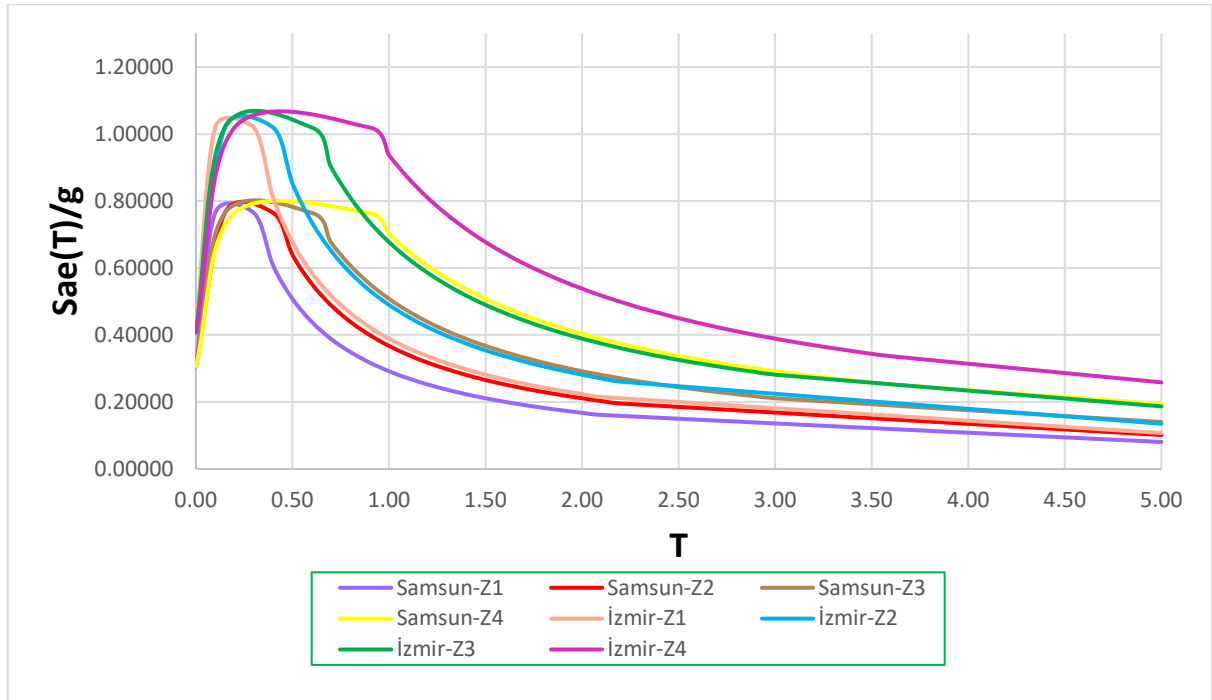
Bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)  $V_{Te}^{(X)}$ 'nin bulunması Denklem 2.4.2'de verilmiştir.

$$V_t = m_t S_{aR}(T_p^{(x)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (\text{Denklem 2.4.2})$$

Denklemden  $S_{aR}(T_p^{(x)})$ , göz önüne alınan  $(x)$  deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu  $T_p^{(x)}$  göz önüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermektedir.  $S_{DS}$  ise kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı olup  $m_t$  binanın toplam kütlesi,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $I$  bina önem katsayısıdır [4].

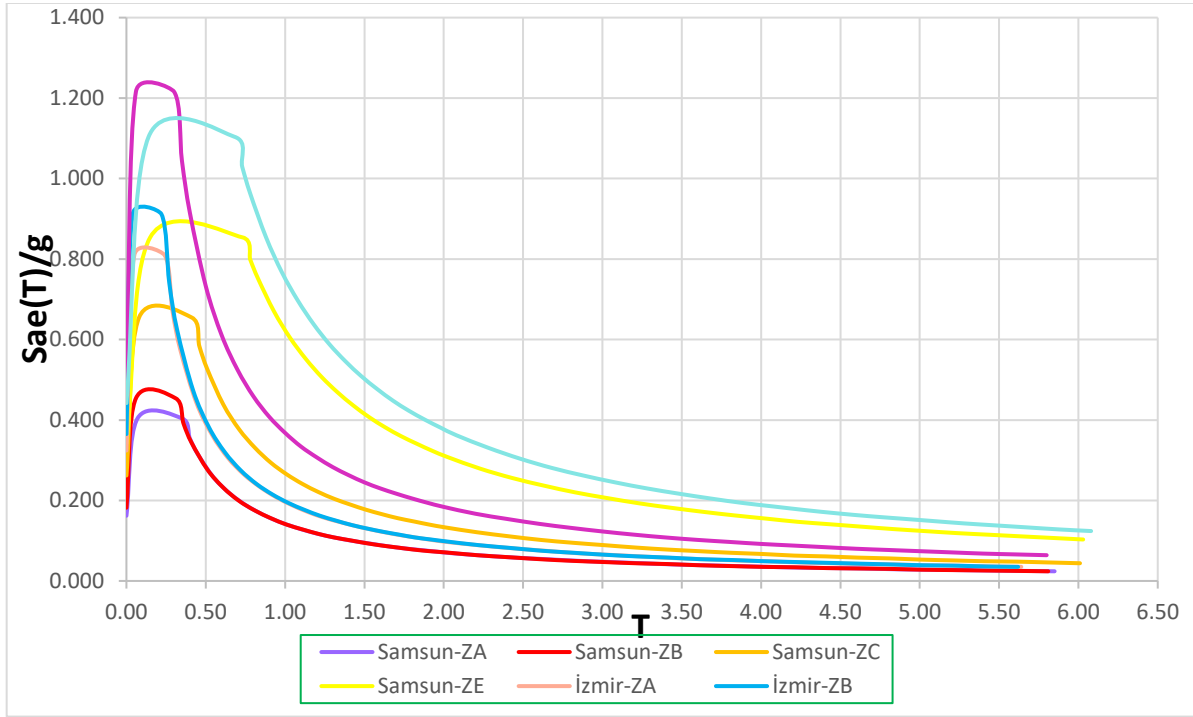
### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında ele alınan 4 zemin sınıfı ve 2 farklı koordinat için deprem yönetmeliklerine göre değişen spektrum eğrileri Şekil.3.1 ve Şekil.3.2'deki gibi gösterilmiştir.



Şekil.3.1 DBYBHY-2007'de Samsun ve İzmir illerinde zemin sınıflarına göre değişen spektrum eğrileri





Şekil.3.2 TBDY-2018’de Samsun ve İzmir illerinde zemin sınıflarına göre değişen spektrum eğrileri

Mod süperpozyonu ile yapılan dinamik analizlerde tasarımlara ait doğal titreşim periyot süreleri (T) (1.mod)’ nin her iki yönetmeliğe göre değerleri Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** DBYBHY-2007’ye göre tasarlanan modellerin doğal titreşim periyotları (1.mod) (s)

	Samsun 8 kat	İzmir 8 kat	Samsun 12 kat	İzmir 12 kat
Z1	1,018	1,018	1,513	1,513
Z2	1,021	1,021	1,517	1,517
Z3	1,035	1,035	1,534	1,516
Z4	1,016	0,981	1,493	1,386

**Tablo 3.2.** TBDY-2018’e göre tasarlanan modellerin doğal titreşim periyotları (1.mod) (s)

	Samsun 8 kat	İzmir 8 kat	Samsun 12 kat	İzmir 12 kat
ZA	1,492	1,492	2,218	2,185
ZB	1,495	1,495	2,216	2,123
ZC	1,510	1,503	2,231	1,913
ZE	1,318	1,002	1,897	1,409

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’ye göre; TBDY-2018’de ölçülen periyot süreleri, DBYBHY-2007’ye göre çözülen periyot sürelerinden daha fazla çıkmıştır. Bu durum, TBDY-2018’de çatlamış kesit atalet momentleri kullanılmasından ileri gelmektedir. Ayrıca, bu durum sistem rijitliğinin azalmasına bağlı olarak periyot sürelerinin artmasına da sebebiyet vermektedir.

Bu çalışmada, bina toplam ağırlıkları olabildiğince birbirine eşit tutulmaya çalışılarak karşılaştırmaların daha sağlıklı yapılması amaçlanmıştır. Ancak, zemin sınıfının kötüleşmesi gibi sistemin zorlandığı durumlarda taşıyıcı sistem üzerinde değişikliğe gidilmeden kesitler minimum oranda artırılarak ve yönetmeliğin diğer bütün şartları sağlanarak modellemeler tamamlanmıştır.

Bina toplam ağırlıklarının her iki yönetmeliğe göre değerlendirilmesi ile ilgili bilgiler, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.3.** DBYBHY-2007'ye göre tasarlanan modellerin toplam ağırlıkları (kN)

	Samsun 8 kat	İzmir 8 kat	Samsun 12 kat	İzmir 12 kat
Z1	22333,32	22333,32	34032,24	34032,24
Z2	22333,32	22333,32	34032,24	34032,24
Z3	22333,32	22333,32	34032,24	34203,02
Z4	22426,57	22619,88	34292,16	34748,05

**Tablo 3.4.** TBDY-2018'e göre tasarlanan modellerin toplam ağırlıkları (kN)

	Samsun 8 kat	İzmir 8 kat	Samsun 12 kat	İzmir 12 kat
ZA	22333,32	22333,32	34218,01	34456,07
ZB	22333,32	22333,32	34306,25	34618,77
ZC	22333,32	22393,43	34446,55	35694,39
ZE	23115,35	25102,29	37290,91	39314,28

Tablo 3.1 , Tablo 3.2 , Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te görüldüğü gibi periyot sürelerinin yapı rijitliği ve zemin koşullarından etkilendiği fark edilmiştir. Periyot süresinin yapı rijitliği ile ters orantılı olması sebebiyle, zemin sınıfının kötüleşmesi durumunda periyot sürelerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak, zemin sınıfının kötüleştiği bazı modellerde arttırılan bina toplam ağırlığının da, yapıyı rijitleştirdiği gözlemlenmiş ve bu nedenle kendinden daha iyi zemin koşullarına sahip modellerin periyot sürelerinden daha az bir periyot süresine sahip olmalarına sebebiyet vermiştir.

Görüldüğü gibi, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e göre yapısal çözümlemesi yapılan tüm modellerin deprem yükü azaltma katsayıları eşit çıkmıştır. Ayrıca, Taban kesme kuvveti ( $V_t$ )'nin bina toplam ağırlığı ve spektral ivmeyle doğru orantılı olduğu düşünülürse (Denklem 2.3.2 ve Denklem 2.4.2); taban kesme kuvvetlerindeki farklılıkların hem Şekil.1 ve Şekil.2'deki spektrum eğrilerine bakılarak, hem de Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'deki bina toplam ağırlıklarına bakılarak yorumlanabileceği fark edilmiştir.

Yapısal çözümlemesi yapılan modellere etkiyen taban kesme kuvvetlerine yönelik bilgiler; Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de belirtilmiştir. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 'da DBYBHY- 2007 yönetmeliğine göre karşılaştırmalarda bulunulmuştur. Bu karşılaştırmalara göre; İzmir 8 katlı modellerin taban kesme kuvvetleri, Samsun 8 katlı modellerin taban kesme kuvvetlerine göre ortalama % 34,9 oranında artış gösterirken (Tablo 3.5); İzmir 12 katlı modellerin taban kesme kuvvetleri, Samsun 12 katlı modellerin taban kesme kuvvetlerine göre ortalama % 37,3 oranında artış gösterdiği sonucuna varılmıştır(Tablo 3.6).

**Tablo 3.5.** DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan 8 katlı modellerin x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri (kN)

	Samsun 8 Kat		İzmir 8 Kat	
	$V_t(x)$	$V_t(y)$	$V_t(x)$	$V_t(y)$
Z1	80,42	80,46	107,23	107,01
Z2	101,00	100,79	134,67	134,38
Z3	138,07	137,99	184,09	183,98
Z4	195,64	194,45	276,37	269,09

**Tablo 3.6.** DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan 12 katlı modellerin x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri (kN)

	Samsun 12 Kat		İzmir 12 Kat	
	$V_t(x)$	$V_t(y)$	$V_t(x)$	$V_t(y)$

Z1	104,07	104,07	138,77	138,77
Z2	114,17	111,94	152,23	149,25
Z3	155,95	153,51	216,48	207,54
Z4	225,88	218,56	334,95	313,38

Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de ise, TBDY-2018 yönetmeliğine göre karşılaştırmalarda bulunulmuştur. Bu karşılaştırmalara göre; İzmir 8 katlı modellerin taban kesme kuvvetleri, Samsun 8 katlı modellerin taban kesme kuvvetlerine göre ortalama % 89,4 oranında artış gösterirken (Tablo 3.7); İzmir 12 katlı modellerin taban kesme kuvvetleri, Samsun 12 katlı modellerin taban kesme kuvvetlerine göre ortalama % 92 oranında artış gösterdiği sonucuna varılmıştır (Tablo 3.8).

**Tablo 3.7.** TBDY-2018’e göre hesaplanan 8 katlı modellerin x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri (kN)

	Samsun 8 Kat		İzmir 8 Kat	
	$V_t(x)$	$V_t(y)$	$V_t(x)$	$V_t(y)$
ZA	36,79	36,79	73,76	73,76
ZB	41,34	41,34	83,05	83,05
ZC	59,65	59,65	111,03	111,03
ZE	123,44	130,14	208,83	222,83

**Tablo 3.8.** TBDY-2018’e göre hesaplanan 12 katlı modellerin x ve y yönündeki taban kesme kuvvetleri (kN)

	Samsun 12 Kat		İzmir 12 Kat	
	$V_t(x)$	$V_t(y)$	$V_t(x)$	$V_t(y)$
ZA	56,37	56,37	113,80	113,80
ZB	63,51	63,51	128,74	128,74
ZC	92,00	92,00	176,98	176,98
ZE	140,74	152,56	238,61	263,48

#### 4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışma sonucunda; her iki deprem yönetmeliğinde de deprem riskinin daha çok olduğu İzmir’e ait modellerde hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin aynı kat sayısına sahip Samsun’a ait modellerde hesaplanan taban kesme kuvvetlerine göre artış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca her iki yönetmelikte de aynı ile ait 12 katlı modellerde hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin 8 katlı modellere göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerine göre de artış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Taban kesme kuvvetlerinde meydana gelen bu artışlar oransal olarak değerlendirildiğinde, TBDY-2018’deki artış oranlarının DBYBHY-2007’deki artış oranlarından daha fazla çıktığı görülmüştür. Bu durumun TBDY-2018 ile çözümlenen modellerin DBYBHY-2007’ye göre çözümlenen modellere göre daha fazla kütle artırımına gidilmek zorunda kalınmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir.

Her iki yönetmelikteki sonuçlar tasarlanan modellere göre irdelendiğinde, TBDY-2018’in DBYBHY-2007’ye göre daha güvenli tarafta kaldığı, özellikle zemin sınıfının kötüleştiği ve deprem riskinin arttığı koordinatlarda TBDY-2018’in daha da açıklayıcı ve belirgin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



## REFERENCES

- [1] TBDY, “Eğitim Sunumları”, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2018.
- [2] TBDY, “Eğitim El Kitabı”, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2018.
- [3] Adem Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, 16.Baskı, İstanbul, 2019.
- [4] TBDY, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [5] Murat Öztürk, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme”, *Selçuk Teknik Dergisi*, 17 (2): ss: 31-42, 2018.
- [6] AFAD, “Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı”, (<https://tdth.afad.gov.tr/>), 2018.
- [7] DBYBHY, “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2007.



## A Method for Determination of the Dimensions of Seismic Shear-Walls in Buildings According to TNC 2018

Turgut Öztürk<sup>1</sup>, Ahmet Yıldırım<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, 0.212.285 3842, ozturkturg@itu.edu.tr

<sup>2</sup>Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, ahmet.yildirimoglu@hotmail.com

**Abstract:** A lateral load carrying system consisting of only shear-walls is used generally for structures having 14 storeys or more. It can be seen that the effect of earthquakes in the systems consisting of the shear walls or shear walls-core are very small. For resisting earthquake effects it is proposed to construct shear-walls which are perpendicular to each other in plan and having the cross sectional area 1.5% of the building. Unfortunately in this proposal, the effect of number of storeys and the division of shear-wall area to the necessary parts is not taken into consideration. In this paper, these factors are considered as, number of storeys, plan area of a storey, earthquake risk zone, material properties, shear wall thickness. The criteria for determination of the dimensions of earthquake shear-walls which are suitable for architectural considerations of the building are given. For various storey areas and 10 storeys, the lengths of shear-walls which ensure the suggested criteria, having the same length are given in diagrams. It is also shown how to find the length of shear-walls under the same conditions if there are more than 10 storeys.

**Keywords:** Seismic Shear-Walls, TNC 2018, earthquakes

### 1. Introduction

In our country, it is preferred to build structures both under horizontal and vertical loadings by the use of frame systems, till 6 storeys in the first earthquake risk zone and 7 storeys in the second earthquake risk zone. In frame systems, because of the reasons of more storeys, greater cross-section areas for beams and columns especially at the lower storeys or large relative displacements between the storeys lead to build the frame structure with shear-walls. The obligation of using lifts in buildings having 6 storeys or more leads a lift-house in the means of core. A lateral load carrying system consisting of only shear-walls is used generally for structures having 14 storeys or more (ATC22, 1989; Celep-Kumbasar, 2004; Özden-Kumbasar, 1993; Paulay-Priestley, 1992; Tarenath, 1988; Wakabayashi, 1988). But in these systems, for limiting the thickness of the slabs, some of the vertical loads can be transferred to foundations by the use of columns which do not carry horizontal loads if needed. From the observations made in the earthquake regions after an earthquake event, large damages can be seen in frame system structures having 4-8 storeys, frame-shear wall (+ core) system structures having 7-13 storeys. In this subject can be examined (Fintel, 1991).

The main reasons of the earthquake damages are not applying the codes in the design and construction of the structures such as; a) not obeying the constructive rules for reinforcement lay-out in beam-column or beam-shear wall joints (such as development length, stirrups, etc.), and less shear capacity than bending capacity in these zones, b) the occurrence of plastic hinges on columns before beams, c) neglecting of the torsional effects in calculations, d) unassured ductile system, e) structural

irregularities, f) less concrete strength usage than design strength, g) not taking into account of foundation soil properties while calculating the earthquake forces, h) unsuitable foundation system.

It can be seen that the effects of earthquakes in the systems consisting of the shear walls or shear walls-core are very small. This is confirmed in a detailed manner by Fintel and although the behaviour of systems consisting of shear walls having diagonal cracks after an earthquake have some points which are necessary to investigate, these systems are the best solutions for earthquake resistance (Altın, 1989; Fintel, 1991). This property of shear-walls is also seen by Ersoy and proposed to construct shear-walls which are perpendicular to each other in plan and having the cross sectional area 1.5% with respect to building area for earthquake effects (Ersoy, 1993). Unfortunately, in this proposal, the effect of number of storeys and the division of shear-wall area to the necessary parts is not taken into consideration.

In this paper, these factors are considered as; a) number of storeys, b) plan area of a storey, c) earthquake risk zone, d) material properties, e) selected shear wall thickness, f) the criteria for determination of the dimensions of earthquake shear-walls. Constructed buildings having different storey areas and storey weights are considered and by the use of TS498 and TNC, 2018, the average weight for percent area is determined for single storey. Then, the total shear force, the overturning moment, the minimum and maximum values of axial forces of the shear-walls at the basement and the top force  $V_t$  are calculated for the buildings having number of storeys from 5 to 18 and  $A_p$  from 400 m<sup>2</sup> to 800 m<sup>2</sup>. The criteria for determination of the dimensions of earthquake shear-walls which are suitable for architectural configurations of the building are given. For storey areas  $A_p$ , from 400 m<sup>2</sup> to 800 m<sup>2</sup> and number of storeys  $N=10$ , the lengths of shear-walls are given which ensure the criteria, having the number of shear-walls  $n_b=3-8$  with the same length in part 4. It is also shown how to find the length of shear-walls under the same conditions if there are more than 10 storeys (Fig. 1 and Fig.2). Numerical examples are given and the results are listed in conclusion part.

## **2. Average Vertical and Horizontal Loads**

Observations made on the constructed buildings having various storey heights, storey areas and usage (such as houses, offices) show that the average uniform vertical load of a storey can be accepted as  $m=12$  kN/m<sup>2</sup>. In the present paper, the behaviour of the slabs of structures made of shear-walls is taken as flat-slabs with the thickness of 200 mm. The total weight of the building over the foundation can be evaluated as

$$W=Nm A_p \quad (1)$$

where  $N$  is the number of storeys and  $A_p$  is the storey area. The total vertical force summation of the shear-walls  $W_p$  above the foundations is about 50, 75 and 100% of the total building weight  $W$ . Different values of percentage is taken into account for shear-wall system and for shear wall-frame system, separately, like;

$$W_p=0.75W=0.90NA_p \quad , \quad W_p=1.00W=1.20NA_p \quad (2)$$

$$W_p=0.50W=0.60NA_p \quad , \quad W_p=0.75W=0.90NA_p \quad (3)$$

The calculation of the horizontal loads is made according to TNC, 2018. Total shear force just above the foundation  $V_{tE}^{(X)}$  can be written together with Eq. (2).

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DSg} \quad , \quad T_p^{(X)} \cong T_{PA} = C_t H_N^{3/4} \quad (4)$$

In this calculations; I-Building importance factor (1.00),  $C_t=0.1$  (for frame systems),  $C_t=0.07$  (for other systems),  $T_{PA}$ -Empirically calculated dominant natural vibration period,  $T_p^{(X)}$ -Dominant natural vibration period of building (for x direction),  $S_{aR}(T_p^{(X)})$ - Reduced design spectral acceleration and  $S_{aR}(T)=S_{ae}(T)/R_a(T)$ .  $R_a(T)$ -Seismic load reduction factor and structural behaviour factor R are taken as 6 for shear-wall system.  $S_{DS}$ - Short period design spectral acceleration coefficient,  $m_t$ -Total mass of building,

Accepting a triangular variation for  $V_t$  along the height of the building  $H_N$ ,  $W_n$  can be written as  $W_n=2V_t/H_N=2V_t/(Nh)$  at the top. Here, h is the storey height. In this study, storey height is assumed as 3.00m. The overturning moment  $M_T$  and the shear force  $V_T$  at the base of the building are;

$$M_T=(2/3)H_N V_t \quad (5)$$

### 3. The Criteria for Shear-Wall Determination

The suggested criteria for determination of the dimensions of earthquake shear-walls are listed in the following (TS500, TNC 2018).

1) The compression depth of the shear-walls at the base with high ductility should be

$$k_x=x/d= \varepsilon_{cu} /(\varepsilon_{cu}+\varepsilon_s) \leq 0.423 \quad (6)$$

Under this condition  $\varepsilon_s$  is,

$$\varepsilon_s \geq 0.0041 \quad (7)$$

which is 2.05 multiple of  $\varepsilon_{ys}$  for  $f_{yk}=420 \text{ N/mm}^2$  (Celep-Kumbasar, 2005; TS500, 2000; NBC, 1985). The structure behaviour coefficient should be estimated according to the situation if the ductility is not increased.

2) The ratio of the total area of vertical reinforcement at each wall end zone to the gross wall cross section area shall not be less than 0.001. However this ratio shall be increased to 0.002 along the critical wall height. The reason for this criteria is to assure a suitable concreting and is existing of the fifth criteria.

$$\rho \leq 0.002 \text{ (along the critical wall height)} \quad (8)$$

3) The relative storey displacement  $\Delta_i^{(X)}$  is

$$\Delta_i^{(X)}=u_i^{(X)}-u_{i-1}^{(X)} \quad (9)$$

where  $u_i$  is the displacement of i-th floor and  $h_i$  is the storey height. According to this, effective relative storey drift of the x - direction;

$$\delta_i^{(X)} = R/\Delta_i^{(X)}$$

$$\lambda \delta_{i,\max}^{(X)} / h_i \leq 0.008 \kappa \quad (\text{completely adjacent}) \quad (10)$$

$$\lambda \delta_{i,\max}^{(X)} / h_i \leq 0.016 \kappa \quad (\text{flexible joints, flexible connections or single})$$

This criteria supplies the second order effects to be negligible.

4) It is necessary to ensure a sufficient shear force capacity of the shear-walls so that there should not be any diagonal cracks in shear-walls at the ultimate state. This criteria assures, if the smaller principal concrete stress is negative on the centre of gravity of the shear-wall above the basement, then the absolute value of this should be smaller than a proper value (TS9967, 1992). With the axial stress  $\sigma_c$  caused by vertical loads and the shear stress  $\tau_c$  caused by shear forces in the center of gravity of the shear-wall, the small principal stress  $\sigma_1$  is known to be

$$\sigma_1 = (\sigma_c / 2) - \sqrt{(\sigma_c / 2)^2 + \tau_c^2} \quad (11)$$

If  $\sigma_1$  is negative, then the criteria can be expressed as  $|\sigma_1| \leq \sigma_1^*$ , where  $\sigma_1^* = 0.043f_{ck}$  and  $f_{ck}$  is the characteristic compressive strength of the concrete. An  $i$ . shear-wall's shear force  $V_{Ti}$  above the foundation and the axial force  $N_{Ti}$  caused by vertical loads with the shear-wall width  $b_i$  and length  $l_{Ti}$  then with the stresses  $\sigma_{ci} = N_{Ti} / b_i l_{Ti}$  and  $\tau_{ci} = V_{Ti} / b_i l_{Ti}$ . Eq. (11), for  $\sigma_1$  being negative, the absolute value can be written as,

$$|\sigma_1| = \left| (1/2b_i l_{Ti})(N_{Ti} - \sqrt{N_{Ti}^2 + 4V_{Ti}^2}) \right| \leq \sigma_1^* \quad (12)$$

By using these equations, the shear-wall lengths which satisfy the criteria can be obtained. For  $C = A(T_1) / R_a(T_1)$

$$\begin{aligned} l_{Ti} &= [2.85 N A_p (1 - \sqrt{1 + 16C^2})] / (b \sigma_1^*) && \text{for } N_T = 0.50W \\ l_{Ti} &= [4.28 N A_p (1 - \sqrt{1 + 7.11C^2})] / (b \sigma_1^*) && \text{for } N_T = 0.75W \\ l_{Ti} &= [5.7 N A_p (1 - \sqrt{1 + 4C^2})] / (b \sigma_1^*) && \text{for } N_T = 1.00W \end{aligned} \quad (13)$$

From Eqs. (13), it is obvious that  $l_{Ti}$  inversely proportional to  $f_{ck}$  and  $b$  and right proportional to  $N$ . Eq. (14) can be obtained with the condition  $A_p$  and  $C$  to be the same for two different values of  $n$ ,  $b$  and  $f_{ck}$  which leads a relation with different shear-wall lengths  $l_{Ti}$

$$l_{T2} = l_{T1} (N_2 / N_1) [f_{ck}^{(2)} / f_{ck}^{(1)}] (b_1 / b_2) \quad (14)$$

Shear-wall lengths  $l_{Ti}$  are given in diagrams which are calculated from Eqs. (13) for  $n=10$  storeys,  $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$ ,  $b=200\text{mm}$  and for various values of  $A_p$ ,  $A_0$  and  $N_T$ . For shear-wall lengths in the plan  $l_{bi}$  which are suitable to the building plan, being larger than  $l_{Ti}$ ,

$$l_{Ti} < l_{bi} \quad (15)$$

the diagonal crack criteria is clearly ensured. If the shear-wall has a cross-section like [ , L , I , then this criteria should be controlled. This criteria also takes place in the Romanian Code for Precast Structures 1972 and TS 9967. Horizontal load capacity of shear-walls having diagonal-cracks contains some unclear points to be investigated.



5) The shear force capacity should be greater than the bending moment capacity in shear-walls. This prevents the diagonal-cracks and can be obtained by the longitudinal reinforcement ratio less than 0.002 at the end cross-sections of the shear-walls ( $l_{bi}b$ ). It means that if the second and fourth criteria are ensured then the fifth criteria is also ensured. The shear force  $V_e$  shall be taken into account in calculating the transverse reinforcement in walls. Shear strength of wall cross sections  $V_r$  shall be calculated with Eq. (16). The shear force  $V_e$  shall satisfy the conditions defined below.

$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0.85 A_{ch} \sqrt{f_{ck}} \text{ (Shearwall)} \\ V_e &\leq f_{ctd} A_c + \mu A_s f_{yd} \quad , \quad V_e \leq \min [0.2 f_{ck} A_c; (3.3 + 0.08 f_{ck}) A_c] \quad \text{(Friction shear)} \\ V_r &= A_w f_{yd} \mu \quad , \quad V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \end{aligned} \quad (16)$$

6) Structural walls are the vertical elements of the structural system where the ratio of length to thickness in plan is equal to at least six ( $l_w/b_w \geq 6$ ). In buildings where seismic loads are fully carried by structural walls along the full height of building, wall thickness shall not be less than 1/20 the highest storey height and 200 mm, provided that both of the conditions given by Eq. (17) are satisfied.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0.002 \quad , \quad V_t / \Sigma A_g \leq 0.5 f_{ctd} \quad (17)$$

#### 4. Evaluation of Shear-wall Lengths

The number of the shear-walls having equal length on each side of the building can be  $n_b=3-8$ . Let us express the length of each shear-wall by  $l_{bi}$  under the condition that  $S_{DS}, S_{D1}, A_p, n, n_b, f_{ck}$  and  $b$  are constant. The moment of inertia for a single shear-wall  $I_{bi}$  and overturning moment  $M_{bi}$  and shear force  $V_{bi}$  at the foundation are

$$I_{bi} = b l_{bi}^3 / 12 \quad , \quad M_{bi} = M_T I_{bi} / \Sigma I_{bi} \quad , \quad V_{bi} = V_T I_{bi} / \Sigma I_{bi} \quad (18)$$

The total moment of inertia for all shear-walls can be expressed as a single shear-wall with the moment of inertia. The relative storey drift can be calculated according to equation 10 and the limit value is found. This limit value is used in calculations. After the calculation of overturning moments, shear forces and axial forces of the shear-walls, reinforcement can be calculated by ensuring the first and the second criteria. The non-dimensional axial force  $n_i$  and the non-dimensional overturning moment  $m_i$  and the  $l_{bi}$  lengths can be calculated. For the determination of  $l_{bi}$ , it should be used the calculated  $l_{bi}$  lengths corresponding to the values of  $n_i$  or  $m_i$  due to the first and the second criteria. The lengths of shear-walls, for  $n=7$  storeys and equal shear-wall lengths with the numbers  $n_b=3-8$  are evaluated. Without giving the details of the calculations, for  $A_p$  from  $400m^2$  to  $800m^2$ ,  $b=0.30m$ , ZA-ZE,  $f_{ck}=30 N/mm^2$  and  $N_T=(0.50-1.00)W$ , the  $l_{bi}$  lengths are calculated and they are given in the diagrams.

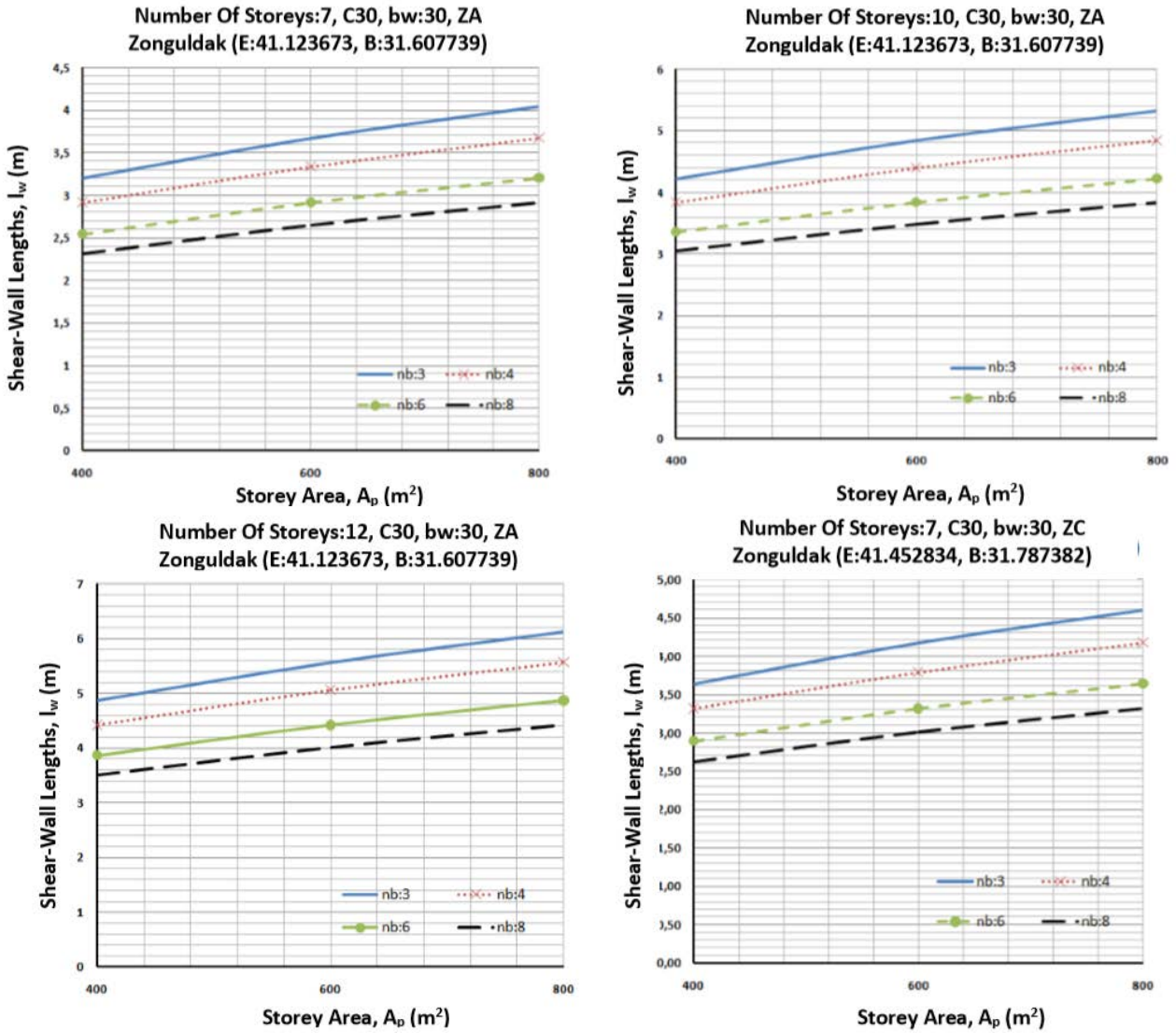
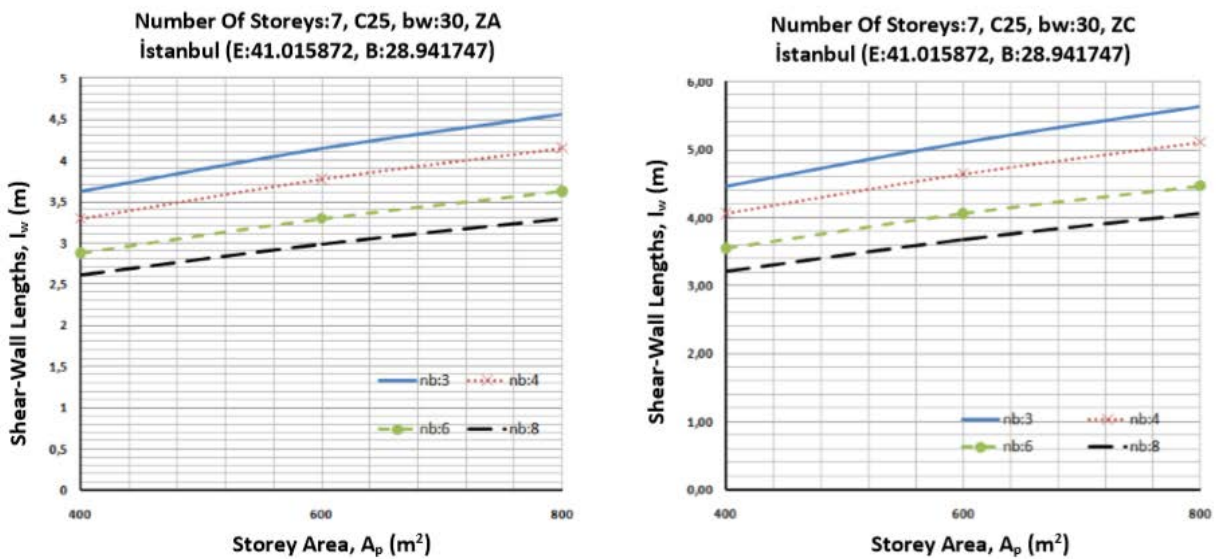


Figure 1. Shear-Wall Length Diagrams



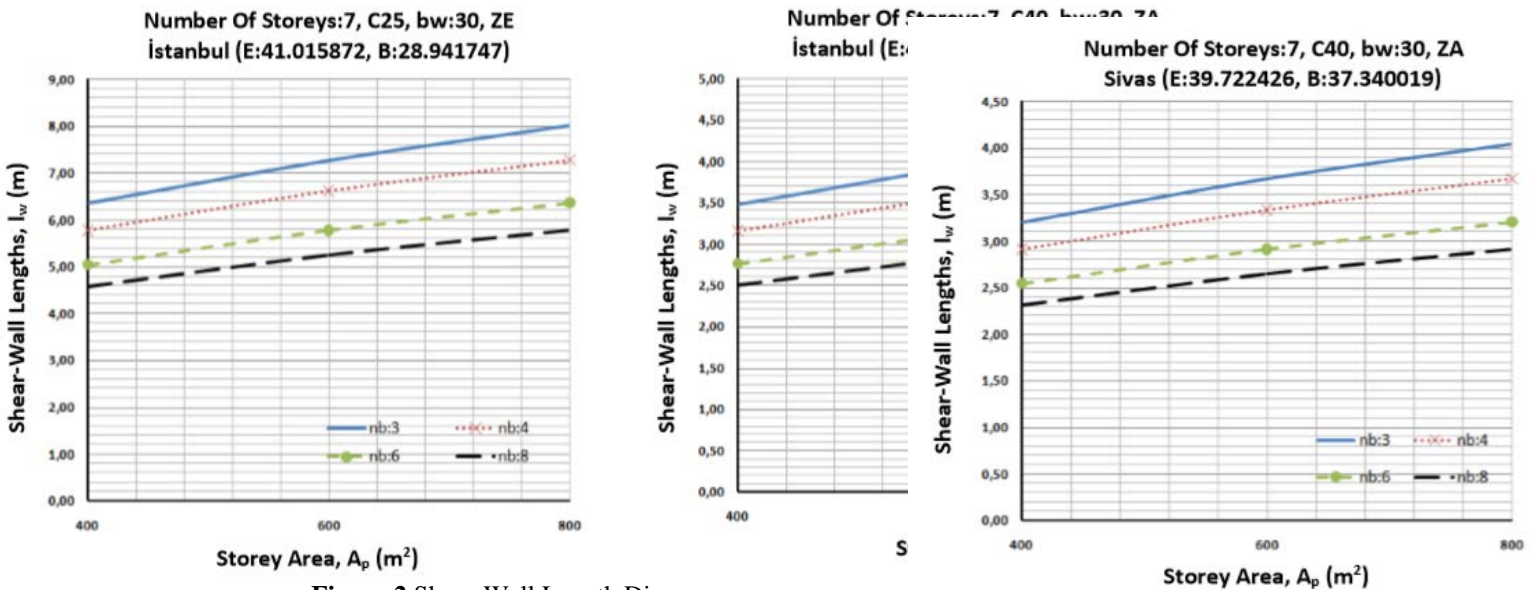


Figure 2. Shear-Wall Length Diagrams

Examination of the diagrams yields the following:

- Generally it can be said that, for larger values of  $A_p$  while  $N_T=0.50W$ ,  $k_x$  reaches 0.423 and  $\rho$  is very low with comparison to 0.001 but for decreasing  $A_p$ , instead of upper limit for  $k_x$ , the second criteria which makes  $\rho=0.001$  should be taken into consideration. In the situation of decreasing axial force, instead of  $k_x$ , it can be seen that  $\rho$  can reach more easily to the upper limit.
- When the axial force is large while there is small storey area, the  $l_{bi}$  length of one of the shear-walls having the some length can be greater than the length  $nb \cdot l_{Ti}$ .
- Shear-walls calculated according to the first and second criteria, always ensure the fourth criteria.
- When the  $l_{bi}$  lengths are calculated according to the first and the second criteria, the third criteria is also ensured.

On the other hand, as the lengths of the shear-walls are defined in the architectural plan, the shear-walls in the same direction can have different lengths. After dimensioning the shear-walls by the minimum thickness given in earthquake codes, solutions of them under earthquake effects are made for structure behaviour coefficient for increased ductility and the overturning moment, shear force and axial force at the foundation is calculated. Then the necessary reinforcement can be calculated and the unit deformations  $\epsilon_c$  and  $\epsilon_s$  are established, which means that  $k_x$  and  $\rho$  are also established. The first and the second criteria can be controlled with these, respectively. In case of exceedance of the limits for one of the criteria, one of the following steps can be made to ensure; a) changing the thickness of the shear-wall, b) changing the length of the shear-wall, c) adding an other shear-wall to the system. When the second criteria is ensured while the first criteria is not, which means the acceptance of non-increased shear-wall ductility by the project-engineer, than the structure behaviour coefficient should be taken suitable to this situation and the earthquake forces should be recalculated.

## 5. Numerical Examples

1) Shear-wall systems: The structural system consist of shear-walls which will carry the horizontal loads in the earthquake risk zone. Storey area of the building is 400 m<sup>2</sup>.

a) For seismic zone coordinate (E:41.452834, B:31.787382), local soil class ZC, N=7, material C30-S420a, n<sub>b</sub>=3, b<sub>w</sub>=30 cm, from figure 1, shear-wall length is taken as l<sub>w</sub>=365 cm.

The building plan for this example is given below.

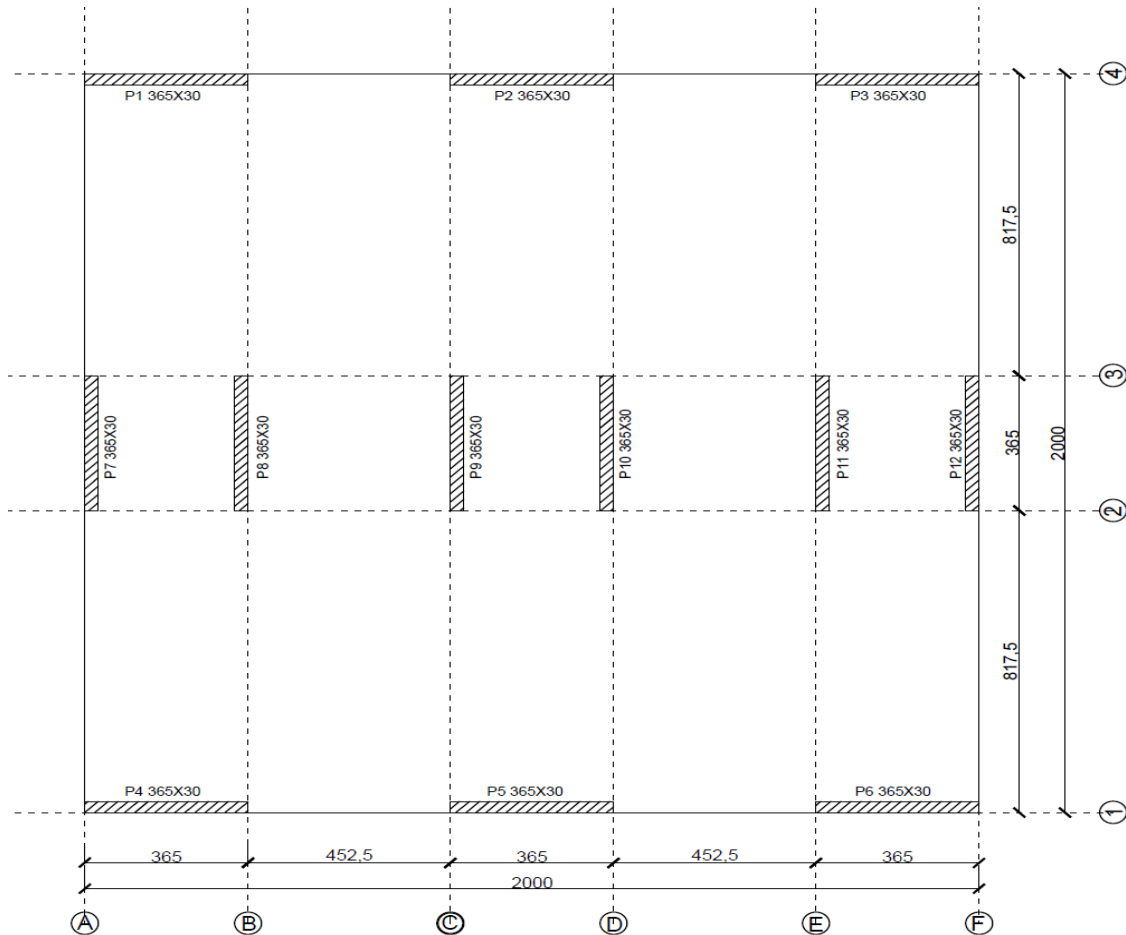


Figure 3. Building Plan

With these values,  $W=4800$  kN,  $T_A=0.0688$  sn,  $T_B=0.3441$  sn,  $S_{aR}(T_p^{(X)})=0.05677g$ ,  $V_t^{(X)}=1097.47$  kN,  $M_t^{(X)}=68522.31$  kNm, P1 shear-wall;  $n=0.26$ ,  $m=0.12$ ,  $k_x=0.41 \leq 0.423$ ,  $\omega=0.04$ ,  $\rho=0.022$ , Shear forces;  $V_e=987.71$  kN,  $V_e \leq V_r$ ,  $V_e \leq 0.85A_{ch}\sqrt{f_{ck}} = 5097.93$  kN,  $V_e \leq f_{ctd}A_c + \mu A_s f_{yd} = 1792.35$  kN,  $V_e \leq \min [0.2f_{ck}A_c; (3.3+0.08f_{ck})A_c] = \min [1350 \text{ kN}, 1282.5 \text{ kN}]$ ,  $V_r = A_w f_{yd} \mu = 1489.2$  kN,  $\rho_{sh}=0.0025$ ,  $V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd}) = 2250,9$  kN,  $(H_w/l_w)=5,75 > 2$ ,  $b_w=30 \geq 300/16$ .

b) İstanbul (E: 41.015872°, B:28.941747°), soil ZA, N=15, C25-S420a, n<sub>b</sub>=6, b<sub>w</sub>=30 cm, l<sub>w</sub>=520 cm.

c) İstanbul (E: 41.015872°, B:28.941747°), soil ZE, N=15, C25-S420a, n<sub>b</sub>=6, b<sub>w</sub>=30 cm, l<sub>w</sub>=895 cm.

d) İstanbul (E: 41.015872°, B:28.941747°), soil ZC, N=15, C25-S420a, n<sub>b</sub>=6, b<sub>w</sub>=30 cm, l<sub>w</sub>=640 cm.

2) Shear-wall and frame systems: The structural system consist of shear-walls and frames which will carry the horizontal loads in the earthquake risk zone.  $A_p$  is 400 m<sup>2</sup>.  $W_p=0.75W$ .

- Sivas (E: 39.722426°, B:37.340019°), soil ZA, N=10, C30-S420a,  $n_b=6$ ,  $b_w=30$  cm,  $l_w=310$  cm.
  - Sivas (E: 39.722426°, B:37.340019°), soil ZA, N=10, C40-S420a,  $n_b=4$ ,  $b_w=30$  cm,  $l_w=350$  cm.
  - Eskişehir (E: 39.981254°, B:32.025685°), soil ZE, N=10, C25-S420a,  $n_b=6$ ,  $b_w=30$  cm,  $l_w=480$  cm.
  - Eskişehir (E: 39.981254°, B:32.025685°), soil ZE, N=10, C40-S420a,  $n_b=4$ ,  $b_w=30$ cm,  $l_w=530$  cm.
- The selected shear-walls ensured the criteria given in part 3.

## 5. Conclusion

In this study, the calculation of systems consisting of shear-walls which are perfectly resistant under earthquake effects and can be built quickly, is examined.

- To determine the dimensions of earthquake shear-walls in buildings, the following criteria are proposed. a- It is desired to have increased ductility in the structures which will be constructed in the high risk zones. According to this, the  $k_x$  of the shear-walls at the base with high ductility should be less than 0.423, b- The total reinforcement at the end cross-sections of the shear-walls should be less than 0.002, c- The ratio of shear-wall top horizontal displacement to the building height should be less than 0.02, d- There should not be any diagonal cracks in shear-walls, d) The shear force capacity should be greater than the bending moment capacity in shear-walls.
- The average storey weight for percent area is determined by the use of TS 498 and TNC 2018 for constructed buildings having different storey areas in case of storey weights calculated for earthquake calculations. Total shear force, the overturning moment, the minimum and maximum values of axial forces of the shear-walls at the basement and the top force are calculated for the buildings having number of storeys from 7 to 18 and storey areas from 400 m<sup>2</sup> to 800 m<sup>2</sup>.
- Lengths of shear-walls can be predimensioned before calculations by the use of diagrams. Certainly, a definite calculation is necessary.
- It is explained how to design, if the lengths of the shear-walls are given according to the architectural design, in part 4.
- The shear force which will be carried by the shear-walls, should be less than defined max. value, so the rules in equation 16 must be provided;

It can be said that a single shear-wall acts as a cantilever beam. Maximum moment occurs at the base of the shear-wall and decreases as it goes up. Therefore, the most difficult section in shear-walls is the section that joins the foundation. For this reason, there are more challenging conditions in terms of section and reinforcement conditions in the section called critical wall height. Bending moment and shear force occur in shear-walls due to earthquake force. Shear force generated by earthquake effects creates diagonal shear stresses (cracks) in the shear-walls. For this reason, it is necessary to ensure adequate ductile behavior in the shear-walls to prevent failure that may occur. For this, sufficient reinforcement must be placed.

Shear-walls have higher flexural stiffness than columns, so the shear-walls satisfy most of the horizontal loads. The head area in the shear-walls significantly increases the bending moment capacity. Therefore, shear force may become more important than bending moment. In fact, the shear-walls are requested to satisfy all shear forces. In the calculation of the transverse reinforcement in shear-wall or shear-wall parts,  $V_e$  shear force is taken as basis.

- When the building height is increased, using shear walls, in terms of providing codes criterias, has become an obligation more than a choice.

- In this sizing, shear walls are made in a specific number depending on the plan area for each flat ( $n \times b = 3, 4, 6, 8$ ). In case of using a different number of shear walls, it is enough to make iteration in the diagram rates.
- Being imposed the number of the flats and the plan area of the structures in the criterias is because the lengths of the shear walls increase based on these values. The difference of the heights of the shear walls between a non-multi storey structure which has the same plan area and the multi storey structures which have different flat areas is in a high level. By taking practices into consideration, it is examined by changing the quality of the material which is used.
- Also, with the increase of the quality of the material and the wideness of the shear walls in multi storey structures, the lengths of the shear walls are brought into a more usable level. So, architectural restrictions' efficiency as an important problem in structural design is precluded.
- The local soil class and the earthquake risk in the present region is quite important in stating the earthquake load which effects the structure. Therefore, the effect of these two factors are so important for the calculation of the length of the shear wall and considering as a parameter in calculating is approved.
- Sometimes the two dimension shear walls in the structure can cross and I, T, L, H, C, U, Y shaped shear walls can form. It is a favorable and desirable situation that ensures the share walls work efficiently in both dimension and composed head regions provide a high resistance. Besides, in consequence of the obligation of using elevator shafts a high in the structures and the core which is formed when the round of the stairwell constitutes with the shear wall, these present lengths of the share walls can be decreased considerably.
- Calculated shear walls sizes along the height of the critic shear wall can be decreased a little at the upper storeys due to the easier fulfillment of the specified criteria.

Shear-walls having cross-sections of I, T, L, H...will be considered in an other paper.

## REFERENCES

- [1] Altın, S., "The Behaviour of R/C shear-walls subjected to cyclic loading", EB, pp. 67, 1989.
- [2] Andinç, E., "Betonarme binalarda deprem perdelerinin boyutlandırılması", İTÜ FBE, 2004.
- [3] ATC 22, *A Handbook for seismic evaluation of existing building: Supporting documentation*, Federal Emergency Management Agency, FEMA 178, California, 1989.
- [4] Atımtay, E., *Açıklamalar ve örneklerle afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik (Betonarme yapılar)* Cilt 1, 2, Bizim Büro, Ankara, 2000.
- [5] Aydoğan, M. and Öztürk, T., "Betonarme yapılarda güçlendirme uygulamaları", Kemal Özden'i Anma Semineri, Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler, İstanbul, 2002.
- [6] Celep, Z. and Kumbasar, N., *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [7] Celep, Z. and Kumbasar, N., *Reinforced Concrete Structures in Turkish*, Beta Press, İstanbul, 2005
- [8] Ersoy, U., "Lessons to be learned from Erzincan 1992 Earthquake", 2. Conference of National Earthquake Engineering, pp. 395-403, İstanbul, 1993.
- [9] Fintel, M., "Shearwalls-an answer for seismic resistance? ", Concrete International , vol.13, pp. 48-53, 1991.
- [10] National building code of Canada, Ottawa, 1985.
- [11] Nilson, A. H. and Winter, G., *Design of concrete structures*, McGraw-Hill, New York, 1991.
- [12] Özden, K. and Kumbasar, N., *Reinforced concrete tall buildings*, İTÜ, İstanbul, 1993.



- [13] Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*, John Wiley and Sons Inc., USA, 1992.
- [14] Tarenath, S., *Structural analysis and design of tall buildings*, McGraw-Hill, 1988.
- [15] TS 498, *Design loads for buildings*, Standard Institute of Turkey, 1997
- [16] TS 500, *Turkish building code requirements for reinforced concrete*, Standard Institute of Turkey, 2000.
- [17] TS 9967, *Design, construction and erection methods for precast reinforced and prestressed concrete elements, structures and buildings*, Standard Institute of Turkey, 1992.
- [18] *Turkish national code for structures built in earthquake risk zones (TNC)*, ER Institute, 2018.
- [19] Wakabayashi, M., *Design of earthquake-resistant buildings*, McGraw-Hill, 1986.



## İkinci Mertebe Etkilerin Akma Dayanımı Azaltma Katsayısına Etkisi Influence of Second-order Effects on Yield Strength Reduction Factor

Taner UÇAR<sup>1</sup>, Onur MERTER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 35390, Buca, İzmir, taner.ucar@deu.edu.tr

<sup>2</sup> İzmir Ekonomi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35330, Balçova, İzmir, onur.merter@ieu.edu.tr

**Özet:** - Doğrusal olmayan sistemi niteleyen temel parametrelerden birisi olan akma dayanımı azaltma katsayısının belirlenmesi, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin hem dayanıma göre tasarımı hem de şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımı yaklaşımında önem arz etmektedir. Taşıyıcı sistemin akma dayanımı ile ilişkili bir büyüklük olan akma dayanımı azaltma katsayısı, öngörülen bir süneklik kapasitesi cinsinden hesaplanabildiği gibi doğrusal olmayan hesap sonucunda da bulunabilir. Taşıyıcı sistemin akma sonrası doğrusal olmayan davranışında önemli farklılıklar ortaya çıkaran ikinci mertebe etkiler aynı zamanda sistemde görece küçük bir dayanım değerinde akmaya neden olmaktadır. Bu çalışmada, ikinci mertebe etkilerin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak dayanıma göre tasarım yaklaşımıyla boyutlandırılan betonarme çerçevelerin akma dayanımı azaltma katsayısına etkisi incelenmiştir. Farklı kat sayısına sahip altı adet betonarme çerçeve için akma dayanımı azaltma katsayıları sabit tek modlu itme analizinde elde edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklük olarak hesaplanmıştır. İkinci mertebe etkilerin dikkate alındığı ve ihmal edildiği durumlar için ayrı ayrı belirlenen akma dayanımı azaltma katsayıları karşılaştırılmıştır. İkinci mertebe etkilere bağlı olarak akma dayanımı azaltma katsayısının büyüdüğü, sistemde daha küçük yatay yükler etkisinde akma oluştuğu ve depremin süneklik talebinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Akma dayanımı azaltma katsayısı, ikinci mertebe etkiler, doğrusal olmayan itme analizi, betonarme çerçeveler.

**Abstract:** - Determination of yield strength reduction factor, one of the main parameters characterizing nonlinear system, is quite essential both for force-based design and displacement-based evolution and design of structures subjected to earthquakes. Yield strength reduction factor, which is directly related to yield strength of the system, can either be calculated in terms of allowable ductility capacity or by means of nonlinear analysis. Second-order effects causing significant differences in post-yield nonlinear behavior of the structural system also lead to a reduction in the yield strength. In this study, the influence of second-order effects on yield strength reduction factor of reinforced concrete frames seismically designed according to the regulations of Turkish Building Earthquake Code is investigated. Yield strength reduction factors of six frames with different number of stories are calculated based on yield strength of the system which is estimated from invariant single-mode pushover analysis. Yield strength reduction factors calculated either considering or not considering second-order effects are compared. It is found that, when second-order effects are considered in analyses, yield strength reduction factors increase, yielding occurs under relatively smaller seismic loads and ductility demand of earthquake increases.

**Keywords:** Yield strength reduction factor, second-order effects, nonlinear pushover analysis, reinforced concrete frames.



## 1. Giriş

Belirli bir deprem yer hareketinin etkisi altında doğrusal olmayan sistemde oluşacak yerdeğiştirmenin en büyük değerini aynı zorlama etkisinde eşlenik doğrusal sistemde oluşacak yerdeğiştirmenin tepe değeri cinsinden ifade etmek hem yeni yapıların tasarımında hem de mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi aşamasında gereklidir. Bu durumda süneklik katsayısı ve akma dayanımı azaltma katsayısı olarak isimlendirilen ve doğrusal olmayan sistemi niteleyen iki temel parametre önem kazanmaktadır.

Deprem mühendisliğinde yaygın kullanılan kavramlardan birisi olan akma dayanımı azaltma katsayısı, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin dayanıma göre tasarımında deprem yönetmeliklerinde genel olarak taşıyıcı sistem türü ve süneklik düzeyine bağlı olarak taşıyıcı sistemin tümü için öngörülen süneklik kapasitesine bağlı olarak elde edilmektedir. Deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için diğer bir yaklaşım olan şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarımda ise, akma dayanımı azaltma katsayısı, dayanıma göre tasarım yaklaşımından farklı olarak, doğrusal olmayan analizden elde edilen akma dayanımına bağlı bir büyüklük olarak elde edilmektedir [1]. Doğrusal olmayan sistemi niteleyen akma dayanımı azaltma katsayısı ve süneklik katsayısı arasındaki ilişki, sistemin başlangıç rijitliğine bağlı olarak Eşit Yerdeğiştirme Kuralı kullanılarak ya da ampirik olarak ifade edilmektedir [1-3].

Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı söz konusu olduğunda, yatay deprem etkileri altında ötelenmiş sistem üzerinde aksel kuvvetlerin meydana getirdiği ikinci merteye etkiler de önem kazanmaktadır.  $P-\Delta$  etkisi olarak da adlandırılan bu etkiler, taşıyıcı sistemde geometrik bakımdan doğrusal olmayan davranışa neden olmakta ve sistemin deprem davranışını değiştirebilmektedir. İkinci merteye etkiler, deprem etkisi altında doğrusal elastik davranan taşıyıcı sistemlerde başlangıç rijitliğini bir miktar azaltmak dışında fazla önem kazanmaz. Öte yandan ikinci merteye etkiler dikkate alındığında sistemde görece küçük bir dayanım değerinde akma oluşarak elastikötesi davranış gözlenmektedir. Ayrıca akma sonrası davranışta önemli farklar ortaya çıkmakta ve artan yatay yerdeğiştirmeler altında sistemin dayanımı negatif rijitlikle hızla düşmektedir [2].

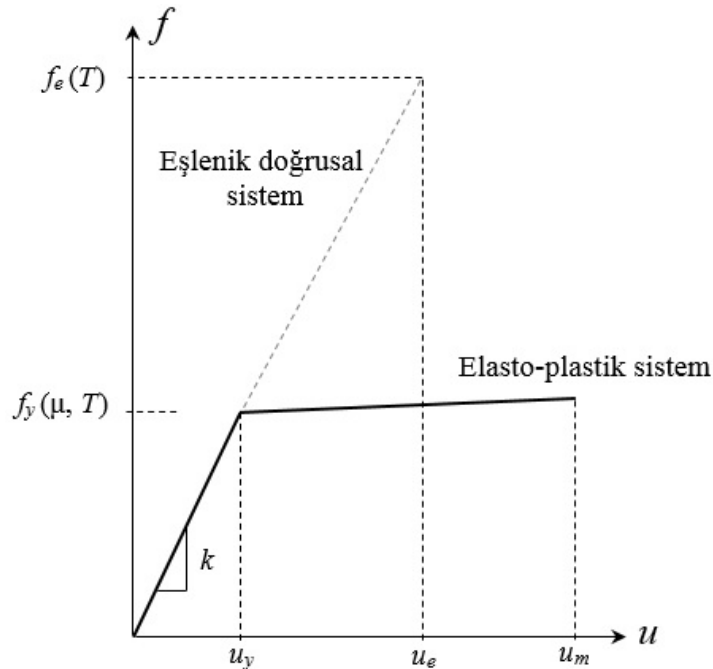
Taşıyıcı sistemin akma dayanımında ve yatay rijitliğinde azalmaya neden olan ikinci merteye etkilerin akma dayanımı azaltma katsayısını değiştirmesi olasıdır. Literatürde, şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım kapsamında bina taşıyıcı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı ile ilintili süneklik ve akma dayanımı azaltma katsayılarının kullanıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür [4-11]. Bununla birlikte, ikinci merteye etkile bağlı olarak taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan deprem davranışında ortaya çıkan farklılıklar çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [12-20]. İkinci merteye etkilerin akma dayanımı azaltma katsayısına etkisinin araştırıldığı çalışmalara ise literatürde rastlanamamıştır.

Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) kapsamında dayanıma göre tasarım yaklaşımıyla boyutlandırılan 2, 3, 5, 8, 10 ve 12 katlı betonarme çerçevelerde ikinci merteye etkilerin akma dayanımı azaltma katsayısına etkisi incelenmiştir. Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı doğrultusunda incelenen çerçeveler için akma dayanımı azaltma katsayıları sabit tek modlu itme analizinde elde edilen akma dayanımına bağlı olarak elde edilmiştir. İkinci merteye etkiler önce göz ardı edilerek, sonra ise dikkate alınarak çerçevelerin sabit tek modlu itme eğrileri oluşturulmuş ve TBDY’de verilen yaklaşım kullanılarak çerçevelerin akma dayanımı ve ona karşılık gelen akma sözde-ivmesi hesaplanmıştır. Çerçevelerin elastik dayanım talebini ifade eden elastik spektral ivme, akma-

sözde ivmesine oranlanarak akma dayanımı azaltma katsayıları hesaplanmış ve bu katsayının ikinci mertebe etkilere bağlı değişimi incelenmiştir.

## 2. Akma Dayanımı Azaltma Katsayısı

Doğrusal olmayan sistemi tanımlayan parametrelerin tanımlanabilmesi, diğer bir deyişle taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışının sayısal olarak nitelendirilebilmesi için genel olarak Şekil 1’de gösterilen idealleştirmeden faydalanılmaktadır. Buna göre sistemin yatay yük ( $f$ ) – yerdeğiştirme ( $u$ ) ilişkisini gösteren eğri iki doğru parçası ile temsil edilmekte ve elasto-plastik sistem olarak adlandırılmaktadır. Bu idealleştirilmiş modelde  $f_y$  sistemin akma dayanımını,  $u_y$  akma yerdeğiştirmesi ve  $u_m$  en büyük yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Şekil 1’de  $f_e$ , depremin yatay rijitliği  $k$  kadar olan eşlenik doğrusal sisteminden talep ettiği elastik dayanımı ve  $u_e$  ona karşı gelen yatay yerdeğiştirmeyi göstermektedir.



Şekil 1. Eşlenik doğrusal sistem ve elasto-plastik model

Dayanıma göre tasarım yaklaşımında öngörülen süneklik bir düzeyi için belirli bir deprem yer hareketi etkisinde taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyoduna bağlı olarak akma dayanımı azaltma katsayısı ( $R_y$ ) hesaplanabilir. Bu yaklaşımdan farklı olarak şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımında ise akma dayanımı azaltma katsayısı doğrusal olmayan hesap sonucu belirlenen akma dayanımına bağlı bir büyüklük olarak ifade edilmektedir.

Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımının kullanılması durumunda, belirli bir deprem yer hareketi etkisinde taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal elastik dayanım talebinin sistemin akma dayanımına oranı olarak tanımlanan akma dayanımı azaltma katsayısı ( $R_y$ ), Denklem (1)’deki gibi elde edilir:

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (1)$$

Bu denklemde,  $S_{ae}(T_1)$  sistemin birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$ 'e karşı gelen doğrusal elastik spektral ivme,  $a_{y1}$  ise tek modlu itme yönteminden elde edilen akma dayanımına bağlı olarak hesaplanan akma-sözde ivmesidir.  $a_{y1}$  değeri Denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır:

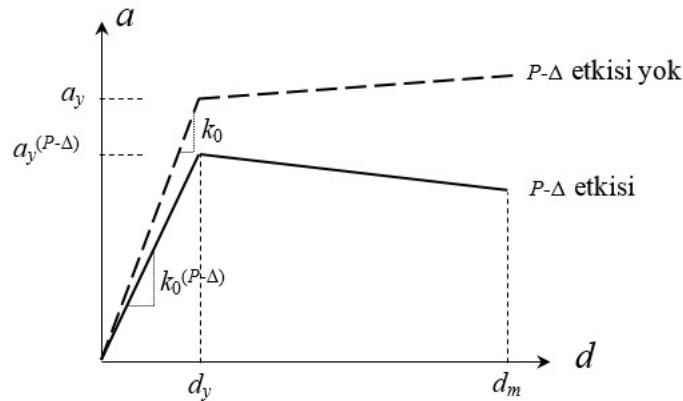
$$a_{y1} = \frac{V_{b1y}}{M_1^*} = \frac{V_{b1y}}{\Gamma_1 L_1} \quad (2)$$

Denklem (2)'de  $V_{b1y}$  birinci mod için sistemin akma taban kesme kuvveti,  $M_1^*$  ise birinci moda ait etkin kütle olup  $\Gamma_1$  katsayısı ile  $L_1$  kütesinin çarpımı olarak elde edilmektedir.  $\Gamma_1$  katsayısı Denklem (3)'teki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Gamma_1 = \frac{L_1}{M_1} = \frac{\phi_1^T m 1}{\phi_1^T m \phi_1} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde  $M_1$  birinci modun genelleştirilmiş kütle,  $\phi_1$  birinci mod vektörü, 1 bütün elemanları birim olan etki vektörü,  $m$  ise çok serbestlik dereceli sistemin kütle matrisidir.

İkinci mertebeye etkiler ( $P-\Delta$  etkisi) dikkate alındığında, sistemin yatay rijitlik matrisi aksenal kuvvetin düşey taşıyıcı elemanların rijitliğine etkisini içeren geometrik rijitlik matrisi olarak elde edilmekte ve dolayısıyla sistemin birinci doğal titreşim periyodu değişmektedir. Ayrıca ikinci mertebeye etkiler nedeniyle sistemin akma dayanımı azalmakta ve dolayısıyla akma dayanımı azaltma katsayısı değişmektedir. İkinci mertebeye etkiler dikkate alındığında, itme hesabı sonucunda elde edilen itme eğrisine koordinat dönüşümü uygulanarak oluşturulan modal kapasite diyagramındaki (koordinatları modal yerdeğiştirme ( $d$ ) – modal sözde-ivme ( $a$ ) olan diyagram) farklılıklar Şekil 2'de gösterilmiştir.



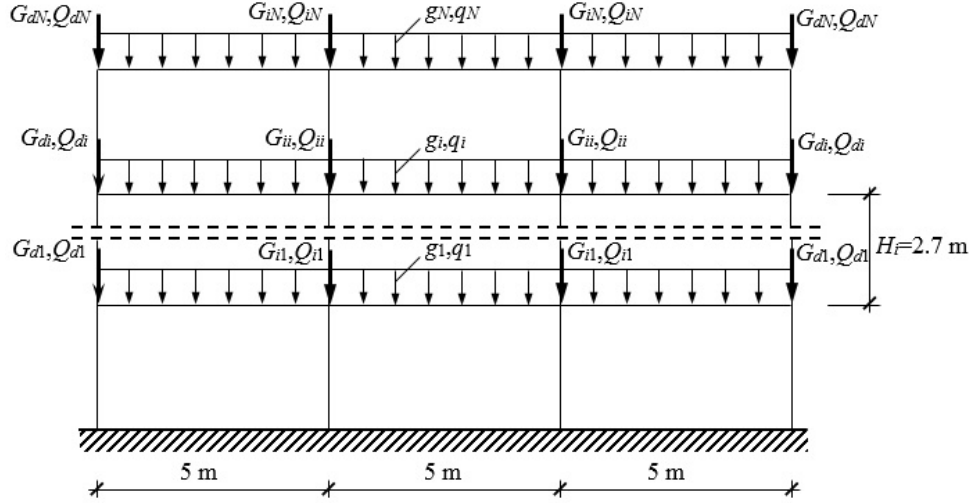
Şekil 2.  $P-\Delta$  etkisi nedeniyle modal kapasite diyagramındaki farklılıklar

### 3. Sayısal Uygulamalar

#### 3.1. Çalışmada kullanılan betonarme çerçeveler

Kat sayısı 2, 3, 5, 8, 10 ve 12 olarak belirlenen altı adet betonarme çerçeve dayanıma göre tasarım yaklaşımı kullanılarak TBDY'ye göre boyutlandırılmıştır. Tipik kat yüksekliği 2.7 m olarak seçilen üç açıklıklı çerçevelerin açıklık uzunlukları özdeş olup 5 m'dir. Çalışmada kullanılan çerçeveler kütle dağılımı ve rijitlik özellikleri kat planında kütle merkezinden geçen yatay eksenlere göre simetrik olan

üç boyutlu bir binanın kenar çerçeveleri olarak kabul edilmiş ve kat kirişlerine aktarılan döşeme yükleri ile çerçevelerin düğüm noktalarına etkiyen tekil yükler buna göre belirlenmiştir. Ayrıca kat kirişleri üzerinde iki tarafı sıvalı dolgu duvar yükleri dikkate alınmıştır. Bunların dışında taşıyıcı sistem elemanlarının kendi öz ağırlıkları da düşey yüklere dahil edilmiştir. Dikdörtgen kesitli kirişlerin gövde genişliği 250 mm, yüksekliği ise 500 mm'dir. Kare kesitli kolonları kesit boyutları ise kat sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çalışmada kullanılan çerçeve modeli düşey yükleriyle birlikte Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan çerçeve modeli

Taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan betonun karakteristik basınç dayanımı 25 MPa olup elastisite modülü 30000 MPa'dır. Kullanılan donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı ise 420 MPa'dır. Serbest titreşim analizinde esas alınan kat kütleleri ölü yükler ile hareketli yüklerin %30'unun toplamı olarak belirlenmiştir. Çerçevelerin serbest titreşim özelliklerinin belirlenmesi aşamasında çatlamış kesite ait etkin kesit rijitlikleri kullanılmış ve bu değerler TBDY esas alınarak belirlenmiştir. Çerçevelerin analitik modelleri SAP2000 [21] yapısal analiz programında oluşturulmuş ve serbest titreşim analizleri bu program aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Serbest titreşim analizlerinde yığılı kütle modeli kullanılmış ve taşıyıcı sistem elemanlarının eksenel şekildeşimleri ihmal edilmiştir. Analizlerde ikinci mertebe etkiler ( $P-\Delta$  etkisi) öncelikle dikkate alınmamış, sonra ise eksenel kuvvetlerin kolon rijitliğine etkisi dikkate alınarak analizler tekrarlanmıştır. Serbest titreşim analizinde esas alınan çerçeve kütleleri ve analiz sonucu belirlenen bazı değerler Tablo 1'de verilmiştir.  $T_1$  çerçevenin birinci doğal titreşim periyodu,  $M_1^*/M$  birinci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam kütleyle oranı,  $N$  ise kat sayısıdır. İkinci mertebe etkiler dikkate alındığında  $T_1$  periyodu uzamakta,  $M_1^*/M$  oranında ise kayda değer bir değişiklik olmamaktadır. Kat sayısındaki artışa bağlı olarak  $T_1$  periyodundaki uzama da artmaktadır.

Tablo 1. Sismik kütleler ve serbest titreşim hesabına ait bazı sonuçlar

N	$M = \sum_{j=1}^N m_j$ (ton)	P-Δ etkisi yok		P-Δ etkisi	
		$T_1$ (sn)	$M_1^*/M$	$T_1$ (sn)	$M_1^*/M$
2	132.67	0.407	0.9056	0.409	0.9060
3	211.52	0.553	0.8539	0.558	0.8543
5	377.18	0.840	0.8039	0.850	0.8044
8	639.08	1.302	0.7804	1.326	0.7812
10	820.95	1.618	0.7744	1.656	0.7754
12	1011.28	1.929	0.7701	1.983	0.7713

### 3.2. Çerçevelerin deprem tasarımı

Çerçevelerin deprem etkisi altında tasarımında standart tasarım deprem yer hareketi esas alınmıştır. Dikkate alınan tasarım depremine ait en büyük yer ivmesi ( $PGA$ )  $0.413g$  ve en büyük yer hızı ( $PGV$ ) ise  $24.25 \text{ cm/sn}$ 'dir. Çerçevelerin bulunduğu bölgenin yerel zemin sınıfı  $ZE$  olarak kabul edilmiştir. Buna göre kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_S = 1.002$  ve  $1.0 \text{ sn}$  periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1 = 0.241$  olarak belirlenmiştir. Kısa periyot bölgesi ve  $1.0 \text{ sn}$  periyot için yerel zemin etki katsayıları sırasıyla  $F_S = 1.098$  ve  $F_1 = 3.095$ 'tir. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{DS} = 1.101$  ve  $1.0 \text{ sn}$  periyot için tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{D1} = 0.746$  olarak hesaplanmıştır. Yukarıda açıklanan veriler esas alınarak %5 sönüm oranı için TBDY'de tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumu oluşturulmuştur. Yatay elastik tasarım spektrumunun köşe periyotları  $T_A = 0.135 \text{ sn}$  ve  $T_B = 0.678 \text{ sn}$ 'dir.

Bina kullanım sınıfı  $BKS = 3$  seçilen çerçevelerin bina önem katsayısı  $I = 1$ 'dir.  $BKS$  ve standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan  $S_{DS}$  değeri dikkate alınarak çerçevelerin deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak deprem tasarım sınıfı  $DTS = 1$  olarak belirlenmiştir. Yüksek süneklik düzeyi için tasarlanan çerçevelerin dayanım esaslı deprem tasarımında Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz aşamasında ve taşıyıcı sistem elemanlarının dayanım kapasitelerini dayanım taleplerinden büyük kılan boyuna donatıların belirlenmesinde SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır. Kolonların kesit boyutları ve boyuna donatıları Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda  $\phi$  boyuna donatı çapını simgelemektedir. Kirişlerin boyuna donatılarına ait detaylara ise burada yer verilmemiştir.

Tablo 3. Kolon kesit detayları

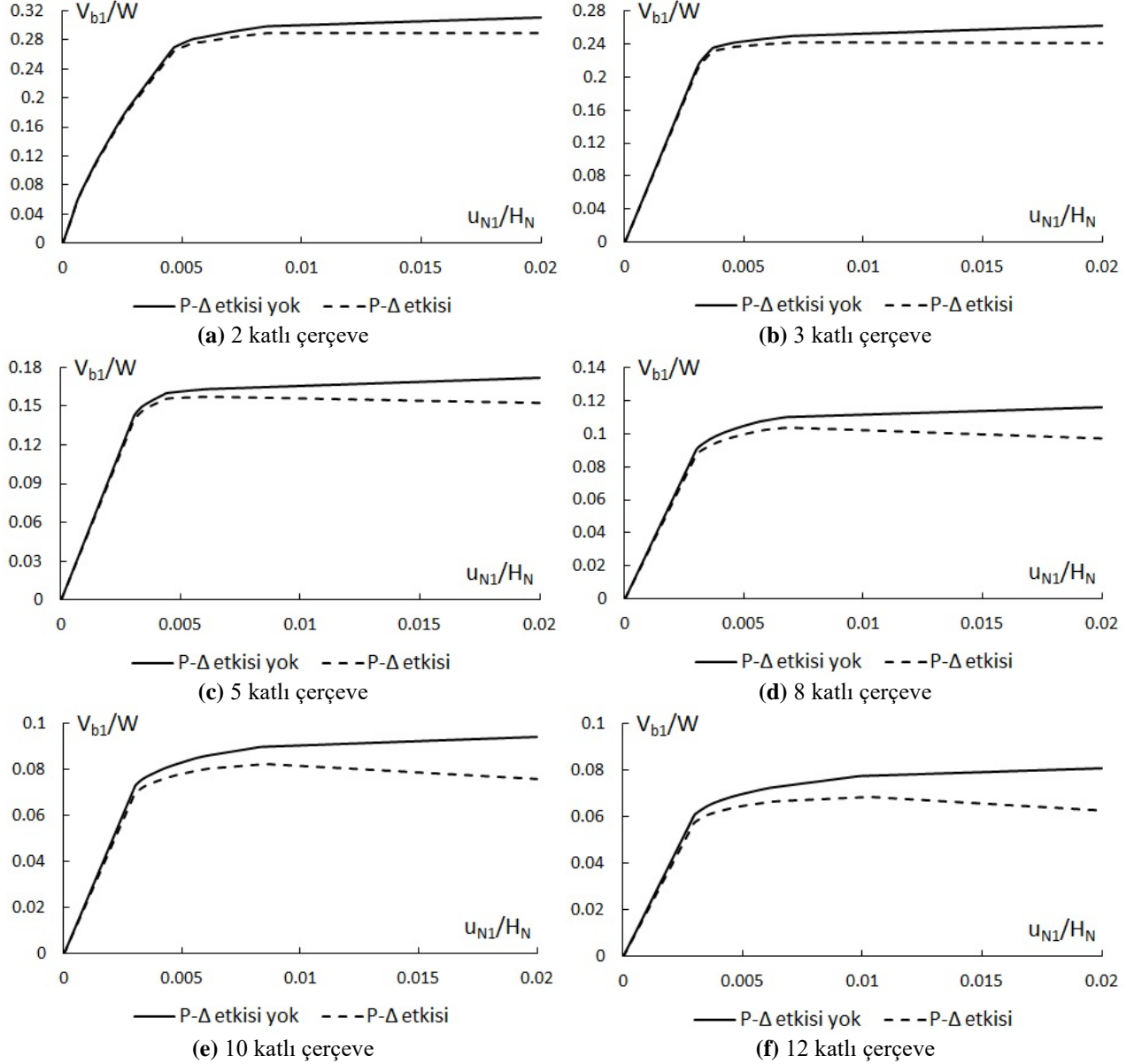
$N$	Kat #	Kesit Boyutları ( $\text{cm}^2$ )	Boyuna Donatılar
2	Tüm katlar	$35 \times 35$	$8\phi 20$
3	3&2 1	$40 \times 40$	$8\phi 18$ $8\phi 20$
5	Tüm katlar	$50 \times 50$	$6\phi 16 + 6\phi 18$
8	Tüm katlar	$60 \times 60$	$12\phi 20$
10	Tüm katlar	$65 \times 65$	$4\phi 20 + 8\phi 22$
12	Tüm katlar	$70 \times 70$	$16\phi 20$

### 3.3. Akma dayanımı azaltma katsayılarının hesabı

Çalışmada kullanılan çerçevelere ait akma dayanımı azaltma katsayıları deprem etkisi altında şekil değiştirmeye göre değerlendirme yaklaşımı kapsamında doğrusal olmayan hesap yönteminden elde edilmiştir. Çerçevelerin doğrusal olmayan deprem hesabında Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi kullanılmıştır. Kat kütlelerine etkiyen deprem yükü artımlarının itme hesabı boyunca sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlandığı bu yöntemin uygulanabilmesi için gerekli olan  $M_1^*/M \geq 0.70$  koşulunun sağlandığı Tablo 1'deki serbest titreşim analizi sonuçlarından görülmektedir.

Malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesinde yığılı plastik davranış (plastik mafsal) modeli esas alınmış ve eleman net açıklıklarının uçlarında tanımlanan plastik kesitler haricindeki bölgelerin doğrusal elastik davrandığı kabul edilmiştir. Plastik mafsal boyu çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit alınmıştır. Plastik kesitlere ait iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları karakteristik malzeme dayanımları esas alınarak ASCE/SEI 41-13 göre belirlenmiştir [22]. Çerçevelerin doğrusal olmayan hesap modelleri SAP2000 yapısal analiz

programında oluşturulmuştur. İtme hesabının başlangıç adımında düşey yükler etkisinde doğrusal olmayan artımsal statik analiz yapılmış ve bu analizin sonucu uygulanan itme analizinin başlangıç koşulu olarak dikkate alınmıştır. Her çerçeve için ikinci mertebeye etkilerin ihmal edildiği ve dikkate alındığı iki ayrı itme analizi olmak üzere toplam 12 adet itme analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak boyutsuz koordinatları tepe yerdeğiştirmesi/çerçeve toplam yüksekliği ( $u_{N1}/H_N$ ) – taban kesme kuvveti/sismik ağırlık ( $V_{b1}/W$ ) olan itme eğrileri elde edilmiş ve bunlar Şekil 4'te sunulmuştur. İtme eğrilerindeki 1 indisi, çerçevelerin yükseklik boyunca biçimi değişmeyen birinci mod şekli ile orantılı yatay yük dağılımı ile artımsal olarak itildiğini ifade etmek için kullanılmıştır.



Şekil 4. Birinci titreşim modunun itme eğrileri

Birinci titreşim modunun itme eğrilerini kullanılarak çerçevelerin akma noktasının belirlenmesi için itme eğrileri iki doğrulu elasto-plastik bir diyagrama dönüştürülmüştür. Dönüştürme işleminde belirli bir yerdeğiştirme için itme eğrisinin ve elasto-plastik diyagramın altında kalan alanların eşitliği esas alınmıştır. Elasto-plastik model üzerinde iki doğru parçasının kesiştiği nokta, çerçevelerin akma noktası olarak belirlenmiştir. Akma noktasına ait tepe yerdeğiştirmesi ( $u_{N1y}$ ) ve taban kesme kuvveti

( $V_{bly}$ ) değerleri ikinci mertebe etkilerin ( $P-\Delta$  etkisi) dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için ayrı ayrı hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi ikinci mertebe etkilere bağlı olarak akma noktasının yerdeğiştirme koordinatının değişmediği kabul edilebilir. Bununla birlikte ikinci mertebe etkiler dikkate alındığında akma taban kesme kuvveti küçülmekte ve taşıyıcı sistemde daha küçük bir yatay yük değerinde akma oluşarak doğrusal olmayan davranış gözlenmektedir. Kat sayısının artmasıyla birlikte akma taban kesme kuvvetinde %5'e varan azalmalar görülmüştür.

**Tablo 4.** Sabit tek modlu itme hesabına ait akma noktası değerleri

N	P-Δ etkisi yok		P-Δ etkisi	
	$u_{Nly}$ (mm)	$V_{bly}$ (kN)	$u_{Nly}$ (mm)	$V_{bly}$ (kN)
2	21.81	369.88	21.87	364.43
3	28.17	505.35	28.16	497.24
5	46.26	592.34	46.26	579.04
8	75.67	661.68	75.80	640.16
10	94.20	681.12	94.47	654.06
12	112.48	702.24	112.73	668.37

Çerçevelerin akma-sözde ivmesinin hesabında kullanılan  $\Gamma_1$  katsayısı ile  $L_1$  kütesinin belirlenmesi için gerekli olan  $\phi_1$  mod vektörleri serbest titreşim analizinden elde edilmiştir.  $M_1 = 1$  olacak şekilde ölçeklenen  $\phi_1$  temel modun genlik değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Mod şeklinin genel görünümünü tanımlayan bu oranların ikinci mertebe etkilere bağlı olarak çok az değiştiği görülmektedir. Dolayısıyla ikinci mertebe etkiler nedeniyle  $\Gamma_1$  katsayısı ile  $L_1$  kütesindeki değişim ihmal edilebilir.

**Tablo 5.**  $\phi_1^T$  mod vektörleri

	N	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	j=9	j=10	j=11	j=12
P-Δ etkisi yok	2	0.05964	0.11359	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0.03154	0.07107	0.09669	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	0.01213	0.03227	0.05171	0.06664	0.07617	-	-	-	-	-	-	-
	8	0.00476	0.01386	0.02425	0.03437	0.04330	0.05052	0.05583	0.05948	-	-	-	-
	10	0.00303	0.00908	0.01634	0.02383	0.03096	0.03736	0.04277	0.04708	0.05027	0.05256	-	-
	12	0.00206	0.00632	0.01162	0.01729	0.02293	0.02827	0.03312	0.03735	0.04090	0.04371	0.04583	0.04742
P-Δ etkisi	2	0.05970	0.11354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	0.03159	0.07111	0.09662	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	0.01214	0.03233	0.05176	0.06664	0.07609	-	-	-	-	-	-	-
	8	0.00477	0.01390	0.02433	0.03446	0.04336	0.05053	0.05577	0.05936	-	-	-	-
	10	0.00303	0.00910	0.01641	0.02394	0.03107	0.03744	0.04281	0.04705	0.05018	0.05242	-	-
	12	0.00206	0.00634	0.01168	0.01739	0.02305	0.02839	0.03322	0.03741	0.04089	0.04364	0.04571	0.04726

Yukarıdaki veriler esas alınarak ikinci mertebe etkilerin ihmal edildiği ve dikkate alındığı durumlar için çerçevelerin akma-sözde ivme değerleri hesaplanarak Tablo 6'da sunulmuştur. Aynı tabloda birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$ 'e karşı gelen doğrusal elastik spektral ivmeler ( $S_{ae}(T_1)$ ) de yer almaktadır.  $S_{ae}(T_1)$  değerleri çerçevelerin deprem hesabında esas alınan yatay elastik tasarım ivme spektruma göre belirlenmiştir. İkinci mertebe etkiler nedeniyle birinci doğal titreşim periyodu uzadığı için spektrumun sabit hız bölgesinde  $T_1$ 'e karşı gelen doğrusal elastik spektral ivmelerin değiştiğine dikkat edilmelidir. Sonuç olarak Denklem (1) kullanılarak hesaplanan akma dayanımı azaltma katsayıları ( $R_y(T_1)$ ),  $P-\Delta$  etkisinin ihmal edildiği ve dikkate alındığı durumlar için Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 6'daki veriler incelendiğinde, ikinci mertebe etkiler dikkate alındığında akma dayanımı azaltma katsayısının büyüdüğü görülmüştür. İkinci mertebe etkiler dikkate alındığında 2, 3, 5, 8, 10 ve 12 katlı

çerçevelerin akma dayanımı azaltma katsayılarındaki artış sırasıyla %1.63, %1.42, %0.92, %1.27, %1.35 ve %2.73 olarak hesaplanmıştır. Bunun anlamı açıktır; ikinci merteye önem kazandığı sistemlerde daha küçük deprem yükleri etkisinde akma oluşarak elastikötesi davranış ortaya çıkacak ve depremin süneklik talebi artacaktır.

Tablo 6. Hesaplanan  $R_y$  değerleri

N	P-Δ etkisi yok						P-Δ etkisi					
	$T_1$ (s)	$V_{b1y}$ (kN)	$M_1^*$ (ton)	$a_{1y}$ (g)	$S_{ae}(T_1)$ (g)	$R_y(T_1)$	$T_1$ (s)	$V_{b1y}$ (kN)	$M_1^*$ (ton)	$a_{1y}$ (g)	$S_{ae}(T_1)$ (g)	$R_y(T_1)$
2	0.407	369.88	120.18	0.314	1.101	3.506	0.409	364.43	120.23	0.309	1.101	3.563
3	0.553	505.35	180.61	0.285	1.101	3.863	0.558	497.24	180.70	0.281	1.101	3.918
5	0.840	592.34	303.21	0.199	0.888	4.462	0.850	579.04	303.39	0.195	0.878	4.503
8	1.302	661.68	498.74	0.135	0.573	4.244	1.326	640.16	499.22	0.131	0.563	4.298
10	1.618	681.12	635.71	0.109	0.461	4.229	1.656	654.06	636.52	0.105	0.450	4.286
12	1.929	702.24	778.76	0.092	0.387	4.207	1.983	668.37	779.99	0.087	0.376	4.322

#### 4. Sonuçlar

Çalışmada TBDY kuralları çerçevesinde dayanıma göre tasarım yaklaşımıyla boyutlandırılan 2, 3, 5, 8, 10 ve 12 katlı betonarme çerçevelerde ikinci merteye etkilerin (P-Δ etkisinin) akma dayanımı azaltma katsayısına etkisi incelenmiştir. Şekildeğıştirmeye göre değerlendirme yaklaşımıyla uyumlu olarak akma dayanımı azaltma katsayıları doğrusal olmayan hesap sonucunda belirlenmiş ve ikinci merteye etkilere bağlı olarak dayanım azaltma katsayılarının değışimi incelenmiştir.

İkinci merteye etkiler nedeniyle birinci doğal titreşim periyodu uzadığı için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun spektral biçimine bağlı olarak sabit hız bölgesinde bu periyoda karşı gelen doğrusal elastik spektral ivmeler küçülmekte, sabit ivme bölgesinde ise değışmemektedir. İkinci merteye etkiler dikkate alındığında çerçevelerin akma dayanımı ve bununla ilintili akma-sözde ivmesi azalmaktadır. Depremin doğrusal elastik dayanım talebi ve taşıyıcı sistemin akma dayanımına bağlı olarak ifade edilen akma dayanımı azaltma katsayıları ikinci merteye etkiler dikkate alındığında daha büyük değerler almakta ve bunun sonucunda taşıyıcı sistem daha küçük deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan davranış bölgesine geçmektedir. Ayrıca akma dayanımı azaltma katsayılarındaki artışa bağlı olarak depremin süneklik talebinin artması beklenen bir sonuçtur.

Çalışmada incelenen çerçeveler için akma dayanımı azaltma katsayısındaki artış çok fazla olmasa da ikinci merteye etkilerin önem kazandığı narin yapılar için bu artış daha belirgin olarak ortaya çıkacaktır. Bu doğrultuda sunulan çalışmadan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak deprem tasarımı bakımından başlıca özelliği esnek yapılar olmaları olan yüksek ve narin yapılarda ikinci merteye etkilere bağlı olarak daha büyük akma dayanımı azaltma katsayılarının kullanılması önerilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] TBDY, *Türkiye bina deprem yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [2] Chopra, A.K., *Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering*, 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2012.





- [3] Sucuoğlu, H. and Akkar, S., *Basic earthquake engineering from seismology to analysis and design*, Springer International Publishing, Switzerland, 2014.
- [4] Chopra, A.K. and Chintanapakdee, C., “Inelastic deformation ratios for design and evaluation of structures: single-degree-of-freedom bilinear systems”, *Journal of Structural Engineering*, 130(9), 1309-1319, 2004.
- [5] Lam, N., Wilson, J. and Hutchinson, G., “The ductility reduction factor in the seismic design of buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27(7), 749-769, 1998.
- [6] Moghaddam, H. and Mohammadi, R.K., “Ductility reduction factor of MDOF shear-building structures”, *Journal of Earthquake Engineering*, 5(3), 425-440, 2001.
- [7] Tsiavos, A. and Stojadinović, B., “Constant yield displacement procedure for seismic evaluation of existing structures”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 2137-2164, 2019.
- [8] Tsiavos, A. and Stojadinovic, B., “Constant yield displacement approach for seismic design of structures”, *16th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE 2017)*, Santiago, Chile, January 9-13, 2017.
- [9] Tjhin, T.N., Aschheim, M.A. and Wallace, J.W., “Yield displacement-based seismic design of RC wall buildings”, *Engineering Structures*, 29(11), 2946-2959, 2007.
- [10] Aschheim, M., and Black, E.F., “Yield point spectra for seismic design and rehabilitation”, *Earthquake Spectra*, 16(2), 317-335, 2000.
- [11] Demir, F., Dilmaç, H., Tekeli, H. ve Güler, K., “Deprem yükü azaltma katsayısı üzerine bir inceleme”, *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 11-15 Mayıs, 2015.
- [12] Fenwick, R.C., Davidson, B.J. and Chung, B.T., “P-Delta Actions in Seismic Resistant Structures,” *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 25(1), 56-69, 1992.
- [13] Gupta, A. and Krawinkler, H., “Dynamic P-delta effects for flexible inelastic steel structures”, *Journal of Structural Engineering*, 126(1), 145-154, 2000.
- [14] Han, S.W., Kwon, O.-S. and Lee, L.-H., “Investigation of dynamic P- $\Delta$  effect on ductility factor”, *Structural Engineering and Mechanics*, 12(3), 249-266, 2001.
- [15] Adam, C., Ibarra, L.F. and Krawinkler, H., “Evaluation of P-delta effects in non-deteriorating MDOF structures from equivalent SDOF systems”, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004.
- [16] Asimakopoulou, A.V., Karabalis, D.L. and Beskos, D.E., “Inclusion of P- $\Delta$  effect in displacement-based seismic design of steel moment resisting frames,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(14), 2171-2188, 2007.
- [17] Pettinga, D. and Priestley, N., “Accounting for P-delta effects in structures when using direct displacement-based design”, *14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, October 12-17, 2008.
- [18] López, S.E., Ayala, A.G. and Adam, C., “A novel displacement-based seismic design method for framed structures considering P-Delta induced dynamic instability”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(4), 1227-1247, 2015.
- [19] Ucar, T. and Merter, O., “Derivation of energy-based base shear force coefficient considering hysteretic behavior and P-delta effects”, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 17(1), 149-163, 2018.
- [20] Pourali, N., Khosravi, H. and Dehestani, M., “An investigation of P-delta effect in conventional seismic design and direct displacement-based design using elasto-plastic SDOF systems”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(1), 313-336, 2019.
- [21] SAP2000 Ultimate, *Integrated solution for structural analysis and design*, Version 20.2.0, Computers and Structures Inc. (CSI), Berkeley, California, USA, 2018.

***The 2nd International Symposium of Engineering Applications on  
Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)***



- [22] ASCE/SEI 41-13, *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2014.



## Yüksek Dayanımlı Betonarme Kolonların Sargılı Beton Modelleri Confined Concrete Models of High Strength Concrete RC Columns

Hasan Orhun KÖKSAL<sup>1</sup>, Anıl IŞIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale,

[hokoksal@comu.edu.tr](mailto:hokoksal@comu.edu.tr)

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale,

[anilisik17@hotmail.com](mailto:anilisik17@hotmail.com)

**Özet:** Normal dayanımlı beton (NDB) için önerilen gerilme-birim şekildeğiştirme bağıntılarının YDB davranışı modellenirken bazı düzeltmelere ihtiyaç duyduğu ve bunun nedenlerinin irdelenmesi bu bildirinin temel konusudur. Bu çalışmada yüksek dayanımlı betondan (YDB) üretilmiş betonarme kolonlarda yanal kuşatma etkisi yaratan etriyelerin oluşturduğu sargılama mekanizması ve bu etkinin neden olduğu mukavemet artışı ve birim şekildeğiştirmedeki artışlar incelenecektir. TBDY 2018’de kuşatılmış beton dayanımı için önerilmiş olan Mander modeli irdelenerek YDB kullanılan kolonlarda güvensiz sonuçlar verdiği literatürdeki deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle karşılaştırılarak gösterilecektir. YDB kullanılan ve çeşitli etriye konfigürasyonlarına sahip iki farklı deneysel çalışmadan toplam 44 adet kolon sonucu irdelenerek TBDY 2018 tarafından önerilen bağıntıların kuşatılmış beton dayanımı için yaklaşık %15 mertebesinde fazla sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun başlıca nedenin etriyelerdeki gerilme değerleri olarak çeliğin akma mukavemetinin seçilmesinin olduğu sonucuna varılmış ve bu gerilmeleri yeniden tanımlamak amacıyla yeni bir bağıntı önerilmiştir. Bu bağıntının TBDY 2018’de önerilen yöntemi iyileştirdiği deneysel çalışmalar özelinde gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Normal dayanımlı beton (NDB), yüksek dayanımlı beton (YDB)

**Abstract:** Stress-strain models developed for normal strength concrete (NSC) need some improvements for their applications to the high strength concrete (HSC) elements and the validation of possible modifications constitutes the basis for this paper. In this study, the confinement effect and mechanism created by the lateral reinforcement of HSC columns and the increase in their strength and ductility will be evaluated. Comparing the experimental results in the literature it can be easily noticed that Mander model recommended by TBDY 2018 overestimates the stress-strain behavior of HSC columns. Evaluating the experimental results of forty-four specimens from two different studies on the HSC columns having several reinforcement configurations, it is observed that the predictions of the model is approximately 15% higher than the measured strength values. The primary reason is the direct use of the yield strength of the steel for the confinement pressure of the lateral reinforcement and therefore a new relation is proposed to the redefine the stresses in the confining steel. It is shown that the proposed relation improved the model in TBDY 2018 for the experiments analyzed in this study.

**Keywords:** Normal strength concrete (NSC), high strength concrete (HSC),

## 1.Giriş

Richardt vd. [1] nin çok eksenli basınç altındaki NDB davranışını incelediği deneyler, uzun yıllardır betonarme kolonların ya da lifli polimer sargılı betonların gerilme-birim şekildeğiştirme davranışlarını açıklamakta yararlanan kaynakların başında yer almıştır. Etriyeli kolonlarda en temel sorun, belirli aralıklarla yerleştirilen yanal donatıların oluşturduğu kuşatma basıncının eşdeğer düzgün yayılı basınca çevrilmesinde ortaya çıkmaktadır. İki yöndeki yanal kuşatma ile birlikte uygulanan eksenel yüklemenin oluşturduğu üç eksenli gerilme durumlarının doğru ve gerçekçi ifade edilmesi, deneysel çalışmalarla örtüşen teorik sonuçlara ulaşılması için tek yoldur. Bu amaçla Skeih ve Üzümeri [2] etriyelerin beton çekirdek üzerinde oluşturacakları etkin kuşatma gerilmeleri için geometrik bir model önermişler ve Şekil 1’de görüleceği üzere çekirdek üzerindeki ortalama gerilmeleri belirli bir katsayı ile azaltmışlardır. Bu yöntem daha sonra Mander vd [3] tarafından da tercih edilmiştir. Ancak Mander vd [3] beton için beş parametrelili William- Warnke modelinden [4] elde ettikleri bir bağıntıyı kuşatılmış beton dayanımını belirlemede kullanmışlardır. Aynı bağıntıyı TBDY 2018 [5]’de ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanmaktadır. Razvi ve Saatçioğlu [6] ise Richardt vd [1]’nin önerdiği deneysel bağıntı tarzında bir ifade geliştirmişlerdir. YDB kullanılan kolonlar için yeni bir yanal kuşatma basıncı bağıntısı önermişlerdir. Bu bağıntının teorik bir temeli bulunmamakla birlikte yanal kuşatma basıncının çelikteki gerilmenin, yanal donatı oranının ve beton çekirdeğin geometrik özelliklerinin bir fonksiyonu olması gerektiğinden yola çıkılarak geliştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada iki farklı deney serisinden toplam 44 YDB kullanılan kolonun kuşatılmış beton dayanımları sırasıyla TBDY 2018, Razvi-Saatçioğlu ve çalışma kapsamında betondaki en büyük gerilmeye ulaşıldığı ana karşılık gelen yanal donatıdaki gerilme için bağıntının kullanıldığı Mander modeli yardımıyla tahmin edilerek karşılaştırılacaktır.

## 2.Betonun Eksenel Davranış Modelleri

Skeih ve Uzumeri’nin [2] önerdikleri Şekil 1’de görülen etkili kuşatma basıncını iki ortogonal doğrultu için aşağıdaki bağıntılar ile tanımlamışlardır:

$$f_{lex} = k_{ex} f_{lavex} \quad (1)$$

$$f_{ley} = k_{ey} f_{lavey} \quad (2)$$

Bu bağıntılardaki  $k_{ex}$  ve  $k_{ey}$  katsayıları ise x- ve y- yönlerindeki etkin kuşatma katsayılarıdır. Kesit geometrisi ve enine donatı düzenlemesini dikkate alarak  $k_e$  katsayısını

$$k_e = \left(1 - \frac{\Sigma a_i^2}{6 b_c h_c}\right) \left(1 - \frac{s}{2 b_c}\right) \left(1 - \frac{s}{2 h_c}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_c h_c}\right)^{-1} \quad (3)$$

bağıntısıyla hesaplamayı önermişlerdir. Bu bağıntıda yer alan  $b_c$  ve  $h_c$  kolonun çekirdek kısmının boyutları,  $s$  etriyeler arası düşey mesafeyi,  $A_s$  boyuna donatı çubuklarının toplam kesit alanı ve  $\Sigma a_i^2$  ise iki komşu boyuna donatı çubuğu arasındaki mesafeyi göstermektedir.

TBDY 2018’de [5] yer alan Mander vd [3] modeli eksenel gerilme- birim şekildeğiştirme ilişkisi için Popovics [7] tarafından önerilen bağıntıyı kullanmaktadır.

$$\sigma_1 = \frac{f_{cc}' \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{cc}}\right)^r}{r - 1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{cc}}\right)^r} \quad (4)$$

Bu bağıntıda kullanılan değişkenler

$$r = \frac{E_0}{E_0 - E_{sec}}; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_c \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cc}'}{f_c'} - 1\right)\right]; \quad \text{and } \varepsilon_c \cong 0.002 \quad (5)$$

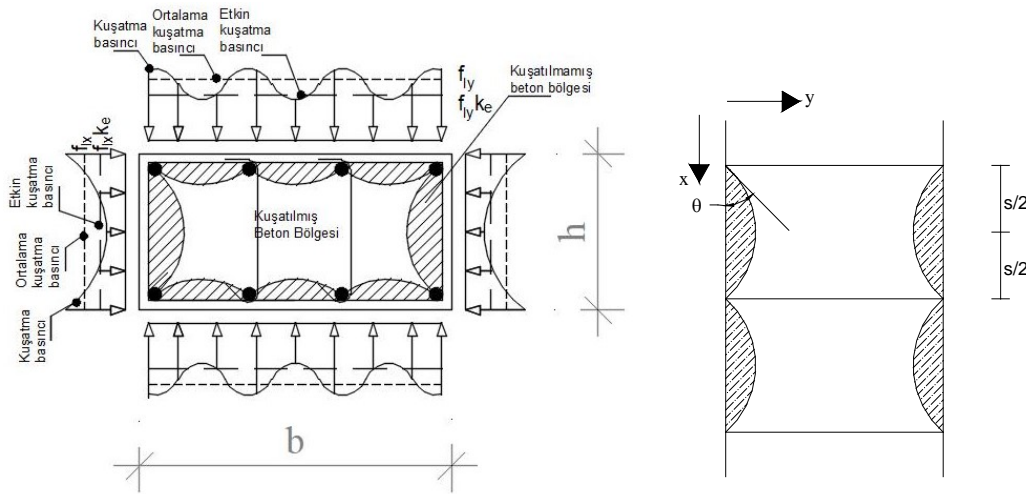
olarak verilmektedir. Burada başlangıç ve sekant elastisite modülleri ise

$$E_0 = 4750 \sqrt{f'_c}; \text{ and } E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (6)$$

şeklinde bu çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Kuşatılmış beton dayanımı  $f'_{cc}$  ise

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_{le}}{f'_{co}} - 2 \frac{f_{le}}{f'_{co}} - 1.254} \quad (7)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bağıntıda  $f'_{co}$  ise kuşatılmamış beton dayanımı olarak tanımlanmakta ve  $0.85f'_c$  olarak alınmaktadır.  $f'_c$  ise 28 günlük silindir basınç dayanımını göstermektedir.



Şekil 1. Beton çekirdek üzerine etkileyen kuşatma basınçlarının düzgün yayılı eşdeğer yük etkisine dönüştürülmesi ve etkili kuşatma basıncı

Razvi and Saatçioğlu [6] ise kuşatılmış beton dayanımı için Richardt vd. [1] tarafından önerilen bağıntı tarzında yanal kuşatma etkisini kuşatılmamış beton dayanımını doğrudan arttıracak matematiksel bir bağıntı geliştirmişlerdir:

$$f'_{cc} = f'_{co} + 6.7(k_2 f_l)^{0.83} \quad (8)$$

Bu bağıntıdaki  $k_2$  değeri:

$$k_2 = 0.15 \sqrt{\left(\frac{b_c}{s}\right) \left(\frac{b_c}{s_l}\right)} \leq 1.00 \quad (9)$$

şeklinde bulunmaktadır. Bu bağıntıdaki  $s_l$  düşey donatılar arası mesafeyi göstermektedir. Etkin kuşatma basıncı ise

$$f_{le} = k_2 \frac{\sum_{i=1}^n (A_{si} f_{si} \sin \alpha_i)}{s b_c} \quad (10)$$

bulunmaktadır.  $f_s$  yanal donatıda betonun en büyük dayanım değerine ulaştığı andaki gerilme değerini göstermektedir ve aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanmaktadır:

$$f_s = E_s \left\{ 0.0025 + 0.04 \sqrt[3]{\frac{k_2 \rho_c}{f'_{CO}}} \right\} \leq f_{yw} \quad (11)$$

Razvi-Saatçioğlu [6] da Mander vd.[3] ile benzer şekilde aksel gerilme-birim şekildeğiştirme eğrilerinin eğrinin kuşatılmış beton dayanımına kadar olan kısmı için Popovics bağıntısını kullanmaktadırlar. Yumuşama davranışının görüldüğü bölge için ise aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$\sigma_1 = f'_{cc} - \left( \frac{f'_{cc} - f'_{c85}}{\varepsilon_{cc} - \varepsilon_{c85}} \right) (\varepsilon_1 - \varepsilon_{cc}) \quad (12)$$

Bu bağıntıdaki birim şekildeğiştirme değerlerinin hesaplanması için verilen bir takım ek bağıntılar Razvi ve Saatçioğlu'nun çalışmasından görülebilir [6].

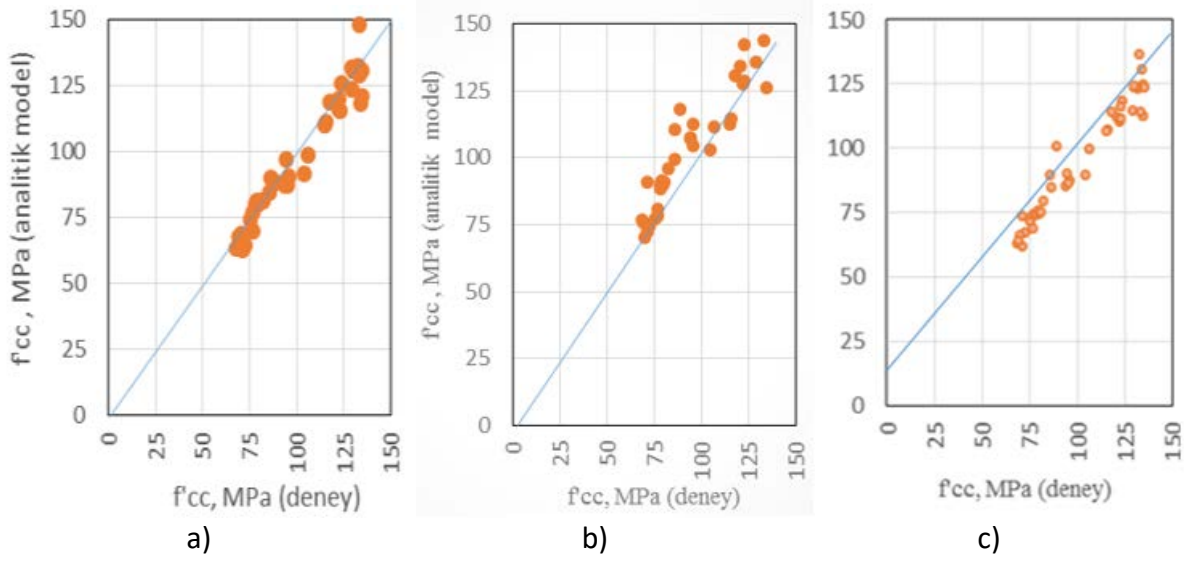
Bu çalışmada TBDY 2018'in önerdiği Mander modeli ve Razvi-Saatçioğlu bağıntılarının YDB kullanılarak üretilen betonarme kolon deneylerinde bulunan kuşatılmış beton dayanımları için yaptıkları tahminler Çizelge 1'de verilmiştir. Şekil 2'de ise tahminlerle deney sonuçları karşılıklı olarak her bir model için grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu modellerden TBDY 2018'in kullandığı Mander modelinin çoğunlukla güvensiz tarafta kalan dayanım değerleri verdiği açıkça görülmektedir. Bu nedenle Razvi-Saatçioğlu [6] ve Suzuki vd.[8] gibi araştırmacıların YDB betonlar için enine donatıdaki gerilmeleri sınırlamak yoluna gittikleri anlaşılmaktadır. Bu çalışmada da enine donatıdaki gerilmeleri sınırlamak için aşağıdaki bağıntı geliştirilerek önerilmiştir:

$$f_s = E_s k_e \frac{\bar{f}_s}{f_c} r_u \quad (13)$$

burada

$$\bar{f}_s = \frac{f_{yw}}{1800} \text{ ve } r_u = \frac{n\pi\varphi}{2(b_0+h_0)} \quad (14)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $r_u$  etriye ve kolon geometrisine bağlı boyutsuz bir büyüklüğü,  $n$  x ve y yönlerindeki toplam etriye kol sayısını,  $\varphi$  ise etriye çapını göstermektedir. Bağıntı 1400 MPa'a kadar akma gerilmesine sahip olan çeliklerle sınırlıdır. Bu bağıntı TBDY 2018 yönetmeliğinde Mander modeli için uygulandığında modelin yaptığı tahminlerin güvenli tarafta kalacak şekilde geliştiği Şekil 2c'de görülmektedir. Razvi-Saatçioğlu modeli 44 kolon için  $f_{cc(model)}/f_{cc(deney)}$  oranı için 0.98'lik ortalama ve 0.04'lük standart sapma değerine sahiptir. Bu model herhangi bir beton kırılma kriteri kullanmamaktadır. Önerdikleri etkili kuşatma basıncı Mander bağıntılarında kullanıldığında önemli bir değişme elde edilememektedir. Bu ise önerdikleri kuşatma basınçlarının en azından William Warnke kırılma kriterine [4] uygun olmadığına bir göstergesidir. Ancak model, bu iki deneysel çalışma temel alındığında kuşatılmış beton basıncını en yakın şekilde tahmin etmektedir. TBDY 2018 ise 1.14'lük ortalama ve 0.11'lik standart sapma değerleri ile deney sonuçlarından güvensiz bir şekilde uzak kalmıştır. Bağıntı (13 ve (14) kullanılarak hesaplanan çelik gerilmesi değerinin temel alındığı Mander bağıntıları ve dolayısıyla TBDY 2018 yaklaşımı Çizelge 1'den görüleceği üzere güvenli bir biçime gelmektedir ve 0.94'lük ortalama ile 0.05'lik standart sapma sonuçlarına ulaşılmaktadır. Şekil 3'te bir tane Razvi-Saatçioğlu deneylerinden [6] ve üç adet Nagashima vd [9] kolonları için elde edilen aksel gerilme-birim şekildeğiştirme eğrileri deneysel ve analitik değerler temel alınarak karşılaştırılmıştır. Deneysel verilerin TBDY 2018 modeli için elde edilen sonuçlar dışında diğer iki model sonuçları ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Sargılı beton modellerinin 44 YDB kullanılan betonarme kolonlar için dayanım tahminleri; a) Razvi and Saatçioğlu [6]; b) TBDY 2018 (Mander modeli) c) Bağıntı (13)-(14) kullanılan Mander modeli

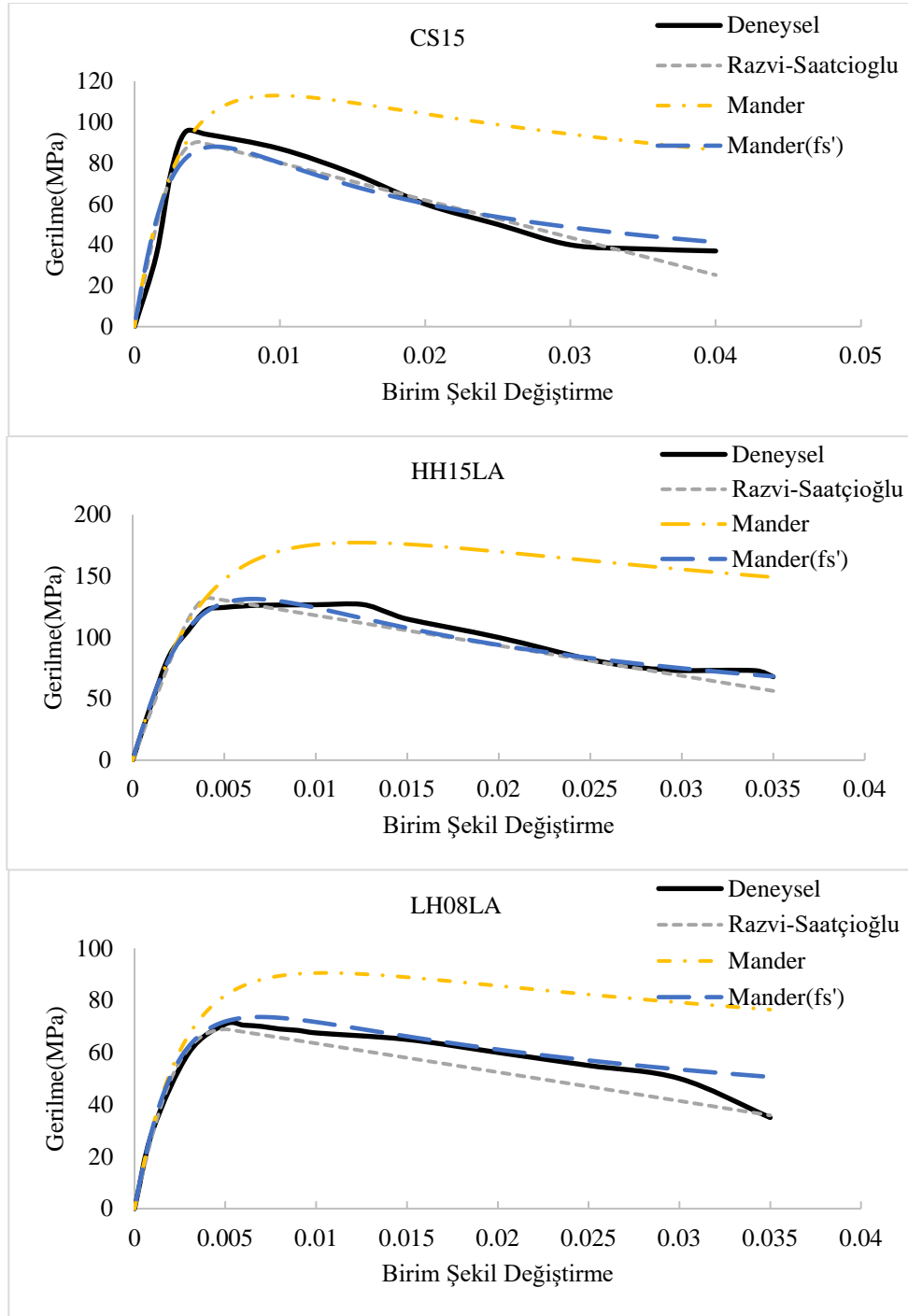
### 3. Sonuç

NDB kullanılan etriyeli kolonlar 1960'li yıllardan itibaren önerilmiş çok sayıda analitik model bulunmaktadır. Ülkemiz Deprem Yönetmeliğinde de en çok kabul gören çalışmalardan biri olan Mander Modeli 2007 yılından itibaren kullanılmaktadır. Ancak 2010'lu yıllarla beraber YDB kullanımının dünya genelinde artış göstermesi ile birlikte NDB modellerinin bir takım düzeltmeler gerektirdiği zaman içinde ortaya çıkmıştır [10]. Bu modellemelerde başlıca değişiklik yanıl kuşatma basıncı değerinde yapılan düzeltmelerdir. Bu bildiri kapsamında bu amaçla çekirdek betonun en büyük gerilme değerine ulaştığı anda yanıl donatıdaki gerilme değeri için bir bağıntı önerilmiştir. Bu bağıntı kullanılarak YBDY 2018'in de kullandığı Mander modelinin güvenli tarafta kalacak şekilde kuşatılmış beton dayanımı tahminleri verdiği belirlenmiştir. Bu karşılaştırmalar teknik literatürde yer alan iki farklı deney serisine ait toplam 44 kolon için yapılmıştır. Çalışmanın ileri aşamalarında daha farklı deney kolonlarının da incelenmesi ve önerilen bağıntının gerekli görülürse düzeltilmesi amaçlanmaktadır. Modellemede veya ampirik bağıntılarda önerilen yanıl kuşatma basıncıyla ilgili üç eksenli gerilme durumunun doğruluğu ancak beton için önerilmiş bir kırılma kriteri kullanılarak kontrol edilebilir. Bu bakımdan Mander modelindeki kriterden elde edilen sonuçların önerilen bağıntı kullanıldığında deneysel verilere daha yakın sonuç vermesi bağıntıdan elde edilen çelik gerilmesi değerlerinin doğruluğunun değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu durum göz ardı edilirse Razvi-Saatçioğlu modeli ise kendi içinde tutarlı ve son derece gerçekçi sonuçlar ampirik bir bağıntıyı içermektedir.

**Çizelge 1.** YDB kullanılan betonarme kolon numuneler için deneysel olarak ve analitik modellemeler sonucu elde edilen kuşatılmış beton dayanımı değerleri

Kolon No.	$f'_{co}$ (MPa)	$f_{le [R]}$ (MPa)	$f_{le [M]}$ (MPa)	$f_{le [S']}$ (MPa)	$f'_{cc [Exp]}$ (MPa)	$f'_{cc}$ (MPa)		
						Razvi Saatçioğlu	TBDY 2018	TBDY 2018
CS 1	105,4	2,1	4,5	1,0	120,8	0,98	1,11	0,93
CS 2	105,4	2,1	3,4	0,7	121,6	0,97	1,05	0,91
CS 3	105,4	3,4	4,8	1,4	129,1	0,96	1,05	0,89
CS 4	105,4	3,8	8,0	2,0	123,4	1,02	1,24	0,96
CS 5	105,4	1,8	3,5	0,8	122,5	0,95	1,05	0,91
CS 6	105,4	0,8	1,3	0,2	115,7	0,96	0,99	0,93
CS 7	105,4	0,7	1,1	0,2	115,0	0,96	0,98	0,93
CS 8	105,4	2,4	4,1	1,3	117,8	1,01	1,11	0,97
CS 9	105,4	2,3	3,2	1,2	134,2	0,88	0,94	0,84
CS 11	68,9	3,4	6,7	2,6	93,9	0,93	1,14	0,91
CS 12	68,9	2,1	4,5	1,6	82,1	0,99	1,17	0,97
CS 13	78,2	2,1	3,4	1,0	85,9	1,05	1,16	0,99
CS 14	78,2	3,4	4,8	1,9	94,3	1,03	1,14	0,96
CS 15	68,9	4,1	8,0	3,0	95,5	0,95	1,18	0,92
CS 16	68,9	3,4	6,1	2,8	95,2	0,92	1,10	0,91
CS 17	68,9	0,8	1,3	0,4	75,2	0,99	1,03	0,95
CS 18	68,9	1,2	1,8	0,7	76,4	1,01	1,06	0,97
CS 19	78,2	2,4	4,1	1,8	104,2	0,88	0,99	0,86
CS 20	78,2	3,8	5,6	3,4	106,3	0,93	1,05	0,94
CS 22	51,0	2,0	4,4	1,6	68,0	0,93	1,13	0,93
CS 23	51,0	2,0	3,5	1,5	71,3	0,88	1,01	0,87
CS 24	51,0	2,4	4,1	2,7	72,6	0,89	1,03	0,93
CS 25	51,0	2,3	3,2	2,4	69,7	0,92	1,01	0,95
CS 26	51,0	3,4	4,8	2,9	76,7	0,91	1,02	0,90
HH08LA	98,8	3,0	7,5	2,0	122,8	0,94	1,16	0,91
HH10LA	98,8	4,1	9,7	2,7	122,5	0,98	1,25	0,95
HH13LA	98,8	6,3	13,2	3,9	131,5	0,99	1,29	0,94
HH15LA	98,8	7,0	15,1	5,3	132,5	1,00	1,40	1,03
HH20LA	100,4	10,7	20,6	7,5	133,5	1,11	1,35	0,98
HL06LA	100,4	3,9	5,4	1,4	134,5	0,90	1,13	0,93
HL08LA	100,4	5,8	7,4	2,1	133,2	0,97	1,08	0,86
LL05LA	51,3	3,0	4,2	2,1	68,9	0,98	1,10	0,93
LL08LA	51,3	5,8	7,4	4,1	78,4	1,02	1,13	0,95
LH08LA	51,3	3,2	7,5	3,8	70,9	0,97	1,28	1,04
LH13LA	51,3	7,0	13,2	7,4	85,7	0,99	1,29	1,05
HH13MA	100,4	6,3	13,2	3,8	131,8	1,00	1,30	0,94
HH13HA	100,4	6,3	13,2	3,8	129,2	1,02	1,32	0,96
LL08MA	51,3	5,8	7,4	4,1	79,6	1,01	1,13	0,94
LL08HA	51,3	5,8	7,4	4,1	78,0	1,03	1,15	0,96
LH15LA	52,4	7,6	15,1	10,0	88,7	1,00	1,33	1,14
HH13MSA	100,4	6,3	13,2	3,8	129,7	1,01	1,32	0,96
HH13HSA	100,4	6,3	13,2	3,8	134,8	0,97	1,27	0,92
LL08MSA	52,4	5,8	7,4	4,0	79,0	1,03	1,16	0,96
LL08HSA	52,4	5,8	7,4	4,0	80,5	1,01	1,13	0,94
Ortalama						0,98	1,14	0,94
Standart Sapma						0,04	0,11	0,05





Şekil 3. Deney kolonlarının eksenel gerilme-birim şekildeğişirme eğrilerinin analitik model sonuçlarıyla karşılaştırılması

### KAYNAKLAR

- [1] Richardt FE, Brandtzaeg A, Brown RL, "A study of the failure of concrete under combined compressive stresses", *University of Illinois, Engineering Experimental Station, Bull. No. 185, Urbana, Ill, 104, 1928.*
- [2] Sheikh SA, Uzumeri SM. "Strength and ductility of tied concrete columns", *J Struct Eng, ASCE, vol. 106(8), pp. 1079–1102, 1980.*



- [3] Mander JB, Priestley MJN, Park R, “Theoretical stress–strain model for confined concrete”, *J Struct Eng, ASCE*, vol. 114, pp. 1804-1826, 1988.
- [4] William KJ, Warnke, EP.” Constitutive model for the triaxial behavior of concrete”, *In: Proc international association for bridge and structural engineering*, vol 19, pp. 1–30, 1975.
- [5] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Mayıs 2018.
- [6] Saatçioğlu M and Razvi SR. “Strength and ductility of confined concrete”, *J Struct Eng, ASCE* vol. 108(12):pp. 2703–23, 1992.
- [7] Popovics, S. “A numerical approach to the complete stress-strain curves for concrete”, *Cement and Concrete Research*, vol. 3 (5), pp. 583-599, 1973.
- [8] Suzuki M, Akiyama M, Hong KN, Cameron ID, Wang WL. “Stress-strain model of high-strength concrete confined by rectangular ties”. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 3330, 2004.
- [9] Nagashima, T, Sugano, S, Kimura, H, and Ichikawa, A, ‘Monotonic axial compression test on ultra-high-strength concrete tied columns.’ *Proc., 10th World Conf. on Earthquake Engrg.*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 2983–2988. 1992.
- [10] Somma G and Pieretto A, “Confinement effects on high strength concrete under axial load: evaluation of International Standards prescriptions”, *Materials and Structures*, vol. 49, pp.57–69, 2016.



## Alkali-Activated Materials Reinforced with Polypropylene Fiber

Iyad Asri AHMED<sup>1</sup>, Şeyda HACIHASANOĞLU<sup>1</sup>, Mahfuz PEKGÖZ<sup>1\*</sup>, İlker TEKİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

\* [mahfuzpekgoz@karabuk.edu.tr](mailto:mahfuzpekgoz@karabuk.edu.tr)

**Abstract** : In this study, the mechanical properties of tuff-based geopolymer mortars with and without polypropylene (PP) fiber were investigated to examine the behavior of the hardened geopolymer mortar. In order to produce alkali-activated pastes, sodium hydroxide and sodium silicate were used as activators, zeolitic tuff, and marble waste were used as solid material. Flexural and compressive strength tests were performed on hardened geopolymer pastes at the age of 2 and 28 days. Moreover, final setting time and flow table test for workability were performed on fresh state pastes. The results of this study showed that PP fibers cause an increase in the flexural strength of the specimens. However, PP fibers have no significant effect on compressive strength values.

**Key Words:** Geopolymer, Mechanical Properties, Zeolitic Tuff, Polypropylene Fiber

### 1. Introduction

Concrete is one of the most widely used material in the world. One of the main components of concrete is Ordinary Portland cement (OPC). OPC is conventionally used as the primary binder to produce conventional concrete. However, cement production increases CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere. Approximately 5–7% of total CO<sub>2</sub> emissions in the world are generated by cement [1, 2]. As a result of this, researchers have been trying to find an eco-friendly alternative binder for conventional concrete and giving satisfying mechanical and physical properties. And geopolymer material was one of the developments related to novel materials as an alternative to Portland cement. This material has a positive effect on the reduction of the consumption of cement, emission of carbon dioxide, and the greenhouse effect [3].

Geopolymer is an inorganic polymer produced by Joseph Davidovits (1978) [4]. Davidovits proposed that an alkaline liquid could be used to react with silicon (Si) and aluminum (Al) as a source material of geological origin. Or with by-product materials such as metakaolin, fly ash, ground granulated blast furnace slag, red mud, and mine waste to produce binders [4–6]. And to activate these materials, alkali activators solution mainly consists of soluble alkalis that usually consist of sodium-based or potassium-based used. However, Sodium hydroxide (NaOH), in combination with sodium silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), is the commonly used alkaline activator to develop Geopolymer concrete [7, 8].

Existing studies have confirmed that the geopolymer concrete has comparable mechanical properties as compared to the ordinary Portland cement concrete. Previous studies compared between geopolymer and concrete made with Portland cement, and the results showed that geopolymer has higher compressive strength, effective in acid resistance, lower shrinkage, and effective in heavy metal absorption compared with concrete made with Portland cement [9–14]. However, due to the brittleness

of the geopolymer and the low ductility values, the use of fiber has increased along with these materials by researches. Fibers generally help to overcome the brittle behavior of geopolymers material; incorporation of different types of fibers in the geopolymer mixes have a positive impact on achieving desired mechanical and durability properties by increasing the ductility of this material [15, 16].

Previous studies mainly focused on mechanical, physical, chemical, and thermal properties of the slug-based geopolymer and fly-ash based geopolymer. However, this study will focus on the mechanical properties such as flexural strength and compressive strength of the tuff-based geopolymer paste with and without polypropylene fiber.

## **2. Materials and Method**

In this section, the details of material, mixture proportion and mixing procedure, casting and curing of specimens, and the tests of hardened specimens to prepare the geopolymer paste are shown.

### **2.1. Materials**

The materials section will be divided into six main sections and those sections are alkali-activated materials, binders, polypropylene fiber and, water.

#### **2.1.1. Alkali-activated materials**

In this study, a combination of sodium silicate solution, sodium hydroxide, and water used as an alkali-activated material. Sodium-based solutions were chosen because they were cheaper than Potassium-based solutions. And the water was used to decrease the cost of production of this material. The solution was used at a concentration of 8M of Sodium hydroxide. This 8M gives a 320 g of sodium hydroxide solids, which will be dissolved in 1L of a combination of a solution contains 30% of water and 70% of sodium silicate.

#### **2.1.2. Binders**

In this study Zeolitic tuff waste with a max size of 100  $\mu\text{m}$  was used as the main component of tuff-based geopolymer mortar. In addition, marble waste with a max size of 100  $\mu\text{m}$  was used. Their chemical composition is given in Table 1. Marble is used because it is a suitable material for geopolymerization reaction and that is referred to the main component of marble the calcite.

**Table 1.** Chemical composition of zeolitic tuff and marble waste

<b>Compounds</b>	<b>Zeolitic tuff (%)</b>	<b>Marble waste (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	68.92	0.7
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11.96	0.76
<b>Fe<sub>2</sub>O</b>	0.34	0.2
<b>CaO</b>	3.85	55.1
<b>MgO</b>	1.29	0.2
<b>SO<sub>3</sub></b>	0.21	-
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.23	-
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2.38	0.14

### 2.1.3. Polypropylene fiber

In this investigation, polypropylene fibers are used with a length of 12 mm. Polypropylene fiber added to the mix in 0%, 1%, 2% and 3% by volume of concrete.

### 2.1.4. Water

Tap water was used in this study.

## 2.2. Mix proportion

Table 2 shows the Mix proportions of composites (by weight) for all BPN specimens.

Table 2. Mix proportions of composites (by weight)

Ref. no	Zeolitic tuff	Marbel waste	Solution (water+ NaSi+ NaOH)	NaSi	PP fiber	Water	NaOH (M)	solution/solid
BPN0	32.5%	30.0%	37.4%	0.70	0.00%	0.30	8	0.60
BPN1	32.5%	30.0%	37.4%	0.70	0.37%	0.30	8	0.60
BPN2	32.5%	30.0%	37.4%	0.70	0.73%	0.30	8	0.60
BPN3	32.5%	30.0%	37.4%	0.70	1.11%	0.30	8	0.60

### 2.3. Mixing procedure

Mixing was carried out in two stages. The first stage was mixing the alkali-activated solution with the Zeolitic tuff until the mix becomes homogenous. The second stage is adding the marble waste to the mix and start mixing with Hobart mixer with slow speed for 30 seconds after that the mixing will continue with rapid speed for 60 seconds.

### 2.4. Casting of specimens, curing, and testing of hardened specimens

The fresh geopolymer concrete was placed in steel moulds of dimensions 4 x 4 x 16 cm for testing the compressive strength and flexural strength according to TS EN 196-1 as shown in Figure 1 a and b. And to fill all the spaces in moulds, the moulds have been shaken manually. Moreover, final setting time and flow table test for workability were performed on fresh state pastes. After that, the specimens let to set at the room temperature of  $24 \pm 2$  C and  $55 \pm 5\%$  relative humidity. After that, the specimens were removed from the moulds and left to cure at the room temperature of  $24 \pm 2$  C and  $55 \pm 5\%$  relative humidity until the test's day.

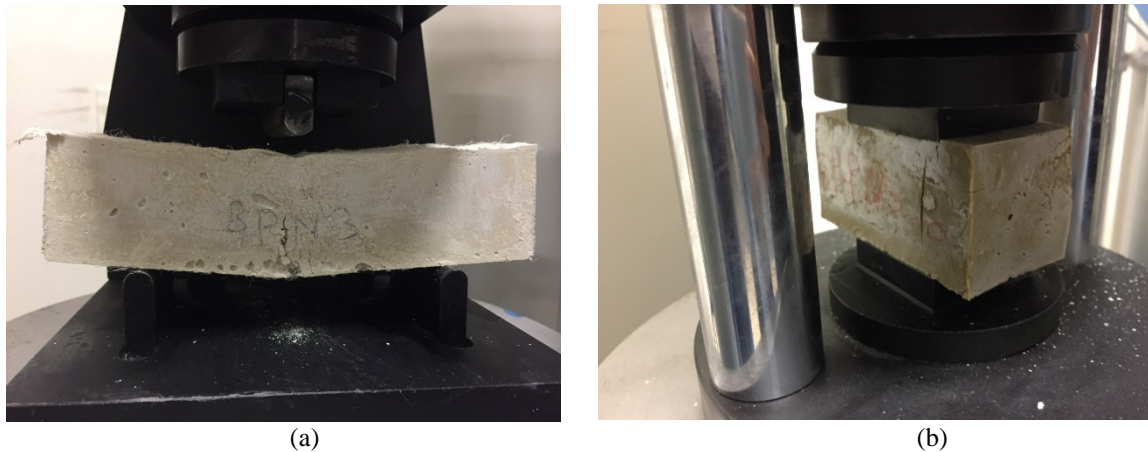


Figure 1. a) Flexural strength test for a geopolymer specimen, b) Compressive strength test for a geopolymer specimen

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Flexural strengths

As shown in Figure 2, there was no significant difference in the 5<sup>th</sup> day flexural strength of the geopolymer paste without fiber compared to the geopolymer with PP fiber. It can be concluded that PP fiber does not contribute to flexural strength in a short time. Some of the reasons why PP fiber is ineffective in 5-day flexural strength can be that PP fibers are pulled off from the geopolymer matrix because the geopolymer material could not reach sufficient hardness in a short time, PP fiber does not work actively, and only the matrix works. Although the percentage of PP fibers increased, the difference in flexural strength did not affect sufficiently. There was no noticeable difference in the 36-day flexural strength of the geopolymer without fiber compared to a geopolymer with PP fiber. Therefore, the 36-day bending strength is not sufficiently effective, even though the percentage of the PP fiber is increased to 3%.

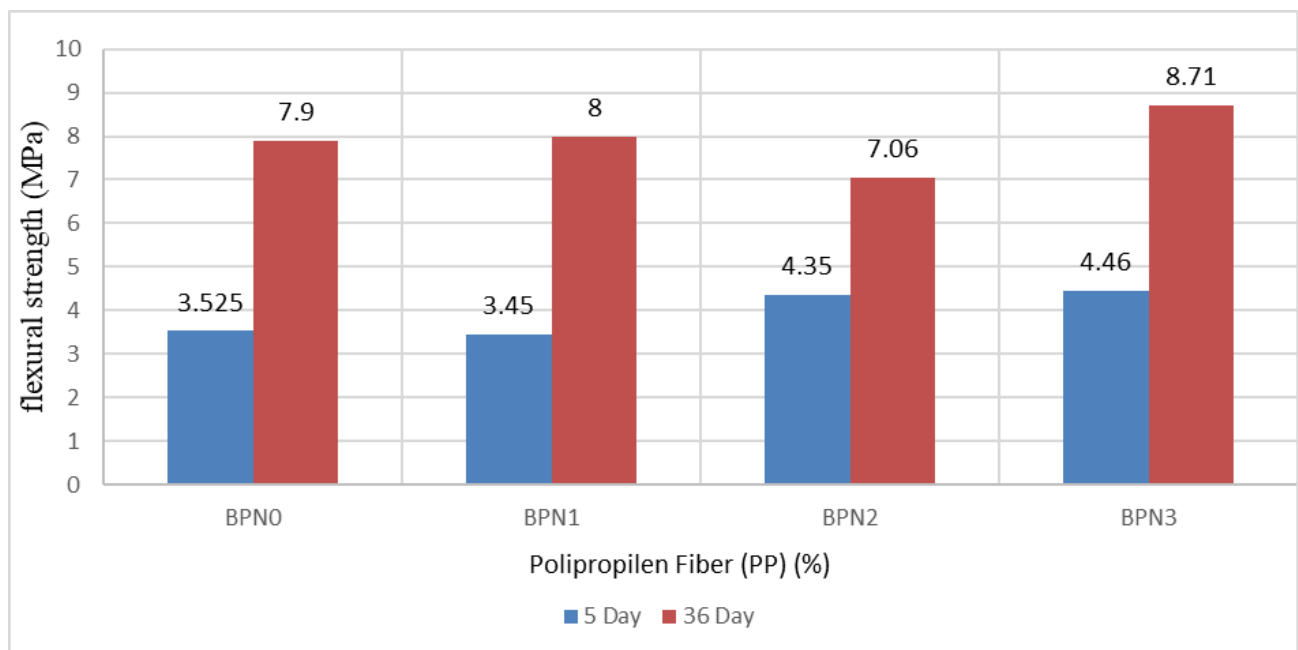


Figure 2. The flexural strength of the testing specimens at the 5th and 36th days of production.

The flexural strength of the geopolymer paste without fiber increased by adding the PP fiber from the 5<sup>th</sup> day to the 36<sup>th</sup> day by 124.11%. Results showed that using 1% of PP fiber would be more effective in flexural strength. In addition, the flexural strength of BPN1 increased by 7.77% compared to BPN0 in the 36<sup>th</sup> day of production. The flexural strength increases with the efficient functioning of the PP fiber due to the hardening of the geopolymer material over time.

### 3.2. Compressive strength

As shown in Figure 3, the geopolymer paste without fiber does not affect the 5-day compressive strength compared to the geopolymer with PP fiber. Results showed that the BPN1 and BPN2 geopolymer pastes had higher compressive strength than BPN3 in 5<sup>th</sup> day of production. Therefore, the matrix of the geopolymer works, and the fiber works poorly in the 5<sup>th</sup> day of production. In addition, results showed that the compressive strength of PP fiber geopolymer paste compared to geopolymer without fiber paste increased approximately by 16-26% in the 36<sup>th</sup> day of production. Therefore, the matrix and the fiber work strongly for the 36<sup>th</sup> day compressive strength of PP fiber.

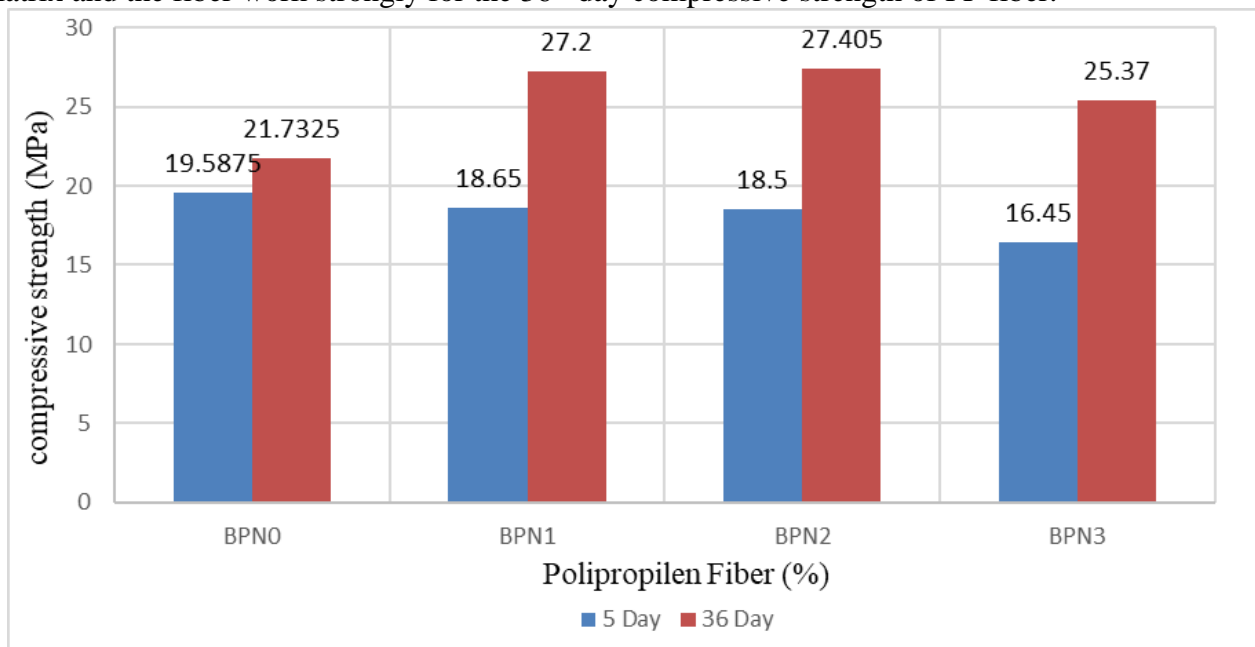


Figure 3. The compressive strength of the testing specimens at the 5th and 36th days of production

The compressive strength of the fibers geopolymer pastes increased by 46%, 48%, and 54% for BPN1, BPN2, and BPN3, respectively, from the 5<sup>th</sup> day to the 36<sup>th</sup> day of production. Therefore, 3% of the PP fiber would be more effective in compressive strength. In addition, results showed that BPN3 fibers geopolymer material has increased the compressive strength by 43% compared to BPN0. Thus, the compressive strength could be increased with the effective functioning of the fiber.

### 3.3. Final setting time and flow table test

The final setting time for all specimen was approximately 10 hours. BPN0 25 cm, BPN1 22 cm, BPN2 18 cm, and BPN3 15 cm was found in the flow table. It has been determined that as the PP fiber increase, the processability decreases.

#### 4. Conclusions

From the results of this study, it was concluded that:

- There is no significant effect in the 5th day flexural strength for the geopolymer paste with and without PP fiber.
- PP fiber increase the bending strength by 7.77% compared to geopolymer paste without fiber in 36-day of production.
- Geopolymer paste with fiber can increase the flexural strength up to 100% from the 5th day to the 36th day of production with the effective operation of PP fiber.
- The 5-day-old PP fiber geopolymer paste has no significant effect on compressive strength compared to geopolymer paste without fiber.
- PP fiber increases the compressive strength approximately by 16-26% compared to geopolymer paste without fiber in 36-day of production.
- Results showed that in the PP fiber geopolymer paste production, only the matrix work in the first week. After that, the flexural and compressive strength will increase with the work of the PP fiber.

#### REFERENCES

- [1] A. Fernández-Jiménez and A. Palomo, "Properties and uses of alkali cements," *Rev. Ing. Constr.*, vol. 24, no. 3, pp. 213–232, 2009, doi: 10.4067/S0718-50732009000300001.
- [2] B. C. McLellan, R. P. Williams, J. Lay, A. Van Riessen, and G. D. Corder, "Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement," *J. Clean. Prod.*, vol. 19, no. 9–10, pp. 1080–1090, 2011, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.02.010.
- [3] P. Eswaramoorthi and G. E. Arunkumar, "Fibers Study On Properties Of Geopolymerconcrete With Polypropylene," *Int. Ref. J. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 60–75, 2014.
- [4] J. Davidovits, "Geopolymers - Inorganic polymeric new materials," *J. Therm. Anal.*, vol. 37, no. 8, pp. 1633–1656, 1991, doi: 10.1007/BF01912193.
- [5] F. Slaty, H. Khoury, J. Wastiels, and H. Rahier, "Characterization of alkali activated kaolinitic clay," *Appl. Clay Sci.*, vol. 75–76, pp. 120–125, 2013, doi: 10.1016/j.clay.2013.02.005.
- [6] R. Embong, A. Kusbiantoro, N. Shafiq, and M. Nuruddin, "Strength and Microstructural Properties of Fly Ash based Geopolymer Concrete containing High-Calcium and Water-Absorptive Aggregate," *J. Clean. Prod.*, vol. 112, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.06.058.
- [7] D. Kong and J. Sanjayan, "Damage behavior of geopolymer composites exposed to elevated temperatures," *Cem. Concr. Compos. - Cem. Concr. Compos.*, vol. 30, pp. 986–991, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2008.08.001.
- [8] I. Tekin, "Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, pp. 607–617, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.10.038.
- [9] S. Andrejkovičová *et al.*, "The effect of natural zeolite on microstructure, mechanical and heavy metals adsorption properties of metakaolin based geopolymers," *Appl. Clay Sci.*, vol. 126, pp. 141–152, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.009>.
- [10] L. Assi, S. Ghahari, E. Deaver, D. Leaphart, and P. Ziehl, "Improvement of the early and final compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete at ambient conditions," *Constr.*





- Build. Mater.*, vol. 123, pp. 806–813, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.069.
- [11] P. Duan, C. Yan, W. Zhou, and D. Ren, “Fresh properties, compressive strength and microstructure of fly ash geopolymer paste blended with iron ore tailing under thermal cycle,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 118, pp. 76–88, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.059.
- [12] P. Duan, C. Yan, W. Zhou, W. Luo, and C. Shen, “An investigation of the microstructure and durability of a fluidized bed fly ash–metakaolin geopolymer after heat and acid exposure,” *Mater. Des.*, vol. 74, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.matdes.2015.03.009.
- [13] F. N. Okoye, J. Durgaprasad, and N. B. Singh, “Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete,” *Ceram. Int.*, vol. 42, no. 2, Part B, pp. 3000–3006, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.10.084>.
- [14] P., M. Srinivasula Reddy, P. Dinakar, B. Hanumantha Rao, B. K. Satpathy, and A. N. Mohanty, “A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash,” *J. Clean. Prod.*, vol. 133, no. October 2018, pp. 117–125, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.041.
- [15] J. Asanammal, S. 1, and M. Uzair, “A Literature Review on Fiber Reinforced Geopolymer Concrete – Glass and Steel Fibers,” vol. 8, no. April, pp. 408–411, 2017, [Online]. Available: [www.ijert.org](http://www.ijert.org).
- [16] J. Mishra and R. Panigrahi, “Mini-Review on Structural Performance of Fiber Reinforced Geopolymer Concrete,” vol. 3, no. 2, pp. 435–442, 2020, doi: 10.1515/IJITIS.2020.3.2.435-442.



## Tane Dağılımı Optimize Edilmiş Yüksek Fırın Cürufunun Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi

### Effect Of Granulated Blast Furnace Slag Having Optimized Particle Size Distribution on Alkali Silica Reaction

İlhami DEMİR<sup>1</sup>, Burak SİVRİKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale 71451, Turkey

<sup>2</sup> Kaman Vocational School, Building Inspection, Kırşehir Ahi Evran University, Kırşehir, Turkey

**Özet :** Beton yapılar günümüzde en çok tercih edilen yapı türüdür. Beton yapıların ekonomik olmasının yanı sıra, her yapı malzemesi gibi maruz kaldığında zarar görebileceği çevresel ve kimyasal etmenler vardır. Bu kimyasal etmenlerden biriside alkali silika reaksiyonudur. Alkali silika reaksiyonu, betonu oluşturan çimento ve agreganın kimyasal içeriğine bağlı olarak genellikle nemli bölgelerde ve su yapılarında görülür. Bu çalışmada demir ocaklarında elde edilen yüksek fırın cürufu, normal hali ile ve tane dağılımı yeniden yapılandırılarak betonu oluşturan çimentoya ikame edilerek yüksek fırın cürufunun tane dağılımının alkali silika reaksiyonuna etkisi araştırılmıştır. Yüksek fırın cürufu ikamesi içermeyen şahit numune ve %5, 10, 15, 20 oranlarında yüksek fırın cürufu ikamesi yapılarak harç çubukları elde edilmiştir. Daha sonrasında ise yüksek fırın cürufu tane dağılımı vakumlu elek yardımı ile yeniden yapılandırılmış ve aynı yöntemler kullanılarak %5, 10, 15 ve 20 oranlarında tane dağılımı optimize edilmiş yüksek fırın cürufu ikameli harç çubukları hazırlanmıştır. Elde edilen numuneler değerlendirilerek yüksek fırın cürufunun tane dağılımının alkali silika reaksiyonuna etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, yüksek fırın cürufunun tane dağılımının optimize edilmesinin ve %20ye kadar ikame oranının artırılmasının alkali silika reaksiyonunu azalttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Fırın Cürufu, beton, çimento

**Abstract :** Concrete structures are the most preferred type of building today. In addition to the fact that concrete structures are economical, there are environmental and chemical factors that can be damaged when exposed, like any building material. One of these chemical factors is the alkaline silica reaction. Alkali silica reaction is generally seen in humid areas and water structures, depending on the chemical content of cement and aggregate forming the concrete. In this study, the effect of blast furnace slag on the alkali-silica reaction was investigated by replacing the blast furnace slag obtained in iron furnaces in its normal state and by restructuring the grain distribution into the cement forming the concrete. Mortar bars were obtained by replacing the witness sample without blast furnace slag substitution and blast furnace slag at 5, 10, 15, 20%. Afterwards, the blast furnace slag particle distribution was reconstructed with the aid of a vacuum sieve and using the same methods, 5, 10, 15 and 20% optimized blast furnace slag replacement mortar bars were prepared. By evaluating the samples obtained, the effect of the particle distribution of blast furnace slag on alkali-silica reaction was investigated. As a result, it has been observed that optimizing the grain distribution of the blast furnace slag and increasing the substitution rate up to 20% reduces the alkali-silica reaction.

**Keywords:** Blast Furnace Slag, concrete, cement

## 1. Giriş

Günümüzde önemli bir yere sahip olan beton yapılar, kullanışlı olmasının yanı sıra çevresel ve kimyasal etmenlerden zarar görebilen bir yapıdadır. İklim etkilerinin sonucunda genleşme vb. Türde zarar görebileceği gibi sülfat saldırısı alkali silika reaksiyonu gibi kimyasal etmenlerden de önemli ölçüde zarar görebilmektedir. Bu çalışmada alkali silika reaksiyonunu azaltmak adına çalışma yapılmıştır. Bu bağlamda harç çubuklarına yüksek fırın cürufu ve tane dağılımı yeniden yapılandırılmış optimize yüksek fırın cürufu ikamesi yapılmıştır.

Alkali silika reaksiyonu, agreganın alındığı bölge, çimento içeriğindeki alkali oksit oranı ve betonun kullanıldığı ortamın nemine bağlı olarak sorun oluşturmaktadır. Alkali silika reaksiyonunun oluşması için çimento içeriğindeki alkali oksit oranı yüksek olmalı, beton üretiminde kullanılan agrega aktif silis içermeli ve beton içeren yapı yapılacak bölgede nem oranının yüksek olması gereklidir. Nem oranı yüksek olan bölgelerde ve su yapılarında (köprü, iskele vb.) alkali silika reaksiyonu ile karşılaşmak olasıdır [1]. Bunu engellemek puzolanlar veya likit kimyasal katkıları kullanılır. Likit kimyasal katkıları alkali ve silisi bağlarken puzolan katkıları ise genellikle boşluklu yapıyı en aza indirmek için kullanılmaktadır. Beton üretiminde boşluklu yapıyı azaltmak için agrega gradasyonu yapılmasının yanı sıra kılcal boşlukların doldurulması için kullanılan puzolan malzemelerin gradasyonu önemsenmemektedir [2].

Alkali silika reaksiyonu, çimento içeriğindeki alkali oksitler ile agrega içerisindeki aktif silislerin birleşmesi ile başlar. Devamında alkali silika jelleri oluşur ve bu jellerin su emme oranı çok yüksektir. Jellerin su emmesinin sonucunda beton içerisindeki gerilme artmakta ve betonda çatlaklara sebep olmaktadır. Bu olayın gerçekleşmesi alkali silika reaksiyonu (ASR) olarak adlandırılmaktadır [3].

Bu çalışmada, su yapılarında ve nemli bölgelerde oluşan alkali silika reaksiyonunu azaltmak için yüksek fırın cürufu kullanılmış ve ince malzeme gradasyonunun alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyaller ve Metod

Bu çalışmada, yüksek fırın cürufu ilk alındığı şekli ile ve tane dağılımı tekrar yapılandırılarak optimize şekilde kullanılmıştır. Kullanılan yüksek fırın cürufuna ait tane dağılımları Tablo 1. 'de verilmiştir. %5, 10, 15, 20 oranlarında tane dağılımı yeniden yapılandırılmış yüksek fırın cürufu ikamesi içeren boy uzama çubukları ve karşılaştırma yapmak için %5, 10, 15 ve 20 oranlarında yüksek fırın cürufu içeren boy uzama çubukları hazırlanmıştır.

Tane dağılımı yapılandırması için Dinger ve Funk'un 1980 yılında yapmış oldukları çalışmada tane dağılımı optimizasyonu için önerdikleri aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre en uygun tane dağılımı için gerekli miktarlar belirlenmiştir.

$$P(D) = \frac{D^q}{D_{\text{maks}}^q} \times 100$$

P(D) : D açıklıktaki elekten geçen malzeme

D : Elek açıklığı

Dmaks : Maksimum tane çapı

q : Dağılım modülü

Sevim, filler malzemeler ile ilgili araştırmalarında "q" dağılım modülünü en uygun dayanım ve en uygun durabilitenin olduğu değeri 0,4 olarak bulmuştur [5]. Optimize yüksek fırın cürufu hesaplarında en büyük tane çapı 63 $\mu$ m olarak seçilmiştir. Bu bağıntı ve q=0,4 katsayısı kullanılarak elde edilen yüzdeler Tablo 1. de belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Yüksek Fırın Cürufu Tane Dağılımı

Elek çapları ( $\mu$ )	Normal YFC	Tane Dağımlı YFC
75	100	100
63	100	100
53	70	93
45	50	87
38	30	82
25	10	69
0	0	0

Bu çalışmada alkali silika reaksiyonu deneyleri için hızlı sonuç veren ASTM C 1260 deney metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre harç çubuğu karışımı hazırlanırken kullanılacak su/imento oranı 0,47 olarak belirtilmiştir. 25\*25\*285 ebatlarında harç çubukları hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler için kullanılan malzeme miktarları Tablo 2. 'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yüksek Fırın Cürufu Tane Dağılımı

Malzemeler (gr)	Referans Numune	%5 İkameli Numuneler	%10 İkameli Numuneler	%15 İkameli Numuneler	%20 İkameli Numuneler
Çimento	440	418	396	374	352
Agrega	990	990	990	990	990
Su	206,8	206,8	206,8	206,8	206,8
YFC	0	22	44	66	88

ASTM C 1260 deney metoduna göre hazırlanacak olan numune için Tablo 3.'de agrega için verilen tane dağılımı kullanılması uygun grlmüştür. Bu alışmada ASTM C 1260'a uygun olarak Tablo 3.'de verilen agrega gradasyonuna uygun olarak hazırlanan agrega kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Agregada Tane Dağılımı

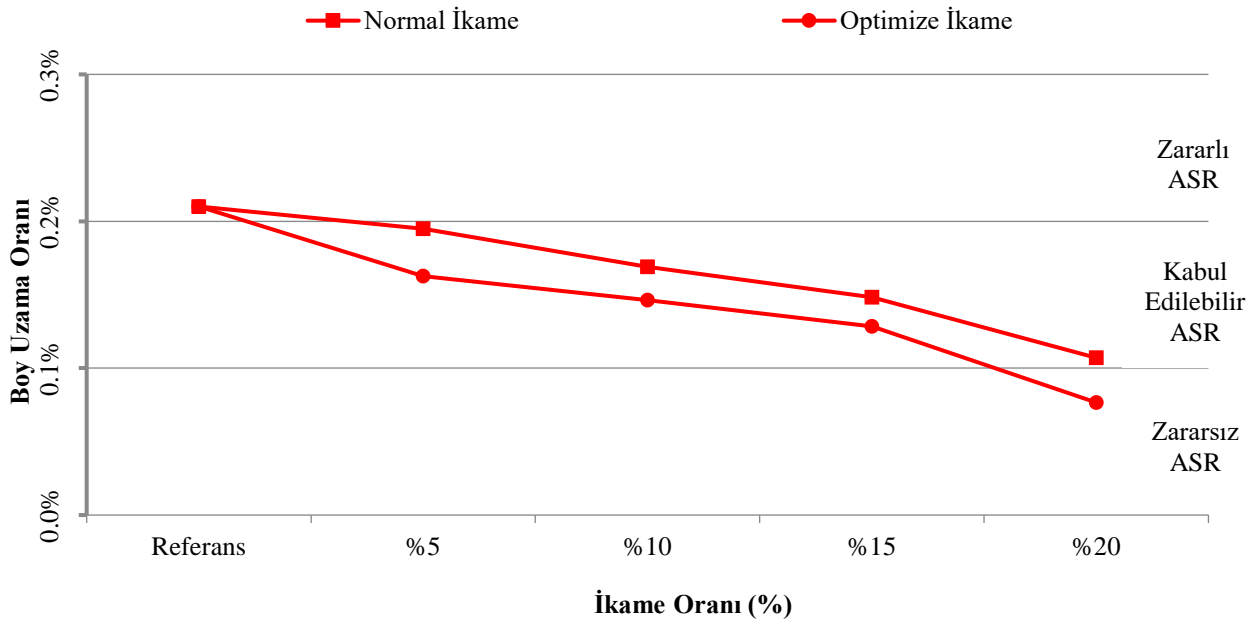
Elek apı		Gerekli Miktar (%)
Elekten Geçen	Elek Üzerinde Kalan	
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	10
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No. 16)	600 $\mu$ m (No. 30)	25
600 $\mu$ m (No. 30)	300 $\mu$ m (No. 50)	25
300 $\mu$ m (No. 50)	150 $\mu$ m (No. 100)	15

Alkali silika reaksiyonu oluşması için imento içerisindeki alkali oksit( $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ ) oranının %0,6 dan büyük olması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan imento gerekli oksit analizleri yapılarak şartları sağlayan imento ile yapılmıştır. Alkali oksit oranı %0,82 olan CEM I 42,5 R tipi portlant imentosu kullanılmıştır.

ASTM C 1260'a göre hazırlanan numuneler, 23C'de 24 saat süre ile kalıpta bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler, 80C sıcaklıkta, 1M NaOH çözeltisinde 14 gün süre ile bekletilmiştir. 1M NaOH çözeltisi hazırlanması için 900ml saf suya 40gr NaOH olacak şekilde karışım yapılmıştır. ASTM C 1260 hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre yapılacak değerlendirmelerde, %0,2 den fazla oluşan boy uzamalar zararlı ASR, %0,2-0,1 arası kabul edilebilir ASR etkisi, %0,1 altında kalan boy uzama değerleri ise zararsız ASR olarak değerlendirilmektedir.

### 3. Araştırma Bulguları

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilen Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Boy Uzama Oranları

Normal hali ile yüksek fırın cürufu ikamesi yapılmış harç çubuklarında ikame oranına göre sırasıyla (%5-10-15-20) %0.194, %0.169, %0.148, %0.107 oranlarında boy uzamalar tespit edilmiştir. Tane dağılımı yeniden düzenlenerek optimize edilmiş YFC ikamesi çimento yerine %5-10-15-20 oranlarında yapılmış, boy uzamaları ikame oranlarına göre sırasıyla (%5-10-15-20), %0.163, %0.146, %0.128, %0.077 olarak bulunmuştur. Yüksek fırın cürufu ikamesi yapılmamış şahit numunede ise %0.210 oranında boy uzama tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, tane dağılımı optimize edilmesinin ASR etkisini azaltmada daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. ASTM C 1260 da belirtilen değerlendirme, boy uzaması %0.2 den büyük ise zararlı, %0.2 ile %0.1 arası boy uzama ise kabul edilebilir, %0.1 den küçük boy uzama var ise ASR açısından zararsız olarak değerlendirilmektedir. Bu standarda göre, tane dağılımı optimize edilmiş yüksek fırın cürufu ikamesi yapılması ASR etkisini daha çok azaltmasının yanı sıra, %20 oranında tane dağılımı optimize edilmemiş yüksek fırın cürufu ikameli harç çubuğu zararlı bölgede kalır iken tane dağılımı optimize edilmesi yapılması harç çubuklarını ASR açısından zararsız sınıfa girmesini sağlamıştır.

#### **4. Sonuçlar**

Yapılan alışma sonucunda, tane dağılımı optimize edilmiş yüksek fırın cürufu ikamesi yapılması ASR etkisini daha çok azaltmasının yanı sıra, %20 oranında tane dağılımı optimize edilmemiş yüksek fırın cürufu ikameli harç çubuğu zararlı bölgede kalır iken tane dağılımı optimize edilmesi yapılması harç çubuklarını ASR açısından zararsız sınıfa girmesini sağlamıştır.

Yüksek fırın cürufu ikame oranı, yapılan çalışmada %20'ye kadar sağlanmış ve ikame oranı arttıça ASR etkisinin azaldığı gürülmüştür. Aynı şekilde tane dağılımı optimize edilmiş yüksek fırın cürufu kullanılmasında da ikame oranı arttıça ASR etkisi azaldığı gürülmüştür.

Yüksek fırın cürufu normal halde ikame edildiği zaman ASR etkisini azaltmış fakat zararsız düzeye indirmede etkili olamadığı gürülmüştür. Yüksek fırın cürufu tane dağılımının optimize edilmesi ASR etkisini azaltmasının yanı sıra, ASTM C 1260'a göre zararsız gürülen boy uzama oranının altına düşmesini sağlamıştır.

şahit numunede zararlı ASR etkisi gürülürken, yüksek fırın cürufu ve optimize tane dağılımlı yüksek fırın cürufu ikameli numunelerde ASR etkisini zararlı sınıflandıracak derecede boy uzama oranlarına rastlanılmamıştır.

%20 oranında tane dağılımı yeniden yapılarak optimize edilmiş yüksek fırın cürufu kullanılması, ASR etkisini zararsız duruma getirmek için yeterli olmuştur.

Yüksek fırın cürufunun imento ağırlığının %20 si oranında ikame edilmesi boy uzama oranını yaklaşık %49 oranında azaltmıştır. Tane dağılımı yapılandırılmış yüksek fırın cürufunun %20 ikame edilmesi ise boy uzama oranında %63 azalma sağlamıştır. Yüksek fırın cürufunun tane dağılımının yapılandırılması, normal yüksek fırın cürufu ikamesine göre boy uzama oranının %14 daha az olmasını sağlamıştır. Bu da bize yüksek fırın cürufunun tane dağılımının, boy uzama oranına olan etkisini ve tane dağılımı yapılandırmasının olumlu etkisini bize gstermektedir.

Yapılan alışmalar sonucunda, yüksek fırın cürufunun alkali silika etkisini azalttığı gürülmüştür. Bunun yanı sıra tane dağılımının yeniden yapılandırılarak optimize şekle getirilmesi ise normal yüksek fırın cürufuna göre daha büyük bir oranda alkali silika etkisini azaltmıştır. Yapılan çalışmada en fazla %20 oranında ikame yapılmış ve elde edilen verilere göre alkali silika etkisini en aza indiren numune %20 optimize edilmiş yüksek fırın cürufu ikameli harç çubuğu olmuştur.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] Katayama, T., 1996, Characteristics on Alkali Aggregate Reaction, The Study on the Maintenance and Rehabilitation of Highway Bridges in the Republic of Turkey, 11p, (unpublished).
- [2] Ö. Sevim, Yüksek Kompoziteli imento Bağlayıcılı Sistemler İçin Uçucu Kül Tane Boyut Dağılımlarının Optimizasyonu. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2018.
- [3] F. Bektaş, Preventive Measures Against Alkali-Silica Reaction. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2002.
- [4] Funk, J.E., Dinger, D.R., Funk, J.E.J., Coal Grinding and Particle Size Distribution Studies for Coal Water Slurries at High Solids Content. Final Report, Empire State Electric Energy Research

***The 2nd International Symposium of Engineering Applications on  
Civil Engineering and Earth Sciences 2020 (IEACES2020)***



Corporation (ESEERCO), New York, 1980.

- [5] Sevim, Ö., Demir, İ. (2019). Optimization of fly ash particle size distribution for cementitious systems with high compactness. *Construction and Building Materials*, 195, 104-114.

## In-Situ Destructive and Non-Destructive Evaluation of Deck-Slab and Beam Concretes Made of Slag Cement in a Building Level

Mahfuz PEKGÖZ<sup>1</sup>, Iyad Asri AHMED<sup>1</sup>, İlker TEKİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

\*[mahfuzpekgoz@karabuk.edu.tr](mailto:mahfuzpekgoz@karabuk.edu.tr)

**Abstract** : The most important characteristic property of concrete is compressive strength because concrete is a brittle construction material and has low tensile strength and almost negligible. The determination of the compressive strength of an existing concrete can be made by taking a core sample from the concrete and subjecting this sample to a compressive test. In our case, concrete strength had to be evaluated during construction. If the obtained compressive strength of the concrete samples is not suitable, a core sample should be taken to evaluate the structural capability. In this study, the average of the results obtained from the 7 and 28-day concrete compressive strength tests of a concrete slab and beams was approximately 23 MPa and 17 MPa, respectively. According to the results obtained, due to the 7-day strength exceeding the limit while there was a high result in the 28-day compressive strength and a low average value, the Schmidt hammer test conducted over 74 points on the slabs and beams. The Schmidt hammer test result helped to locate the weak area on the slab and beams to indicate the core locations. A compressive strength test was done on 9 core samples from different places at the slab and beams, and as a result obtained from the core samples, the concrete slab founded to be suitable.

**Key Words:** Concrete, Compressive Strength, Schmidt Hammer, Core

### 1. Introduction

The strength and durability of concrete are property that is directly proportional to each other. Thus, as the strength increase, the durability increase. The primary parameter controlling these two functions are the components of concrete. One of the components of concrete is the blast furnace slag formed as a result of the fusion of silica and alumina remaining after the reduction of lime, coke, and iron during iron and steel production. The hydration reaction of slags is slow. Therefore, early strength in slag cement is low.

There are two methods to determine the in-situ concrete compressive strength the destructive method and the non-destructive method. Concrete coring is applied as a destructive test, while the Schmidt hammer test is non-destructive. Today, the concrete coring is widely used to determine the quality of concrete in case the results of hardened concrete compressive test results from the taken samples are not suitable. Since the core sampling could destroy the existing structure (especially for building type structures), this method should be the last choice, and it should be done under the supervision of a civil engineer. Places that will not affect the bearing capacity of the building elements should be selected. Thus, the Schmidt hammer test is considered before taking any core. However, using this non-destructive method alone can give low accuracy results. One of the studies showed that 83% of the cores taken from low-yield samples were found suitable under conditions such as transportation, retrieval, and storage of fresh concrete samples, especially in hot climates were not followed [1]. This could causes both time and money loss.



In this study, destructive and non-destructive methods applied at concrete slab and beams to ensure the suitability of these elements.

## 2. Materials and Method

The concrete class designed in the project to be C25/30, and Portland cement type CEM I and CEM II with Slag were used as a binder in the mix design. Stream and crushed stone were used together as an aggregate. The material quantities of each truck mixer transferred from the concrete plant are given in Table 1. According to the table data, the total amount of concrete poured was approximately 130 m<sup>3</sup>. Around 296 - 313 kg/m<sup>3</sup> dose binder (CEM I or CEM IIB) was used in each truck mixer. The water/cement ratio used in mixes is variable between 0.57–0.67. The water/cement ratio was increased after the first nine truck mixers because the plasticizer was used at the rate of 1.2% in the first nine truck mixers. The average compressive strength obtained from the control concrete samples belonging to the relevant part of the structure was obtained as 17 MPa for 28 days of age. The lowest strength value of this value, which is the average of 12 samples, was obtained as approximately 13 MPa and the highest strength value was obtained as 27 MPa. The project lower limit in the relevant deck of the building is  $f_{ck} = 25$  MPa,  $f_{cis} = 22.1$  MPa. Accordingly, on-site inspection is foreseen in the relevant part of the building.

**Table 1.** Material information of each transmixer used in concrete production in place of a deck on a floor

Truck mixer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Concrete volume (m <sup>3</sup> )	7	4	10	10	10	9	10	10	6,75	10	10	4	9	10	10
Cement (kg) CEM I	2101	1197	3006	2988	3083	2024	2998	0	0	0	0	0	0	0	0
Cement (kg) CEM IIB	0	0	0	0	0	666	0	2997	1999	3046	3127	1230	2777	3096	3092
Water (kg)	1281	736	1768	1770	1766	1596	1773	1770	1198	1979	1973	790	1836	2082	2010
Additive (kg)	25,2	14,4	36,0	36	36	32,4	36,1	36	24,3	0	0	0	0	0	0
Binder (kg/m <sup>3</sup> )	300	299	301	299	308	299	300	300	296	305	313	308	309	310	309
S/Ç (%)	61	61	59	59	57	59	59	59	60	65	63	64	66	67	65
Additive (%)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

The concrete slab is a part of an 8-story building with a total area of 600 m<sup>2</sup> and 129 m<sup>3</sup> of concrete production needed to cast this slab. During the production, 15 truck mixers needed to cast the reinforced concrete slab. In the study, it was found appropriate to use the alternative method number 2 within the scope of article 9 specified in TS EN 13791 [2]. Accordingly, the Schmidt hammer test points were determined at 69 points (20x20 cm area) shown in Figure 1 in order to predict defective production in the slab. In addition, the Schmidt hammer test was conducted at 5 points from the bottom and side points of the bearing beams. Thus, a total of 74 concrete test hammer measuring points were determined. From these defined points, using an N-type Proceq brand Schmidt hammer, data were formed with at least ten measurements (n) from each point on the slab and beam surfaces.

Results of the Schmidt hammer test divides the strength of the slab into three part: low, medium, and high strength. Coring was taken from each part. A total of 9 cores were taken, 7 from floors, and 2 from beams. The purpose of the application is to ensure that the Schmidt hammer test data can be correlated with the core data. The Schmidt hammer test were carried out on the floors and beams of 33-day-old air and moisture-cured deck. The graph given in Figure 2 was used for the conversion of 15x15x15 cm cube equivalent compressive strength corresponding to the concrete test hammer values obtained in the field and the rebound values of the Proceq N-type hammer.

$$f_{is, \text{ the lowest}} \geq 0,85 \times (f_{ck} - 4) \quad (\text{Alternative method no: 2 within the scope of article 9})$$

$f_{is, \text{ the lowest}}$  = The lowest of the compressive strengths in the building

$f_{ck}$  = Standard sample characteristic compressive strength

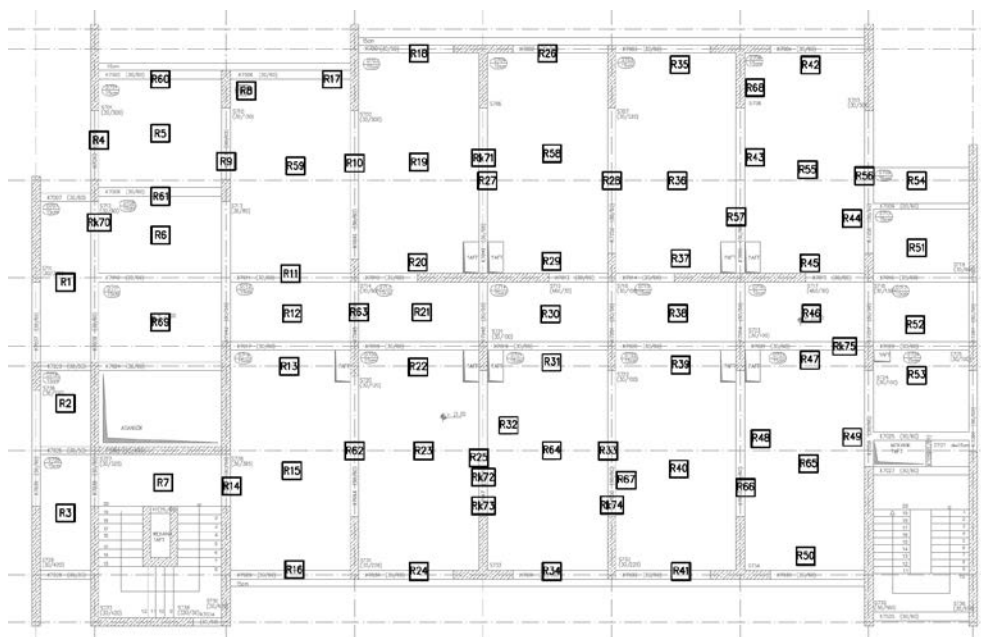


Figure 1. Points from which concrete test hammer data were obtained

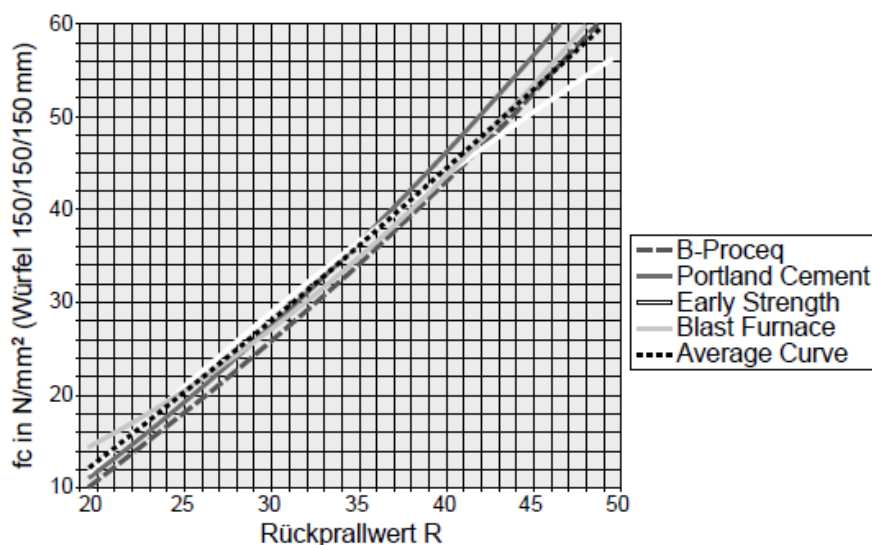


Figure 2. The graph showing the relationship between the equivalent cube compressive strength recoil of the Proceq-N

type concrete test hammer obtained in concretes with different binders  
The Application of the Schmidt hammer test was performed on the deck shown in Figure 3-5. Seven of the core samples were taken vertically from the slab, and 2 were taken from the beams horizontally. Core samples were taken in the vertical direction in the slab, as seen in Figure 6, and in the horizontal direction from the point where the shear force in the beam equal to 0.



**Figure 3.** Determining concrete test hammer points



**Figure 4.** Preparation of grid lines and surface trimming at concrete test hammer points



**Figure 5.** Concrete test hammer application and result determination



**Figure 6.** Vertical core application of concrete for a floor slab

Since the cores taken from the deck and beams are extracted with a wet method, the surface has been kept dry for 3 days in the laboratory at 75% relative humidity and 22 °C until the day of the test, as shown in Figure 7. Before performing the compressive strength test, the upper and lower surfaces were smoothed by a dry cutting machine. After smoothing the surface of the samples, the length, diameter, and weight of the samples have been taken. Then, compressive strength tests were carried out with a uniaxial of 200 tons capacity hydraulic press machine with a constant loading rate of 0.6 MPa/s. After that, the breaking time of the samples was recorded.



**Figure 7.** Collective view of core samples on the hydraulic press in the laboratory

Equivalent cube strengths were calculated with the correction coefficients using the equation formulas given below, according to BS 1881-120 [3].

Core samples taken horizontally according to the casting direction of the concrete =  $K_{CUBE,15 \times 15} = 2,5/(1,5+1/\lambda)$

Core samples taken vertically according to the casting direction of the concrete =  $K_{CUBE,15 \times 15} = 2,3/(1,5+1/\lambda)$

### 3. Results and Discussion

Findings regarding Schmidt hammer test and core samples are given in Table 2 and Table 3. The correlation relationship with core data was created over the average values and presented in Figure 8. After the correlation, the results of the converted Schmidt hammer test data to the equivalent cube pressure strength are given in Table 4. the reliability of the Schmidt hammer test was 85%.

**Table 2.** Concrete test hammer measurement results and descriptive statistical calculations

<b>Hammer no:</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>	<b>R9</b>	<b>R10</b>	<b>R11</b>	<b>R12</b>	<b>R13</b>	<b>R14</b>	<b>R15</b>
<b>n</b>	12	12	13	11	11	15	12	10	10	10	10	15	10	10	9
<b>Max</b>	21,5	22,5	31,5	25,0	22	23	30	30	34	31	32	26	30	30	32
<b>Min</b>	21,0	20,5	27,0	21,0	21	20,5	27	29,5	30	29	29	21	25	27,5	29
<b>Avg</b>	21	21	30	22	22	22	29	30	32	30	30	23	28	29	30
<b>Std dev</b>	0,23	0,54	1,28	1,22	0,27	0,68	0,88	0,26	1,56	0,68	0,89	1,87	1,74	0,70	1,32
<b>Hammer no:</b>	<b>R16</b>	<b>R17</b>	<b>R18</b>	<b>R19</b>	<b>R20</b>	<b>R21</b>	<b>R22</b>	<b>R23</b>	<b>R24</b>	<b>R25</b>	<b>R26</b>	<b>R27</b>	<b>R28</b>	<b>R29</b>	
<b>n</b>	9	11	12	10	15	15	10	15	16	13	20	15	15	15	
<b>Max</b>	30	32	29	30	30	32	30	28	29	27	26	29	25	30	
<b>Min</b>	29	29	27	29	26	26	29	25	24	22	20	24	21	25	
<b>Avg</b>	29	30	28	29	28	29	29	27	27	24	23	26	23	28	
<b>Std dev</b>	0,44	0,84	0,90	0,48	1,44	1,47	0,48	1,21	1,71	1,78	2,27	1,49	1,58	1,58	
<b>Hammer no:</b>	<b>R30</b>	<b>R31</b>	<b>R32</b>	<b>R33</b>	<b>R34</b>	<b>R35</b>	<b>R36</b>	<b>R37</b>	<b>R38</b>	<b>R39</b>	<b>R40</b>	<b>R41</b>	<b>R42</b>	<b>R43</b>	<b>R44</b>
<b>n</b>	14	14	14	15	16	20	19	15	15	11	11	10	12	17	16
<b>Max</b>	28	29	22	34	29	27	27	27	32	32	35	33	25	29	26
<b>Min</b>	24	24	20	30	28	21	24	24	26	30	33	30	20	24	21
<b>Avg</b>	26	26	21	31	29	23	25	25	29	31	34	31	22	26	24
<b>Std dev</b>	1,45	1,74	0,47	1,19	0,30	1,93	0,98	1,08	1,71	0,66	0,67	0,84	1,83	1,61	1,90
<b>Hammer no:</b>	<b>R45</b>	<b>R46</b>	<b>R47</b>	<b>R48</b>	<b>R49</b>	<b>R50</b>	<b>R51</b>	<b>R52</b>	<b>R53</b>	<b>R54</b>	<b>R55</b>	<b>R56</b>	<b>R57</b>	<b>R58</b>	<b>R59</b>
<b>n</b>	14	15	15	12	15	11	20	20	21	12	14	12	13	20	9
<b>Max</b>	29	27	30	30	29	27	27	30	25	21	29	24	29	26	34
<b>Min</b>	24	22	24	27	24	24	21	21	20	18	25	21	24	21	30
<b>Avg</b>	26	24	27	29	26	26	24	24	22	20	27	22	27	23	31
<b>Std dev</b>	1,58	1,41	2,28	1,08	1,59	1,10	2,02	2,47	1,61	0,89	1,78	0,89	1,46	2,09	1,32
<b>Hammer no:</b>	<b>R60</b>	<b>R61</b>	<b>R62</b>	<b>R63</b>	<b>R64</b>	<b>R65</b>	<b>R66</b>	<b>R67</b>	<b>R68</b>	<b>R69</b>	<b>K70<sub>v</sub></b>	<b>K71<sub>v</sub></b>	<b>K72<sub>A</sub></b>	<b>K73<sub>A</sub></b>	<b>K74<sub>A</sub></b>
<b>n</b>	16	10	11	10	16	15	11	11	19	12	10	14	12	10	10
<b>Max</b>	27	26	29	24	31	27	31	33	25	33	34	26	25	33	29
<b>Min</b>	21	21	26	21	27	22	29	30	20	29	29	21	21	28	24
<b>Avg</b>	24	23	28	22	29	24	30	31	23	32	31	23	22	30	27
<b>Std dev</b>	1,9	1,5	1,1	0,9	1,3	1,7	0,8	0,8	1,9	1,7	1,5	1,7	1,6	1,4	0,8

Table 3. Core samples and concrete test hammer information

Core location:		Deck						Beam		
Hammer no:		R5	R23a	R23b	R40a	R40b	R55	R69	K70	K74
Hammer information	n	11	15	15	11	11	14	12	15	10
	Highest	22	28	28	35	35	29	33	34	26
	Lowest	21	25	25	33	33	25	28	29	24
	Average	22	27	27	34	34	27	32	31	27
	Std dev	0,27	1,21	1,21	0,67	0,67	1,78	1,68	1,48	0,80
Core information	Diameter (mm)	72	72	72	72	72	72	72	72	72
	Height (mm)	96	89	111	117	82	125	96	103	119
	Area (mm <sup>2</sup> )	4069,4	4069,4	4069,4	4069,4	4069,4	4069,4	4069,4	4069,44	4069,4
	Slenderness ( $\lambda$ )	1,33	1,24	1,54	1,63	1,14	1,74	1,33	1,43	1,65
	Correction coefficient (BS1881-120)	1,11	1,08	1,16	1,18	1,05	1,20	1,11	1,05	1,09
	Ultimate load (N)	81300	109500	96900	182600	142100	104400	143500	142100	104800
	Compressive strength $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	19,98	26,91	23,81	44,87	34,92	25,65	35,26	34,92	25,75
	(BS1881-120(83)) $f_{ck,cube}$ (N/mm <sup>2</sup> )	22,20	29,13	27,71	53,03	36,71	30,89	39,18	36,52	28,14
	Core direction	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Horizontal	Horizontal
	Sample age	36	36	36	36	36	36	36	36	36
	Weight (g)	858	833	1047	1131	784	1154	917	981	1076
	Unit volume weight (kg/dm <sup>3</sup> )	2,20	2,30	2,32	2,38	2,35	2,27	2,35	2,34	2,22

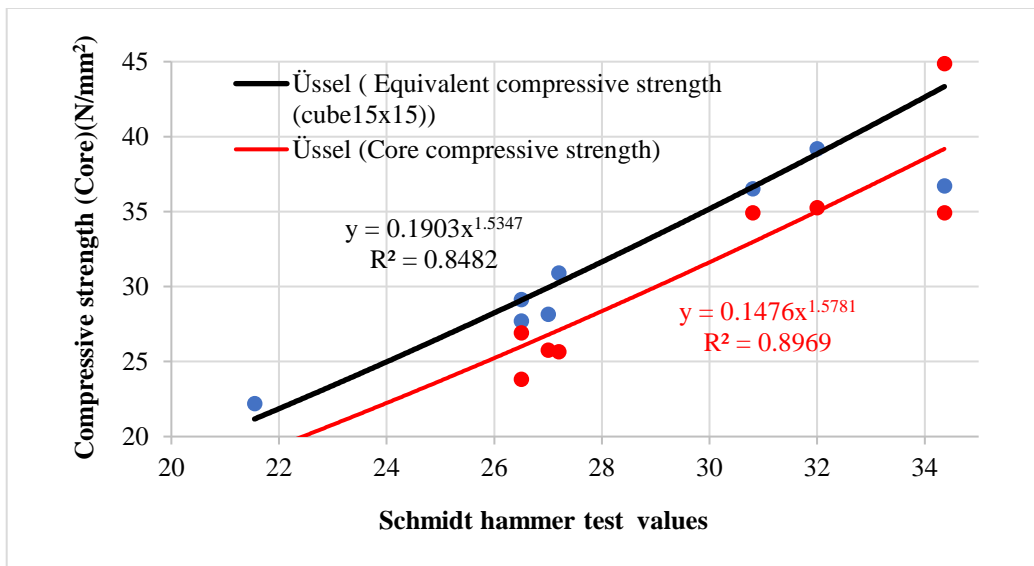


Figure 8. Correlation diagram between concrete test hammer and core data

Figure 8 shows the correlation diagram between the Schmidt hammer test and core data, which was conducted by using the Schmidt hammer test average values given in Table 2 and the raw compressive strength data of the core samples, in addition to the corrected equivalent compressive strengths for these measurements. Using the correlation equation obtained in Figure 8, the Schmidt hammer test values were converted to an equivalent cubic pressure strength (in MPa). Three separate definitions were made for the converting the compressive strengths. Figure 9 shows the division of the slab into three parts: low-strength in red, medium-strength in yellow, and high-strength in green. The regions with compressive strength below 22.1 MPa were given as a red color, regions with 22.1-26.0 MPa compressive strength given as a yellow and 26 MPa and above given as a green color. In this given condition map, the local red and yellow areas in between draw attention. These areas are thought to be caused by application error rather than concrete quality. Insufficient compression or placing practices may cause a decrease in strength in floor concretes. Among the equivalent compressive strength values converted from the concrete test hammer, the compressive strength values based on the correlation obtained for the red regions were found in the area of the test hammer data with the lowest value of 19.37 MPa. After the correlation, the results converted from the concrete test hammer data to the equivalent cube pressure strength with 85% reliability are given in Table 4.

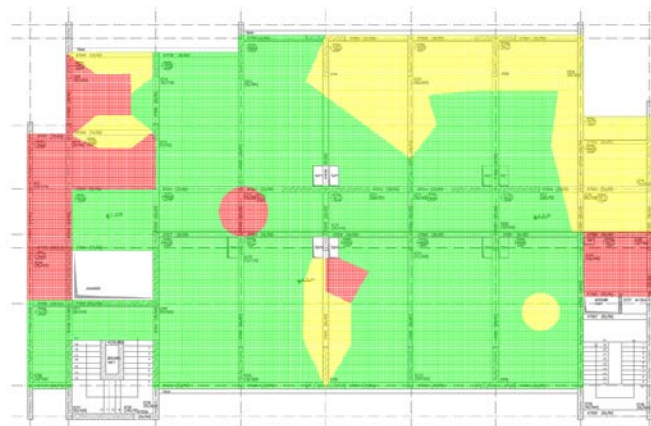


Figure 9. Symbolized version of equivalent cube compressive strength values with the concrete test hammer data of the deck concrete of a floor

**Table 4.** The results of the concrete test hammer data taken from the deck of a floor converted to the equivalent cube compressive strength with the correlation equation

<b>Hammer number:</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>	<b>R9</b>	<b>R10</b>	<b>R11</b>	<b>R12</b>	<b>R13</b>	<b>R14</b>	<b>R15</b>
<b>Average</b>	21	21	30	22	22	22	29	30	32	30	30	23	28	29	30
<b>Hammer booklet strength (Cube) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	16,5	16,5	27,5	17,0	17,0	17,0	26,0	27,5	29,0	27,5	27,5	18,0	24,5	26,0	27,5
<b>Hammer correlated equivalent cube pressure strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	20,6	20,4	35,0	21,7	21,2	21,1	33,2	34,7	38,8	35,6	35,7	23,5	32,3	33,2	35,8
<b>Hammer number:</b>	<b>R16</b>	<b>R17</b>	<b>R18</b>	<b>R19</b>	<b>R20</b>	<b>R21</b>	<b>R22</b>	<b>R23</b>	<b>R24</b>	<b>R25</b>	<b>R26</b>	<b>R27</b>	<b>R28</b>	<b>R29</b>	<b>R30</b>
<b>Average</b>	29	30	28	29	28	29	29	27	27	27	24	23	26	23	26
<b>Hammer booklet strength (Cube) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	26,0	27,5	24,5	26,0	24,5	26,0	26,0	23,0	23,0	23,0	19,0	18,0	21,9	18,0	21,9
<b>Hammer correlated equivalent cube pressure strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	33,8	35,5	32,4	33,9	31,5	33,5	33,9	29,1	29,1	30,1	24,8	22,7	27,8	23,8	27,8
<b>Hammer number:</b>	<b>R31</b>	<b>R32</b>	<b>R33</b>	<b>R34</b>	<b>R35</b>	<b>R36</b>	<b>R37</b>	<b>R38</b>	<b>R39</b>	<b>R40</b>	<b>R41</b>	<b>R42</b>	<b>R43</b>	<b>R44</b>	<b>R45</b>
<b>Average</b>	21	31	29	23	25	25	29	31	34	21	31	22	26	24	26
<b>Hammer booklet strength (Cube) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	16,5	29,0	26,0	18,0	20,7	20,7	26,0	29,0	33,5	16,5	29,0	17,0	21,9	19,0	21,9
<b>Hammer correlated equivalent cube pressure strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	20,2	37,3	33,2	24,0	27,2	26,9	33,1	36,8	43,3	20,2	37,7	22,0	28,4	24,2	27,9
<b>Hammer number:</b>	<b>R46</b>	<b>R47</b>	<b>R48</b>	<b>R49</b>	<b>R50</b>	<b>R51</b>	<b>R52</b>	<b>R53</b>	<b>R54</b>	<b>R55</b>	<b>R56</b>	<b>R57</b>	<b>R58</b>	<b>R59</b>	<b>R60</b>
<b>Average</b>	24	27	29	26	26	24	24	22	20	27	22	27	23	31	24
<b>Hammer booklet strength (Cube) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	19,0	23,0	26,0	21,9	21,6	19,0	20,0	17,0	15,0	23,0	17,0	23,0	18,0	29,0	20,0
<b>Hammer correlated equivalent cube pressure strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	25,7	30,4	32,7	29,0	27,8	24,6	25,1	21,1	19,4	30,3	21,4	30,2	23,7	37,6	24,7
<b>Hammer number:</b>	<b>R61</b>	<b>R62</b>	<b>R63</b>	<b>R64</b>	<b>R65</b>	<b>R66</b>	<b>R67</b>	<b>R68</b>	<b>R69</b>	<b>K70</b>	<b>K71</b>	<b>K72</b>	<b>K73</b>	<b>K74</b>	<b>K75</b>
<b>Average</b>	23	28	22	29	24	30	31	23	30	31	23	22	30	25	32
<b>Hammer booklet strength (Cube) (N/mm<sup>2</sup>)</b>	21,0	24,5	17,0	26,0	20,0	27,5	29,0	21,0	27,5	29,0	18,0	17,0	27,5	20,7	30,0
<b>Hammer correlated equivalent cube pressure strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	22,9	31,5	21,6	32,6	25,3	34,9	37,0	23,1	35,3	36,6	22,7	22,1	35,4	26,9	38,0

As seen in Table 4, values approximately 20 MPa-43 MPa are distributed on the slab and beams. According to the data obtained from this study, the performance of less than 10% of the deck seems to be low. However, as explained in the first chapter, the strength is expected to increase at least 20% after 28 days of production for concretes produced using pozzolanic binders. With this development, all areas that are red and yellow are expected to turn green by the age of 90 days. In this context, curing quality is the most important. The studies carried out again require more qualified curing of the concretes produced with pozzolanic cements (such as slag cements). Because, water and moisture are required for pozzolanic reactions to continue in a healthy way. Otherwise, the reaction slows down due to the low relative humidity of the environment and the development of compressive strength cannot be at the levels mentioned above.



## Conclusions

According to the compressive strength tests of the core samples, the conformity analysis was made according to the alternative 2 method specified in TS EN 13791 [2]. As a result of the analysis, the equivalent cube compressive strength of the lowest core compressive strength was obtained as 22.2 MPa according to BS1881-120 [3] standard. Since this strength is greater than  $(f_{ck}-4) \times 0.85$  (22.1 MPa) according to TS EN 13791 [2], the results obtained from core tests have been found suitable. The evaluation table is given in Table 5 below. Although there were some weak strength values for the Schmidt hammer test on the slab and beams, it was considered inappropriate to be taken into account considering that they would deviate by approximately 15%. However, it should be known that the 36-day performance map of the deck will turn red areas to yellow and yellow areas to green in time due to the concrete technology and the time-dependent strength development behavior approach of cement.

**Table 5.** Final evaluation chart

<b>ALTERNATIVE 2</b>	
$f_{ck,cube}$	30
$f_{ck,is,cube}$	26
<b>S (standard deviation)</b>	9,004
$f_{m(n),is}$ (avarega)	33,72
$f_{is, the lowest}$	22,2
<b>k<sub>2</sub></b>	1,48
<b>n</b>	9
<b>FORMULA</b>	
$f_{is, , the lowest} \geq 0,85(f_{ck}-4)$	
22,2	>
22,1	
<b>RESULT</b>	<b>APPROPRIATE</b>

## REFERENCES

- [1] Ignacio Martin, Jorge A. Juncos “It pays to core test suspicious concrete” Concrete International, April, 52-54, 1982.
- [2] TS EN 13791, On-site determination of concrete compressive strength in structures and precast concrete components, Turkish Standards Institute, Ankara, 2019.
- [3] BS 1881-120, Method for determination of the compressive strength of concrete cores, British Standard, Testing concrete, 1983.



## Linyit yataklarında NTE'lerin zenginleşmesi: Batı Anadolu Bölgesi, Türkiye

### Enrichment of REEs in lignite deposits: A case study of Western Anatolian Region, Turkey

Selin KARADIREK

*Akdeniz University, Department of Geological Engineering, 07058, Antalya, TURKEY  
selinhokerek@akdeniz.edu.tr*

#### Özet

Nadir toprak elementleri (NTE), özel kimyasal yapıları sebebiyle günümüzde başta ileri teknoloji endüstrisi olmak üzere ilaç, petrokimya, cam sanayi, savunma sistemleri gibi endüstrilerin hammaddesi olarak büyük öneme sahiptir. NTE'ler ekonomik öneme sahip olup, NTE'lere olan ihtiyaç ise her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple NTE için alternatif kaynakların belirlenmesi önem arz etmektedir. Son zamanlarda, kömürler bu umut verici alternatif kaynaklardan biri olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada Miyosen yaşlı Aydın-Şahinali Linyit sahasının NTE dağılımları ve zenginleşmeleri incelenmiştir. Havzadan alınan kömür örnekleri karot örneği olup, 25 adet örnek 10 sondaj kuyusundan alınmıştır. Toplanan örneklerde NTE'nin bolluğu, dağılımı ve kökeni belirlenerek ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Aydın-Şahinali kömür örnekleri üzerinde yapılan analizler neticesinde hem üst kıta kabuğu (ÜKK) hem de dünya kömürleri aritmetik ortalamalarına göre La (35,84 ppm), Ce (79,93 ppm), Pr (8,21 ppm), Nd (31,39 ppm), Sm (6,92 ppm), Gd (6,92 ppm), Dy (7,89 ppm), Ho (1,73 ppm), Er (4,95 ppm), Yb (4,50 ppm), Sc (6,49 ppm) ve Y (49,26 ppm) metallere zenginleşme gösterdiği ve umut verici bir NTE hammaddesi olarak kabul edilebileceği görülmüştür. Kömür damarının sedimanter ortamındaki değişim jeokimyasal özelliklerindeki farklılıkları kontrol eden ana faktördür. NTE elementlerinin TOC ile negatif korelasyon göstermesi inorganik kökenli olduğunu göstermiştir. Yüksek NTE içeriklerinin kil mineralleri ve mika grubu minerallerden kaynaklı olarak alloktan olarak yerleştiği düşünülmektedir.

Bu çalışma ile elde edilen veriler yüksek NTE içeriğine sahip kömürleri dünyadaki birçok kömür yataklarında da bulmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Üstelik mineral cevherlerinden elde edilen NTE'nin geleneksel yöntemlerle elde edilmesinde çeşitli zorluklarının olması ve rezervinin yaklaşık 20 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin ediliyor olması, NTE'nin kömür yataklarından bir yan ürün olarak değerlendirilebilmesi endüstri için umut verici bir yol olarak düşünülebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Nadir toprak elementleri (NTE), kömür, linyit, NTE zenginleşmesi

## **Abstract**

Rare earth elements (REEs) are of great importance as raw materials of industries such as pharmaceuticals, petrochemicals, glass industry, defense systems, especially the high-tech industry, due to their special chemical structures. It is important to find alternative resources for REEs considering their economic importance, and the increasing demand of REEs. Recently, coals have been identified as one of the promising alternative sources for REEs.

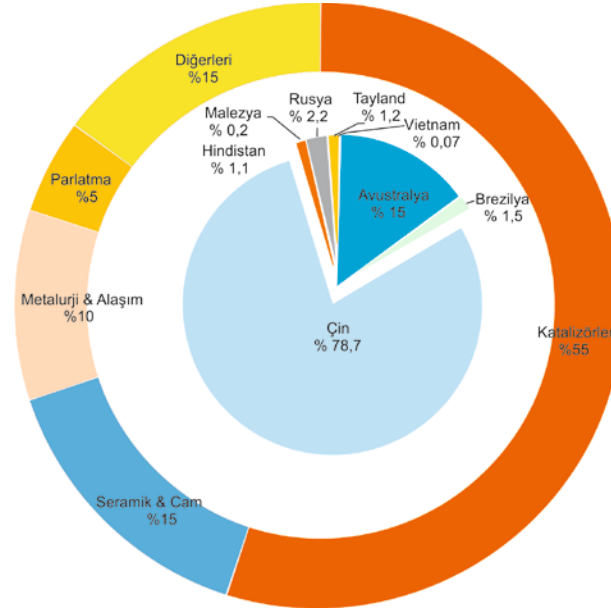
In this study, REEs distribution and enrichment of Miocene aged Aydin-Sahinali Lignite field were investigated. Coal samples taken from the basin are core samples and 25 samples were taken from 10 boreholes. REE abundance in collected samples were evaluated economically by determining the distribution and origin. Analysis results of Aydin-Sahinali coal samples showed enrichment in La (35.84 ppm), Ce (79.93 ppm), Pr (8.21 ppm), Nd (31.39 ppm), Sm (6.92 ppm), Gd (6.92 ppm), Dy (7.89 ppm), Ho (1.73 ppm), Er (4.95 ppm), Yb (4.50 ppm), Sc (6.49 ppm) ve Y (49.26 ppm) metals according to the average of upper continental crust (UCC) and World coals. The change in the sedimentary environment of the coal seam is the main factor controlling the differences in its geochemical properties. The negative correlation of REEs with TOC showed that it is of inorganic origin. REEs contents and distribution reflect a constant source input during sedimentation. The source input is thought to have settled as allochthonous due to clay minerals and mica group minerals.

This study showed that it is possible to find coals with high REEs in many coal deposits in the world. Extracting REEs from mineral ores with traditional methods has many difficulties. Furthermore, it is predicted that the reserves of REEs will be depleted in 20 years. Therefore, extracting REEs from coal sources as a by-product might be a promising alternative source for REEs.

**Key Words:** Rare earth elements (REEs), coal, lignite, REEs enrichment

## **1. Giriş**

Nadir toprak elementleri (NTE) skandiyum (Sc) ve itriyum (Y) ile birlikte 15 adet lantanit elementi olarak toplamda 17 adet kimyasal element olarak tanımlanır [1]. Sc ve Y elementleri nadir olmayan element olmasına rağmen lantanit grubu elementlerle, kimyasal özelliklerinin benzerliği nedeniyle yakından ilişkilidir. Bu nedenle nadir toprak element grubuna dahil edilmiştir [2]. NTE'ler bir dizi özel elektronik, manyetik, optik ve katalitik özellik sergileyen benzersiz özellikleri nedeniyle çok çeşitli alanlarda kullanılır. Bu özellikleri ile elektronik (Televizyon ekranları, bilgisayarlar, cep telefonları, silikon çipler, monitör ekranları, uzun ömürlü şarj edilebilir piller, kamera lensleri), imalat (Katalizör, seramik, cam, manyetizma, metalürji), tıbbi bilim (Taşınabilir röntgen makineleri, röntgen tüpleri, manyetik rezonans görüntüleri (MRI) kontrast maddeleri, nükleer tıp görüntüleme, kanser tedavi uygulamaları ve genetik tarama testleri, tıbbi ve dental lazerler), teknolojik (Lazerler, optik cam, fiber optik, bilgisayar belleği, nükleer piller), yenilenebilir enerji (Hibrid otomobiller, rüzgar türbinleri, yeni nesil şarj edilebilir piller, biyoyakıt katalizörleri) ve diğer alanlarda uygulamaları mevcuttur [3-5]. NTE üretimi açısından kullanım alanlarına göre en büyük payı katalizör ve manyetik özelliklerinin kullanıldığı alanlar oluşturmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. 2017 yılında Dünya’da NTE’nin farklı uygulamalar için kullanım alanlarını ve üretim yapan ülkelerin dağılımı [6]

NTE için küresel arz ve talep arasındaki fark arttıkça, özellikle kaynaklarına Çin, Avustralya gibi büyük ölçüde bağımlı olan ülkeler için alternatif kaynaklarının araştırılması daha önemli hale gelmiştir. Kömür ve atık olarak kabul edilen kömür külü, NTE’ de dahil olmak üzere birçok element için olası kaynak olarak kabul edilmektedir [3, 7, 5]. Bunun nedeni, birçok kömür veya kömür külü içerisindeki NTE konsantrasyonlarının geleneksel NTE cevherlerinde (Bassanit, Monazit, Apatit, vb) bulunanlara eşit veya daha yüksek olmasıdır [8, 5]. Geleneksel yöntemlere olan bağımlılığımızı azaltma ve aynı zamanda kömürün önemli bir ekonomik rol oynadığı bölgelerde yeni endüstriler yaratma potansiyeli sunacaktır. Geleneksel NTE cevherlerinin yakın gelecekte tükenme ihtimali nedeniyle de yeni üretimlerin kömürle olabileceğine inanılmaktadır. Bu çalışmada Batı Anadolu bölgesinde yer alan kömürlereki NTE’lerin zenginleşmelerinin araştırılması amaçlanmıştır.

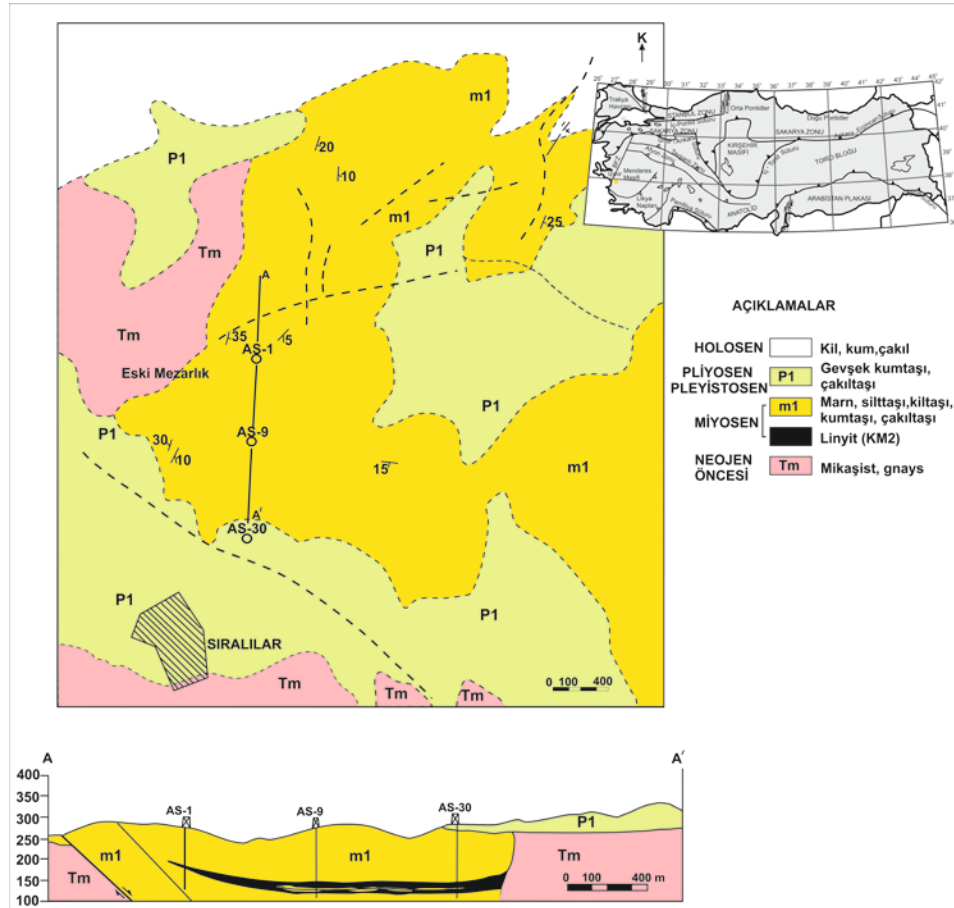
## 2. Materyal ve Method

Kömürlerdeki NTE’inin içeriğini belirlemek için Aydın-Şahinali kömür sahasında MTA tarafından açılmış olan 10 adet sondaj kuyusundan alınan 25 adet kömür numunesi üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. İz elementlerden olan NTE grubunun konsantrasyonları indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Öğütülmüş her numuneden 0,5 gr örnek 3ml 2-2-2 HCl-HNO<sub>3</sub>- H<sub>2</sub>O çözeltisi ile 95 °C’ de 1 saat boyunca işlenerek ve daha sonra 10 mL’ye seyreltilmiştir. Elde edilen çözeltiler daha sonra ICP-MS tekniği ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler Üst Kıta kabuğuna (ÜKK) [9] ve dünya kömürlerinin ortalama konsantrasyonlarına [10] göre zenginleşme oranları belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Genel Jeoloji

Çalışma alanı büyük menderes grabeni içerisinde yer almakta olup temel birimler Paleozoyik yaşlı menderes masifi diye adlandırılan metamorfik birimlerden oluşur (Şekil 3.1). Bu birimler gnays ve mikaşist şeklindedir. Temel birimler üzerine uyumsuzlukla gelen Alt-Orta Miyosen yaşlı birimler tabanda çakıltaşı ile başlar ve yanal alüvyial yelpaze oluşumlarıdır. Bu birimleri gösel kumtaşı ve kıltaşı izler. Çakıltaşı-kumtaşı-kıltaşı serisini göl ve delta ortamında çökelmiş kömür ve killi kömür birimleri takip eder. Üst bölümlerinde kıltaşı, killi kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşı litolojileri görülür. Pliyosen-Pleistosen yaşlı birimler, Alt-Orta Miyosen yaşlı birimler üzerine uyumsuzlukla gelir. Çoğunlukla az pekişmiş çakıl ve kumlardan oluşan flüvyial ve gösel ortam çökelleridir. Bu birimler üzerine ise kil-kum-çakıldan oluşan güncel birimler yerleşmiştir [11].



Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası ve enine kesiti [11, 12]

#### 3.2. Kömürde Nadir Toprak Element Konsantrasyonları ve Zenginleşmesi

Lantanit grubu, Y ve Sc elementlerinin ortalama konsantrasyonunun hesaplanmasına dayanan dünya kömürlerinin toplam ortalama NTE içeriğinin (73,57 ppm) [10], ÜKK kayalarından (183,14 ppm) [9] yaklaşık 2,5 kat daha düşük olduğu tahmin edilmektedir. Linyit kömürlerinin toplam ortalama NTE içeriği (69,37 ppm) [10] ÜKK'daki içeriğine oranla yaklaşık 2,6 kat daha düşüktür. Çin kömürlerinin toplam ortalama NTE içeriği (140,27 ppm) [13-15] dünya ve linyit kömürlerinden yaklaşık 2 kat

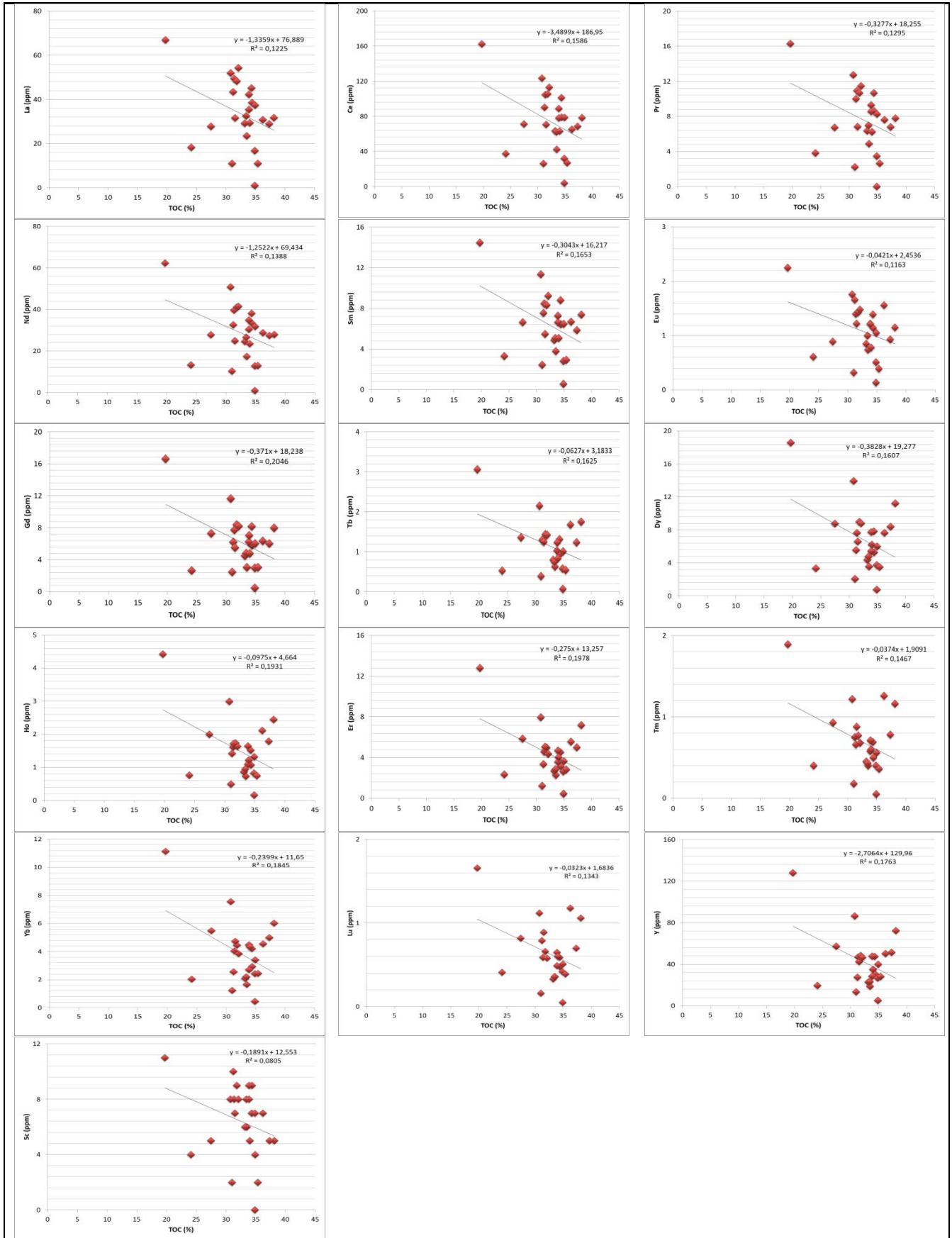
daha fazladır. ABD kömürlerinin toplam ortalama NTE içeriği ise dünya ve linyit kömürlerine yakındır. Kömür küllerine bakıldığında ise Dünya toplam ortalama NTE içeriği (404 ppm) ÜKK'dakinden yaklaşık 3 kat daha fazladır [3]. Yani kömür yakıldıktan sonra kalan külde NTE elementlerinin daha da zenginleştiği söylenebilir. Türkiye'de ise Aydın-Şahinali kömür sahasında toplam ortalama NTE içerikleri 248,32 ppm olarak hesaplanmıştır. ÜKK değerleri dikkate alındığında çalışma alanına ait kömürlerin Sc elementi hariç tüm NTE elementlerinin 1-10 kat zenginleştiği, Dünya kömürlerine göre ise Sc, Pr, Nd, La, Ce, Y elementlerinin 1-10 kat, Sm, Dy, Er, Yb elementlerinin 1-100 kat zenginleştiği, Eu, Tb, Tm ve Lu elementlerinin ise tükendiği gözlenmiştir.

**Tablo 3.1.** Çalışma sahası ve ÜKK, Dünya, Linyit, Çin ve ABD kömürlerinin ortalama NTE içerikleri ve TOC miktarları

NTE (ppm)	AS-1	AS-5	AS-7	AS-9	AS-24	AS-30	AS-37	AS-43	AS-14	AS-15	ÜKK <sup>[9]</sup>	Dünya <sup>[10]</sup>	Linyit <sup>[10]</sup>	Çin <sup>[13-15]</sup>	ABD <sup>[16]</sup>
La	24,15	34,26	21,10	34,03	51,90	42,20	47,30	30,05	42,95	30,30	31,00	11,0	10,0	22,50	12,0
Ce	52,85	71,24	45,83	71,33	123,3	88,80	116,8	64,05	91,70	73,40	63,00	23,0	22,0	46,70	21,0
Pr	5,46	7,65	6,18	7,57	12,74	9,28	11,51	6,92	9,14	7,30	7,10	3,50	3,50	6,42	2,40
Nd	22,40	28,94	17,15	27,18	50,90	34,90	45,10	26,15	33,25	27,75	27,00	12,0	11,0	22,30	9,50
Sm	4,70	5,86	3,86	6,09	11,34	7,26	10,54	5,88	7,34	6,62	4,70	0,47	1,90	4,07	1,70
Eu	0,72	1,06	0,74	1,04	1,76	1,21	1,57	1,17	1,35	1,04	1,00	2,70	0,50	0,84	0,40
Gd	4,54	5,65	3,42	5,39	11,65	7,03	11,95	5,58	6,86	7,02	4,00	0,32	2,60	4,65	1,80
Tb	0,78	0,95	0,64	0,95	2,15	1,23	2,21	1,26	1,34	1,49	0,70	2,10	0,32	0,62	0,30
Dy	4,75	5,64	3,19	5,59	13,93	7,72	13,65	6,91	7,68	9,79	3,90	0,54	2,00	3,74	1,90
Ho	1,04	1,13	0,73	1,16	2,99	1,64	3,21	1,67	1,68	2,12	0,83	0,93	0,50	0,96	0,35
Er	3,24	3,44	1,94	3,45	7,96	4,69	9,33	4,79	4,72	6,10	2,30	0,31	0,85	1,79	1,00
Tm	0,46	0,54	0,36	0,54	1,22	0,71	1,41	0,93	0,78	0,97	0,30	1,00	0,31	0,64	0,15
Yb	2,94	2,95	1,59	3,00	7,56	4,49	8,31	4,45	4,30	5,51	2,00	0,20	1,00	2,08	0,95
Lu	0,45	0,48	0,33	0,49	1,12	0,65	1,24	0,89	0,74	0,88	0,31	1,20	0,19	0,38	0,14
Y	34,20	31,60	17,30	33,33	86,40	47,70	92,70	42,70	44,70	61,95	21,00	8,40	4,10	18,20	8,50
Sc	3,00	8,40	6,00	6,25	8,00	8,00	8,00	6,00	7,50	5,00	14,00	3,90	8,60	4,38	4,20
Ort Σ	165,7	209,8	130,4	207,4	394,9	267,5	384,8	209,4	266,0	247,2	183,1	71,57	69,37	140,3	66,29
TOC (%) <sup>[11]</sup>	35,16	33,67	32,59	30,84	30,77	33,89	23,59	35,13	31,82	37,73					

### 3.3. Kömürde NTE

Birçok çalışma kömür içindeki NTE'nin, sinjantik klastik ve piroklastik mineraller veya karasal ve tüf kökenli minerallerde izomorfik karışımli olarak, otijenik kökenli diyajenetik ve epijenetik minerallerle ya da organik madde ile ilişkili olarak mevcut olabileceğini belirtmiştir [17, 18, 16, 19-24, 14, 15]. Kömür damarının sedimanter ortamındaki değişim jeokimyasal özelliklerindeki farklılıkları kontrol eden ana faktördür. Bu çalışmada organik madde ile olan ilişkisini değerlendirmek için toplam organik karbon (TOC) değeri ile ilişkisine bakılmış olup lantanit grubu, Y ve Sc elementleri ile negatif korelasyon yaptığı görülmüştür (Şekil 3.2). Tüm NTE'leri birbirleri ile yüksek pozitif korelasyon içerisindedir. Örneklerinin mineralojik bileşimine göre kömürler kuvars, kalsit, feldspat, dolomit, mika, jips ve halit minerallerini içermektedir [11, 25]. Kömür örneklerindeki yüksek NTE'nin kil mineralleri ve mika grubu minerallerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.2. Kömürlerdeki NTE elementlerinin TOC ile korelasyon ilişkisi

#### 4. Sonuçlar

Hızlı gelişen temiz enerji teknolojileri, imalat sektöründe NTE'nin yaygın olarak kullanılmaya başlanması bu elementler için muzaam bir büyüme ve talep yaratmasının kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra mevcut NTE rezervinin belirli bir ömrünün olması ve çıkarılması sırasında çevreye verdiği etki nedeniyle NTE kaynakları arayışımızı sadece geleneksel cevherleşme aramalarına değil aynı zamanda kömürden yan ürün olarak elde edilmesine yönlendirmek yakın gelecekte uygun bir seçenek olacaktır.

Bu çalışma ile elde edilen veriler yüksek NTE içeriğine sahip kömürlerin Çin, Avustralya, Rusya vb. ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de birçok kömür yataklarında bulunmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Aydın-Şahinali kömürlerindeki NTE'ler inorganik kökenli olarak oluşmuştur ve bu elementler birbirleri ile uyum sergilemektedir. Kömürlerin ÜKK ve dünya kömürlerine göre zenginleşme gösterdiği ve yan ürün olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

#### Referanslar

- [1] Anonim 1, <https://iupac.org/what-we-do/databases/> [Erişim tarihi: 24.06.2020]
- [2] Bau, M., “Controls of the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 123, pp. 323–333, 1996.
- [3] Seregin, V.V. and Dai, S., “Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 94, pp. 67-93, 2012.
- [4] Şahiner, M., Akgök, Y.Z., Arslan, M. ve Ergin, M.G., *Dünyada ve Türkiye’de nadir toprak elementleri*, Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü, Maden Serisi: 5, s.24, 2017.
- [5] Balaram, V., “Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact”, *Geoscience Frontiers*, vol. 10, pp. 1285-1303, 2019.
- [6] USGS 2017. Minerals Yearbook. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf> [Erişim tarihi: 24.06.2020]
- [7] Franus, W., Wiatros-Motyka, M.M. and Wdowin, M., “Coal fly ash as a resource for rare earth elements”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, pp. 9464-9474, 2015.
- [8] Sahadev, R., Jyotilima, S., Subramanyam, K.S.V., Hower, J.C., Madison, M.H., Puja, K. and Binoy, K.S., “Geochemistry and nanomineralogy of feed coals and their coal combustion residues from two different coal-based industries in northeast India”, *Energy & Fuels*, vol. 32, pp. 3697-3708, 2018.
- [9] Rudnick, R.L. and Gao, S., *Treatise on Geochemistry*, vol. 3, In: The Crust, Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Eds.). Elsevier-Pergamon, Oxford, 683 p., 2003.
- [10] Ketris, M.P. and Yudovich, Ya. E., “Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 78, pp. 135-148, 2009.
- [11] Özçelik, O., Altunsoy, M., Hökerek, S., ve Acar, F., *Şahinali (Aydın) Miyosen kömürlü birimlerinin organik fasiyes özellikleri*, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 2010.01.0102.009, s.91, 2013.
- [12] *Türkiye Linyit Envanteri*, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Envanter Serisi, Ankara, 2010.
- [13] Dai, S.F., Zhou, Y.P., Ren, D.Y., Wang, X.B., Li, D. and Zhao, L., “Geochemistry and mineralogy of the Late Permian coals from the Songzao Coalfield, Chongqing, southwestern China”, *Science in China Series D: Earth Science*, vol. 50, pp. 678–688, 2007.





- [14] Dai, S.F., Li, D., Chou, C.-L., Zhao, L., Zhang, Y., Ren, D.Y., Ma, Y.W. and Sun, Y.Y., “Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: new insights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, China”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 74, pp. 185–202, 2008.
- [15] Dai, S., Ren, D., Chou, C., Finkelman, R. B., Seredin, V.V. and Zhou, Y., “Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 94, pp. 3–21, 2012.
- [16] Finkelman, R.B., *Trace and minor elements in coal*. In: Organic Geochemistry, Engel, M. H. and Macko, S. A.(Eds.). New York: Plenum Press, pp. 593–607, 1993.
- [17] Nicholls, G.D., *The geochemistry of coal-bearing strata*. In: Coal and Coal Bearing Strata, Murchison, D.G., and Westoll, T. S. (Eds.). Edinburgh: Oliver and Boyd, pp. 269–307, 1968.
- [18] Finkelman, R.B., *Modes of occurrence of trace elements in coal*. PhD dissertation, University of Maryland, 301 pp., 1980.
- [19] Goodarzi, F., “Mineralogy, elemental composition and modes of occurrence of elements in Canadian feed-coals”, *Fuel*, vol. 81, pp. 1199-1213, 2002.
- [20] Mukhopadhyay, P.K., Goodarzi, F., Crandlemire, A.L., Gillis, K.S., MacNeil, D.J. and Smith, W.D., “Comparison of coal composition and elemental distribution in selected seams of the Sydney and Stellarton Basins, Nova Scotia, Eastern Canada”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 37(1–2), pp. 113–141, 1998.
- [21] Karayigit, A.I., Gayer, R.A., Querol, X. and Onocak, T., “Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 44(2), pp. 169-184, 2000.
- [22] Seredin, V.V., “Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East deposits”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 30, pp. 101–129, 1996.
- [23] Seredin, V.V., “Metalliferous coals: formation conditions and outlooks for development”, *Coal Resources of Russia*, vol. 4, Geoinformmark, Moscow, pp. 452–519, 2004.
- [24] Hower, J.C. Ruppert, L.F., and Eble, C.F., “Lanthanide, yttrium, and zirconium anomalies in the Fire Clay coal bed, Eastern Kentucky”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 39, pp. 141–153, 1999.
- [25] Özçelik O., Pehlivanli B.Y., Sari A., Altunsoy M., Hökerek S. and Ünal N., “Geochemical characteristics of major and trace elements in Sahinali Coals, Aydin, Turkey”, *Energy Sources Part A-Recovery Utilization And Environmental Effects*, vol. 38, pp. 1435-1447, 2016.

## Trakya-Orta Anadolu Linyitlerinde Skandiyum

## Scandium in Thrace-Central Anatolian Lignites

Neslihan ÜNAL

*Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Tapu Kadastro Bölümü, 15400, Burdur,  
TÜRKİYE  
neslihanunalakd@gmail.com*

### Özet

Periyodik tablonun IIIB grubunda yer alan, 21 atom numaralı skandiyum elementi bir geçiş metalidir. Endüstrinin farklı alanlarında kullanılan Sc elementine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerindeki teknolojik gelişmeler Sc elementine olan talebi yükseltmiştir. Zor elde edilen, pahalı ancak kullanışlı bir element olan Sc Avrupa Birliği Komisyonu tarafından kritik hammadde sınıfına dahil edilmiştir. Dünyada Çin, Rusya ve Ukrayna başta olmak üzere az sayıda bölgeden, sınırlı miktarda Sc üretilmektedir. Literatürde bazı kömürlerin yüksek miktarda Sc içermesi, kömürün geleneksel Sc kaynaklarına alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada Malkara (Tekirdağ) ve Şarkikaraağaç (Isparta) linyit sahalarından alınan kömür örneklerinin Sc içerikleri değerlendirilmiş ve kökensel olarak irdelenmiştir. Hem Malkara, Hem de Şarkikaraağaç kömürlerin ortalama Sc içerikleri Dünya, linyit, Amerika ve Çin kömürlerinin Sc içeriklerinin üzerindedir. Her iki kömür havzasında da TOC ile negatif korelasyon sunan Sc'un baskın olarak inorganik birliktelik gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür, Skandiyum, Şarkikaraağaç, Malkara, Türkiye

### Abstract

The Scandium 21 atom numbered in the IIIB group of the periodic table is a transition metal. The need for the Sc element, which is used in different areas of the industry, is increasing day by day. Technological developments, especially in the aerospace and automotive sectors, have increased the demand for the Sc. Sc, which is a difficult, expensive but useful element, is included in the critical raw material class by the European Commission. A limited amount of Sc is produced in a few regions, mainly in China, Russia and Ukraine. The fact that some coals contain a high amount of Sc in the literature suggests that coal can be considered as an alternative to traditional Sc resources. In this study, Sc content of coal samples taken from Malkara (Tekirdağ) and Şarkikaraağaç (Isparta) lignite fields were evaluated and examined as origin. The average Sc content of both Malkara and Şarkikaraağaç coals are above the Sc content of the World, lignite, American and Chinese coals. It was determined that Sc, which presents negative correlation with TOC in both coal basins, predominantly shows inorganic coexistence.

**Key Words:** Coal, Scandium, Şarkikaraağaç, Malkara, Turkey

## 1. Giriş

Modern teknolojilerde ve günlük yaşamda kullanılan oldukça fazla sayı ve çeşitteki ürün sürekli bir hammadde ihtiyacı doğurmaktadır. Bazı hammadde kaynaklarına erişim tüm dünyada giderek artan bir endişe yaratmaktadır. Bu sebeple Avrupa Birliği Komisyonu tarafından, düzenli bir takip ve güncellemeye tabi tutulan kritik hammadde listesi oluşturulmuştur. Ekonomik açıdan önem arz eden ve tedarikleri ile ilgili yüksek risk taşıyan hammaddeler, kritik hammadde listesine dahil edilmiştir. Hem geçiş metalleri, hem de nadir toprak elementleri sınıflarına dahil edilen Sc elementi de kritik hammadde sınıfındaki elementlerden biridir.

Küresel ekonomide, özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerindeki gelişmeler sebebiyle Sc oldukça yüksek rağbet görmektedir. Alaşımlara mukavemet kazandırma özelliği sebebiyle, hafif alaşımların kuvvetlendirilmesinde önemli bir elementtir. Savaş uçağı parçalarının dayanıklı ve hafif olmasını sağlamak için, silah üretiminde, seramik yapımında katalizör olarak, yüksek verimli lambalarda, beyzbol ve golf sopaları, bisiklet gövde ve parçaları gibi hafif alaşım gerektiren spor malzemelerinin üretiminde, alkali pillerde, otomotiv sektöründe motor parçaları ile yakıt ve egzoz sistemlerinde, koruyucu boyalar, tohum çimlendirilmesi ve böcek ilaçları gibi çok çeşitli sektörlerde Sc elementi kullanılmaktadır. Küresel Sc üretiminin %90'ını Çin gerçekleştirmektedir. Rusya ve Ukrayna diğer önemli Sc üreticilerindedir. Bu ülkeler dışında önemli miktarda Sc üretilmemesine rağmen Norveç, Madagaskar ve Amerika'da da önemli potansiyele sahip sahalar bulunmaktadır. Ayrıca Avustralya ve Kanada'da ümit vadeden Sc kaynakları bulunmaktadır [1]. Yeni kaynakların bulunamaması durumunda mevcut arzın talebi karşılayamayacak düzeye geleceği ve bu durumun alternatif Sc kaynaklarına yönelimi hızlandıracağı öngörülmektedir. Son yıllarda, dünya çapında kömür yataklarının içerdiği eser elementler üzerine yapılan kapsamlı çalışmalar, kömürlerin yaygın ve nadir elementler dahil olmak üzere bir çok değerli metal biriktirdiğini göstermiştir. Bu çalışmalarda bazı kömür küllerinin erişilebilirliği ve yüksek Sc içeriği nedeniyle geleneksel Sc kaynaklarıyla rekabet edebilir nitelikte olduğu belirlenmiştir [2].

Toplam dünya linyit rezervinin % 8,7'si Türkiye'de bulunmaktadır. Son yıllarda yeni linyit sahalarının bulunmasıyla Türkiye'de rezervi 19,14 milyar tona ulaşan linyitin ısıl değeri oldukça düşüktür. Büyük çoğunluğunun alt ısıl değeri 3000 kcal/kg'ın altındadır. [3]. Mineral madde miktarı oldukça yüksek olan bu kömürlerin küllerinde ekonomik olarak önem arz eden elementler bulunmaktadır. Bu elementler açısından kömür küllerinin kaynak olma potansiyellerinin araştırılması hem ekonomik, hem de çevresel bakımdan oldukça önemlidir. Son yıllarda Türkiye'de linyit araştırma ve üretimi Batı – Orta Anadolu bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada Malkara (Tekirdağ) ve Şarkikaraağaç (Isparta) linyitlerinin Sc içerikleri ve Sc'un organik ve inorganik birlikteliği değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Malkara (Tekirdağ) ve Şarkikaraağaç (Isparta) linyit sahalarından alınan kömür örneklerinin Sc içerikleri değerlendirilmiştir. Karapınar sahasında 8 kuyudan alınan 21 örnek ve Şarkikaraağaç sahasından 7 kuyudan 30 örnek olmak üzere toplam 51 karot örneğinin ICP-MS (İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometre) yöntemi uygulanarak belirlenen Sc içerikleri Dünya, linyit, [4], ABD [5] ve Çin [6,7,8] kömür örneklerinin Sc içerikleri ile karşılaştırılarak ekonomik değeri tartışılmıştır. Ayrıca kömür örneklerinin Sc içerikleri ile TOC (toplam organik karbon) miktarları arasındaki ilişki belirlenerek, Sc'un organik ve inorganik birliktelikleri değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Genel Jeoloji

Malkara linyit sahası Tekirdağ ilinin Süleymanpaşa, Malkara ve Hayrabolu ilçelerinin sınırlarının keşiştiği bölgede bulunmaktadır. Bölgenin temelini metamorfik karmaşık oluşturmaktadır. Temel üzerinde uyumsuz olarak Eosen yaşlı, kumtaşı, siltaşı ve tüfitten oluşan birimler yer almaktadır. Eosen birimlerini, Eosen-Oligosen yaşlı Mezardere Formasyonu, Oligosen yaşlı Osmancık ve Danişmen Formasyonları üzerlemektedir. Kömür katmanları Oligosen yaşlı kumtaşı, siltaşı, kiltası, tüfit, kireçtaşıdan oluşan Danişmen Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Oligosen yaşlı birimler üzerine, Miyosen yaşlı kumtaşı, siltaşı, kiltası ve volkanitler gelir. Bu birimleri Pliyosen yaşlı alüvyon üzerler.

Şarkikaraağaç kömür havzası Isparta'nın (Türkiye) kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Havzanın temelini Neojen öncesi ofiyolitik melanaj, karbonat ve metasedimanter kayalar oluşturur. Bu bölgedeki kömürlü Neojen birimleri, konglomera ile başlar ve yukarı doğru kumtaşı, siltaşı, kiltası, çamurtaşı, kömür, kireçtaşı ve marn ile devam eder [9,10]. Neojen birimlerinin üzerinde uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon bulunmaktadır.

#### 3.2. Malkara ve Şarkikaraağaç Kömürlerinde Sc

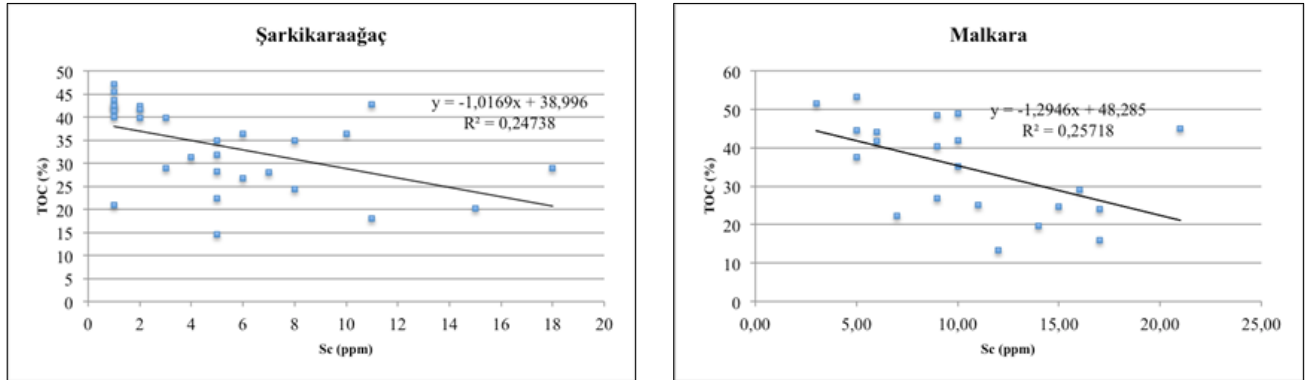
Kömür örneklerinden ICP-MS yöntemi ile elde edilen verilere göre Sc değerleri Malkara sahasında 3-21 ppm [11] ve Şarkikaraağaç sahasında <1-18 ppm arasında değişmektedir [10] (Tablo 1). Şarkikaraağaç kömürlerinde Sc içeriği ortalama 5 ppm olarak hesaplanmıştır. Bu değer Dünya, linyit, Amerika ve Çin kömürlerinin üzerindedir. 10,33 ppm aritmetik ortalama sunan Malkara kömürlerinin Sc içerikleri ise Dünya, linyit, Amerika ve Çin kömürlerinin Sc içeriklerinin neredeyse üç katıdır. Malkara sahasındaki kömürlerdeki yüksek Sc değerlerinin provenans alanındaki Sc bakımından zengin kayalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 1. Şarkikaraağaç ve Malkara kömürlerinin Sc içerikleri

Şarkikaraağaç		Malkara	
Örnek No	Sc (ppm)	Örnek No	Sc (ppm)
IS11-280	11,00	151-13	5,00
IS11-281.80	15,00	151-30	21,00
IS50-259.50	<1	147-3	9,00
IS50-262.30	<1	147-7	17,00
IS50-266.50	<1	147-14	17,00
IS50-280.20	7,00	147-26	5,00
IS50-238.10	3,00	153-18	12,00
IS66-140.30	<1	133-9	9,00
IS66-143.60	2,00	133-21	15,00
IS66-157.90	5,00	133-30	9,00
IS88-160	1,00	152-9	3,00
IS88-173	2,00	152-20	16,00
IS93-365.50	6,00	152-42	14,00
IS93-367	8,00	155-6	5,00
IS93-369.90	3,00	155-28	6,00
IS93-372.30	8,00	131-14	10,00
IS93-374.40	4,00	131-27	10,00

IS93-387	5,00	129-4	7,00
IS93-388.80	5,00	129-18	6,00
IS93-391.30	11,00	129-24	10,00
IS98-73.20	5,00	129-36	11,00
IS98-75.40	10,00		
IS98-84.45	18,00		
IS104-275.60	6,00		
IS104-277	5,00		
IS104-278.40	1,00		
IS104-293.80	2,00		
IS104-346.60	<1		
IS104-349.90	1,00		
IS104-369.95	1,00		

Kömürlerin Sc içerikleri TOC değerleri ile karşılaştırılmış ve her iki sahada da negatif korelasyon gösterdikleri saptanmıştır (Şekil 1). Sc kömürde hem organik, hem de inorganik madde ile ilişkili olarak bulunabilmektedir. Ancak Malkara ve Şarkikaraağaç kömürlerinde TOC ile göstermiş olduğu negatif ilişki, Sc'un bu sahalarda inorganik birlikteliğine işaret etmektedir.



Şekil 1. Şarkikaraağaç ve Malkara kömürlerinde Sc-TOC ilişkisi

#### 4. Sonuçlar

Türkiye’de yenilenebilir enerjiye geçiş konusunda önemli çalışmalar yürütülmekle birlikte, kömür kullanımının uzun bir süre daha devam edeceği aşikardır. Kömür yakıtlı termik santrallerin atıkları olan kömür küllerinin, Sc gibi ekonomik öneme sahip elementler açısından kaynak olma potansiyellerinin araştırılması, sürekli bir ihtiyaç olan hammadde sorununu azaltması bakımından oldukça önemlidir. Kömür külünden değerli elementlerin eldesi, yerli kaynak kullanımını artırarak ekonomik katkı sağlamasının yanı sıra, atıkları en aza indirerek çevre kirliliğini azaltmaya da yardımcı olacaktır.

## Referanslar

- [1] Williams-Jones, A.E. and Vasyukova, O.V., “The economic geology of scandium, the runt of the rare earth element litter”, *Economic Geology*, vol. 113(4), pp. 973-988, 2018.
- [2] Arbuzov, S.I., Volostnov, A.V., Mashen’kin, V.S. and Mezhibor A.M., “Scandium in the coals of Northern Asia (Siberia, the Russian Far East, Mongolia, and Kazakhstan)”, *Russian Geology and Geophysics* vol. 55, pp. 1306–1315, 2014.
- [3] TKİ, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü Kömür (Linyit) Sektör Raporu, 2019.
- [4] Ketris, M.P. and Yudovich, Ya. E., “Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 78, pp. 135-148, 2009.
- [5] Finkelman, R.B., *Trace and minor elements in coal*. In: Organic Geochemistry, Engel, M. H. and Macko, S.A. (Eds.). New York: Plenum Press, pp. 593–607, 1993.
- [6] Dai, S.F., Zhou, Y.P., Ren, D.Y., Wang, X.B., Li, D. and Zhao, L., “Geochemistry and mineralogy of the Late Permian coals from the Songzao Coalfield, Chongqing, southwestern China”, *Science in China Series D: Earth Science*, vol. 50, pp. 678–688, 2007.
- [7] Dai, S.F., Li, D., Chou, C.-L., Zhao, L., Zhang, Y., Ren, D.Y., Ma, Y.W. and Sun, Y.Y., “Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: new insights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, China”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 74, pp. 185–202, 2008.
- [8] Dai, S., Ren, D., Chou, C., Finkelman, R. B., Seredin, V.V. and Zhou, Y., “Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization”, *International Journal of Coal Geology*, vol. 94, pp. 3–21, 2012.
- [9] Ünal N. and Özçelik O., “Organic facies characteristics of the coaly units, Şarkikaraağaç Neogene Basin (Isparta/Turkey)”, *Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 4, pp. 259-265, 2017.
- [10] Ünal, N., 2018, “Şarkikaraağaç (Isparta) Kömürlerinin Organik Jeokimyası ve İz Element Dağılımı”, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği A.B.D., 2018.
- [11] Güllüdağ, C.B., “Malkara (Tekirdağ) Kömürlerinin Organik Jeokimyası, Ana-Eser Element İçerikleri ve Çevresel Etkilerinin Cbs Destekli İncelenmesi”, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği A.B.D., 2019.