



TEKERLEK VE RAY ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Erdim ERTEKİN

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail ESEN**

TEKERLEK VE RAY ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Erdim ERTEKİN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail ESEN**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

Erdim ERTEKİN tarafından hazırlanan “TEKERLEK VE RAY ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail ESEN

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. İsmail ESEN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğrt. Üyesi Mehmet Akif KOÇ (SAÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Erdim ERTEKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEKERLEK VE RAY ETKİLEŞİMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Erdim ERTEKİN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İsmail ESEN

Temmuz 2021, 76 sayfa

Demiryolları; en çok ve en sık şekilde kullanılmakta olan ulaşım araçlarından bir tanesidir. Ray ve tekerlek de demiryolları ulaşımının en önemli iki ekipmanıdır. İnsanlığın ilk keşiflerinden biri olan tekerlek, zaman içerisinde gelişen teknoloji ile birlikte çeşitli formlarda kullanılmaya ve üretilmeye başlanmıştır. Demiryollarının altyapısını oluşturmakta olan raylara göre dizayn edilen tekerler bu formlardan bir tanesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Teker ve ray arasındaki etkileşim oldukça önemlidir. Çünkü bu iki ekipmanın birbiri ile uyumu doğrudan bir şekilde ulaşımın ve lojistiğin kalitesine etki etmektedir. Günümüz koşullarında zaman kavramının giderek değişmesi ve bu bağlamda ulaşımın en hızlı olabilecek şekilde dizayn edilmeye çalışılması teker ve ray arasındaki etkileşimi daha da önemli hale getirmektedir.

Tekerlek ve ray etkileşiminin incelenmesi amacıyla ANSYS paket programından yararlanılmış ve söz konusu geometrinin idealize edilmesi amacıyla CAD Modelleme yapılmıştır.

Tekerlek ve ray etkileşiminin incelenmesi amacıyla fad-wu tipi yük vagonuna yükleme yapılmış ve tekerlek ile rayın dinamik olarak hareketi ile iki ekipmanın etkileşimi değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında öncelikle ray ve teker geniş çaplı bir incelemeye tabi tutulmaktadır. Konu ile ilgili birincil veri kaynakları kullanılarak ray ve tekerin ne olduğu açıklanmıştır. Bu çalışmanın amacı teker ve ray arasındaki etkileşimi modellemek ve analiz etmektir.

Anahtar Sözcükler: Ray, tekerlek, etkileşim, demiryollari, analiz, yükleme, mukavemet.

Bilim Kodu : 91433

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE INTERACTION OF WHEEL AND RAIL MODELING AND ANALYSIS

Erdim ERTEKİN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Doç. Dr. İsmail ESEN

July 2021, 76 pages

Railways; It is one of the most widely used means of transportation. Rail and wheel are the two most important equipment of railway transportation. The wheel, which is one of the first discoveries of humanity, has begun to be used and produced in various forms with the developing technology over time. Wheels designed according to the rails that form the infrastructure of the railways appear as one of these forms.

The interaction between the wheel and the rail is very important. Because the compatibility of these two equipments with each other directly affects the quality of transportation and logistics. In today's conditions, the concept of time changes gradually and in this context, trying to design the transportation in the fastest way makes the interaction between the wheel and the rail even more important.

In order to examine the wheel and rail interaction, the ANSYS package program was used and CAD Modeling was made in order to idealize the geometry in question. In

order to examine the wheel and rail interaction, the fad-wu type freight wagon was loaded and the dynamic movement of the wheel and rail and the interaction of the two equipment were evaluated. Within the scope of this study, first of all, rail and wheel are subjected to a comprehensive examination. By using primary data sources on the subject, what rail and wheel are is explained. The aim of this study is to model and analyze the interaction between wheel and rail.

Key Word : Rail, wheel, interaction, railways, analysis, loading, strength.

Science Code: 91433

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İsmail ESEN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili eőim Özge ERTEKİN'e manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda olduğu için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU.....	2
1.2. ARAŞTIRMANIN AMACI.....	2
1.3. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ	2
BÖLÜM 2	3
RAY VE TEKER ETKİLEŞİMİ.....	3
2.1. RAY.....	3
2.1.1. Ray Profilleri	3
2.1.2. Ray Çeşitleri	8
2.1.2.1. Çift Mantarlı Raylar.....	9
2.1.2.2. Oluklu Raylar.....	9
2.1.2.3. Tek Mantarlı Raylar (Vinyol Tipi)	10
2.1.3. Ray Üretimi	10
2.1.3.1. Yüksek Fırın.....	11
2.1.3.2. Çelik Yapımı	12
2.1.3.3. Sürekli Döküm	13
2.1.3.4. Haddeleme	14

	<u>Sayfa</u>
2.1.3.5. Doğrultma ve Ölçüm.....	15
2.1.4. Rayların Döşenmesi.....	16
2.1.5. Rayların Kimyasal ve Mekanik Özellikleri	18
2.1.5.1. Akma Gerilmesi σ_y [N/mm ²].....	18
2.1.5.2. Çekme Gerilmesi σ_u [N/mm ²].....	19
2.1.5.3. Kırılma Sonrası Uzama [%].....	19
2.2. TEKER	19
2.2.1. Tekerlek Üretimi.....	20
2.2.1.1. Dövme Yöntemi.....	21
2.2.1.2. Döküm Yöntemi.....	22
2.2.2. Tekerlek Malzemesi.....	24
2.2.2.1. Karbon(C)	25
2.2.2.2. Mangan (Mn)	26
2.2.2.3. Silisyum (Si)	26
2.2.2.4. Fosfor (P)	26
2.2.2.5. Kükürt (S)	27
2.2.2.6. Krom(Cr).....	27
2.2.2.7. Nikel (Ni).....	27
2.2.2.8. Molibden (Mo).....	28
2.2.2.9. Vanadyum(V)	28
2.2.2.10. Bakır(Cu)	28
2.3. TEKER RAY ARASINDAKİ TEMAS PROBLEMİ	29
2.3.1. Temas Analizi	37
2.3.2. Sabit Yuvarlanmalı Temaslarda Gerilim Dağılımı.....	39
2.3.2.1. Hazırlık Aşaması.....	39
2.3.2.2. Carter Teorisi	40
2.3.2.3. 3 Boyutlu Yuvarlanmalı Temas Problemi	41
2.3.3. Tekerlek Takımlarının Ultrasonik Test edilmesi	43
BÖLÜM 3	45
UYGULAMA	45
3.1. VAGON VE UIC60 RAY MODELLENMESİ	45

	<u>Sayfa</u>
3.2. GEOMETRİ VE ANALİZ	50
3.2.1. Geometrinin Oluşturulması	50
3.2.2. Kontakların Oluşturulması.....	51
3.2.3. Mesh Detayları.....	54
3.3. BOUNDARY CONDITION’LARIN BELİRLENMESİ.....	55
3.4. SONUÇLAR	59
3.4.1. Ray Deformasyon/Stres Sonuçları.....	61
3.4.2. Teker Deformasyon/Stres Sonuçları.....	63
3.4.3. Aks Deformasyon/Stres Sonuçları.....	65
3.5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	66
BÖLÜM 4	68
TARTIŞMA	68
BÖLÜM 5	71
SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çift mantarlı ray (soldaki) ve vinyol tipi ray(sağdaki).....	4
Şekil 2.2. UIC 60 Rayının teknik resmi.	5
Şekil 2.3. Ray bölümleri.....	7
Şekil 2.4. Oluklu ray (RI59 RI13) a) ref 24 b) ref 25.....	9
Şekil 2.5. Makinelerle travers ve rayların döşenmesi.	17
Şekil 2.6. Tekerlek Boden ve yüzeyi ölçüm noktaları VPI 04-3.1.....	19
Şekil 2.7. Tekerlek takımı boyutları EN 13715-S1002/h28/e30,55/6,74½ Walbo Railway.	20
Şekil 2.8. Dövme yöntemi ile tren tekerleği üretimi işlemleri.	22
Şekil 2.9. Alçak basınçlı döküm.....	23
Şekil 2.10. Gravity döküm.	24
Şekil 2.11. Gravity döküm yöntemiyle tren tekerleği üretimi.	24
Şekil 2.12. Teker ve ray teması Anapet 2021.	29
Şekil 2.13. Kayma yapışma (slip-stick) bölgelerinin şematik gösterimi.	31
Şekil 2.14. Temas durum analizi örneği.....	33
Şekil 2.15. Teker ray arasındaki geometrik temas noktaları.....	34
Şekil 2.16. Ray ve tekere göre referans temas noktaları.	36
Şekil 2.17. Temas alanındaki yerel parametreler.....	36
Şekil 2.18. Tipik temas basınçları, alanları ve kurp pozisyonu.....	37
Şekil 2.19. Hertz problemi.	38
Şekil 2.20. Teğet gerilmeleri ile yüklenen çeşitli temas alanları a-dairesel b-şerit... 40	40
Şekil 2.21. Temas alanında teğetsel gerilmelerin dağılımı.	41
Şekil 2.22. Anapet tekerlek takımları bakımı acarlar vagon 2021.	44
Şekil 3.1. Fad-wu cevher vagonu.	46
Şekil 3.2. Fad-wu cevher vagonu üst görünüm.	46
Şekil 3.3. Fad-wu cevher vagonu yan görünüm.	47
Şekil 3.4. Fad-wu cevher vagonu Y-25 Boji.	47
Şekil 3.5. Fad-wu cevher vagonu 22,5 tonluk tekerlek takımı.	48

Sayfa

Şekil 3.6. UIC 60 ray ve travers bağlantı montajlı çizim.	49
Şekil 3.7. 1435 mm ekkartman açıklığına göre çizilen yol önden görünüş.	49
Şekil 3.8. Tekerlek takımının ve ray üzerine konumlandırılması.	50
Şekil 3.9. Analiz yapılacak parçaların belirlenmesi.	51
Şekil 3.10. Kontakların oluşturulması.....	51
Şekil 3.11. Kontakların oluşturulması.....	52
Şekil 3.12. Kontakların oluşturulması.....	52
Şekil 3.13. Kontakların oluşturulması.....	53
Şekil 3.14. Kontak parametreleri.	53
Şekil 3.15. Meshleme.....	54
Şekil 3.16. Mesh yöntemleri.	54
Şekil 3.17. Mesh eleman sayısı.	55
Şekil 3.18. Sınır koşullarının belirlenmesi.....	55
Şekil 3.19. Sınır koşullarının belirlenmesi.....	56
Şekil 3.20. Sınır koşullarının belirlenmesi yerçekimi.....	56
Şekil 3.21. Tekerlek hız değerinin belirlenmesi.....	57
Şekil 3.22. Rayların sabitlemesi.....	57
Şekil 3.23. Yer değiştirme.....	58
Şekil 3.24. Yer değiştirme detayları (X-Y-Z).	58
Şekil 3.25. Tekerlek başına belirlenen yük.	59
Şekil 3.26. Çoklu seçim (X-Y-Z).....	59
Şekil 3.27. Analiz ayarları.....	60
Şekil 3.28. Toplam deformasyon.	60
Şekil 3.29. Ray deformasyon.	61
Şekil 3.30. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.	61
Şekil 3.31. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.	62
Şekil 3.32. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.	62
Şekil 3.33. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.	63
Şekil 3.34. Tekerlek deformasyon 0.2 saniye boyunca.....	63
Şekil 3.35. Tekerlek deformasyon değerleri.	64
Şekil 3.36. Aks deformasyon analiz.....	65
Şekil 3.37. Aks deformasyon.	65

Şekil 3.38. Aks deformasyon değerleri..... 66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. S49, UIC 54 ve UIC 60 Rayı boyutları.....	6
Çizelge 2.2. Ray cinslerine göre ölçüleri.	10
Çizelge 2.3. Ray kalitelerinin kimyasal ve mekanik özellikleri.....	19
Çizelge 2.4. Tekerlek malzeme sınıfı.....	25
Çizelge 2.5. Kimyasal bileşime göre malzeme sınıfı.	25
Çizelge 2.6. BS5892 Tekerlek malzeme sınıfının mekanik özellikleri.....	29
Çizelge 3.1. Modellerin malzeme özellikleri ve mukavemet değerleri.	50
Çizelge 3.2. Modeller üzerinde ortalama değerler.	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: derece Santigrat
C	: karbon
Cr	: krom
Cu	: bakır
Km	: kilometre
M	: metre
Mm	: milimetre
Mn	: mangan
Mo	: mobilden
Ni	: nikel
P	: fosfor
S	: kükürt
Si	: silisyum
γ	: birim hacim ağırlığı
$\Gamma(x)$: gama işlevi
θ	: kutupsal açı
σ	: normal gerilme
σ_c	: tek eksenli basınç dayanımı
V	: vanadium
Pa	: pascal

KISALTMALAR

MAKS : Maksimum

TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

UIC : Uluslararası Demiryolları Birliği

YVBK : Y¼k Vagonu Bakım Kılavuzu

TSE : Türk Standartları Enstit¼s¼

ULM : Ultrasonik Muayene

VPI : European Rail Service GMBH (Avrupa Demiryolu Hizmeti)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ulaşımın başlaması tekerleğin icadına dayandırılmaktadır. İnsanoğlunun gelişim göstermesinden şu anki sürece kadar, insanların ve malların güvenli ve hızlı ulaşımı organize olmuş durumda olan her toplumun hedefi haline gelmiştir. Günümüzde en sık biçimde kullanılmakta olan ulaşım biçimleri demiryolları ve havayollarıdır. Demiryolları, 19. yüzyılın ilk dönemlerinden itibaren İngiltere’de bulunmakta olan maden ocaklarında şekil almaya başlamıştır. Demiryolunun sahip olduğu başlıca özellik tekerleğin metal teması sayesinde bir hat ekseninin de belirli bir kılavuz dahilinde hareket etmesidir. Bahsi geçmekte olan bu hareket alanı demiryolu aracına belirli bir seviyede serbestlik sağlamaktadır [1].

Endüstrinin gelişmesi, demiryolu gelişimini oldukça fazla etkilemiştir. Özellikle sanayileşmeyle birlikte buhar teknolojisinin kullanılmaya başlaması, demir ve kömür madenlerinin yaygın bir biçimde kullanılması demiryolu gelişimini oldukça çok etkilemiştir. Demiryolu hatlarının ilki 1830’lu yıllarda birçok Avrupa şehrinde işlerlik kazanmaya başlamıştır. 20. yüzyılın başlarında ise demiryolları kullanımı en yüksek kapasitesine ulaşmıştır. Demiryolunun bu denli gelişmiş olmasındaki en önemli faktör yüksek hıza ulaşabilme olanağı ile hızlı ulaşım sağlayabilme avantajına sahip olabilmektir. Yapılan incelemelere göre 1838 yılında saatte 100 kilometre hıza ulaşılmıştır. 1890’da ise Fransa’da saatte 144 kilometre hıza çıkılmıştır. 1903’de ise Almanya’da saatte 213 kilometre hıza ulaşım sağlanmıştır [1].

20. yüzyılın başlangıcında elektrikli çekimin demiryollarında kullanılmasına başlanmasıyla daha fazla gelişim meydana gelmiştir. İkinci Dünya Savaşı’ndan önce merkezi kontrol sisteminin ve sinyalizasyonun gelişimi ile 1950’den itibaren günümüzdeki demiryolları şekil almaya başlamıştır.

1.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU

Tekerler ve raylar kullanım alanlarının ehemmiyeti gereği oldukça detaylı bir Şekilde analiz edilerek üretilmek durumundadır. Tekerlekler ve raylar geçmiŐten günümüze ulaşımın mihenk taşı olma özelliği göstermektedir [2]. Dolayısıyla rayların ve tekerleklerin üretim aşamasından kullanım aŐamasına kadar olan tüm süreçler oldukça önemlidir. Bu nedenle araştırma kapsamında tekerlek ve rayların modellenmesi üzerine bir inceleme yapılmakta olup akabinde analize tabi tutulmaktadır.

1.2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu çalışmanın asıl amacı; tekerleklerin ve rayların bir modellemesini ortaya koymak ve analizini gerçekleŐtirmektedir. Literatüre bakıldığında daha önce yapılmış olan çalıŐmalarda tekerleklerin modellenmesi ve analizi konusunda kısıtlılıkların söz konusu olduğu görülmektedir. Bu alıŐma ile bahsi geçen kısıtlılıkların aŐılması planlanmaktadır.

1.3. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Tekerlekler ve raylar ulaşımın en temel malzemesidir. Bu malzemelerin varlığı üzerine inşa edilmiş olan bir ulaşım ağı söz konusudur. Dünyada ve Türkiye’de halen bu iki mekanizmaya bağlı olarak ulaşım standartları ve koşulları belirlenmektedir. Bu nedenle tekerleklere ve raylara dair bir modellemenin ve analizin yapılması oldukça önemlidir. Bu alıŐma gerek literatür taraması kısmında birincil veri kaynaklarından yararlanılması gerekse analiz kısmında zgn ve güvenirlilik düzeyi yüksek verilerden faydalanılması bakımından da önem arz etmektedir.

BÖLÜM 2

RAY VE TEKER ETKİLEŞİMİ

Bu başlık altında ray ve teker hakkında geniş çaplı bilgiler verilmiş olup; teker ve ray arasındaki temas problemine dikkat çekilmiştir.

2.1. RAY

Bir demiryolunun inşa edilebilmesi için gerekli olan en önemli malzeme raydır. Ray; yaklaşık olarak her tipteki demiryolu hattında kilometre başına düşen en büyük yatırım olarak ifade edilmektedir. Üretin tarihi olarak ray; 200 yıllık bir tarihi kapsamı içerisine almaktadır. Ray üretim çalışmaları Türkiye’de yalnızca Kardemir tarafından yürütülmektedir. Türkiye’de ray üretimi faaliyetleri 1950 yılında başlamıştır fakat bu çalışmaların kısa sürdüğü görülmektedir. Bu üretim esnasında yalnızca sınırlı uzunlukta rayın üretimi yapılmıştır. Demiryolu hattının inşa edilmesi aşamasında kullanılan en önemli malzeme raydır. Tekerleklerden iletilmekte olan yükleri mesnetlerin ya da traversin üzerine dağıtmaktadır. Boylamsal olarak bakıldığında da tekerleklerle kılavuzluk ettiği bilgisine ulaşılmaktadır. Bunların yanında vagon ve lokomotifin düzgün bir biçimde hareket edebilmesi için gerekli olan yüzeyi sağlamaktadır. Ray üretimiyle alakalı olarak Türkiye’de Kardemir’den başka bazı ufak girişimler de olmuştur ancak herhangi bir çalışma yapılmadan girişimlere son verilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği üzere 1950 yılında Kardemir tarafından yapılan çalışmalar kısıtlı kalmıştır ve ilerleyen dönemlerde de bu konuyla alakalı olarak herhangi bir geliştirme çabası gösterilmemiştir [2].

2.1.1. Ray Profilleri

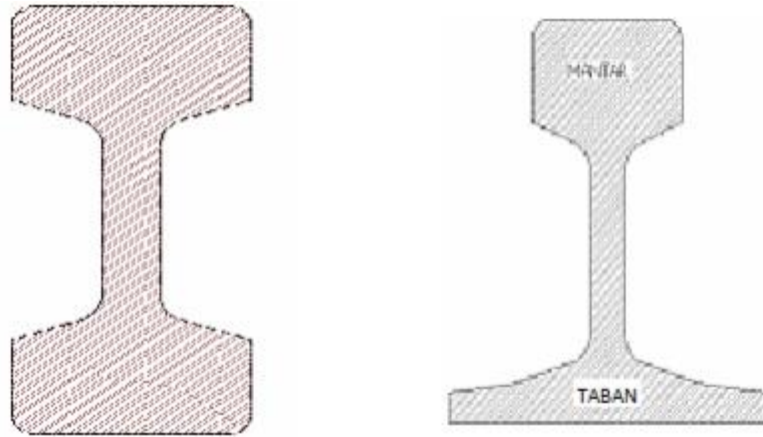
Üretimi demirden yapılmakta olan taşıma araçlarında kullanılmakta olan lamalar; ilk kez 18. yüzyılda maden ocaklarında ortaya çıkan bir krizden dolayı hâlihazırda

kullanılmakta olan ahşap şeritlerin aşınması durumunun önüne geçebilmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Bahsi geçen bu lamalar ilk raylar olarak literatürde yer almaktadır. Ancak çok fazla beklentiye hitap etmekte olan bir sistem değildir. Örneğin taşıyıcılık özelliği bulunmamaktadır. Yalnızca aşınmayı önleyici niteliğe sahip olan bir kaplama aracı olacak şekilde kullanımı gerçekleştirilmiştir. Jessop; 1789 yılında mantar ve gövdeden meydana gelmekte olan, taşıma gücüne sahip ilk rayı üretmiştir. Bunun yanı sıra bu rayları 1 metre aralıklarla dizerek ve taş mesnetler üzerine yerleştirerek ilk demiryolunu inşa etmiştir [6].

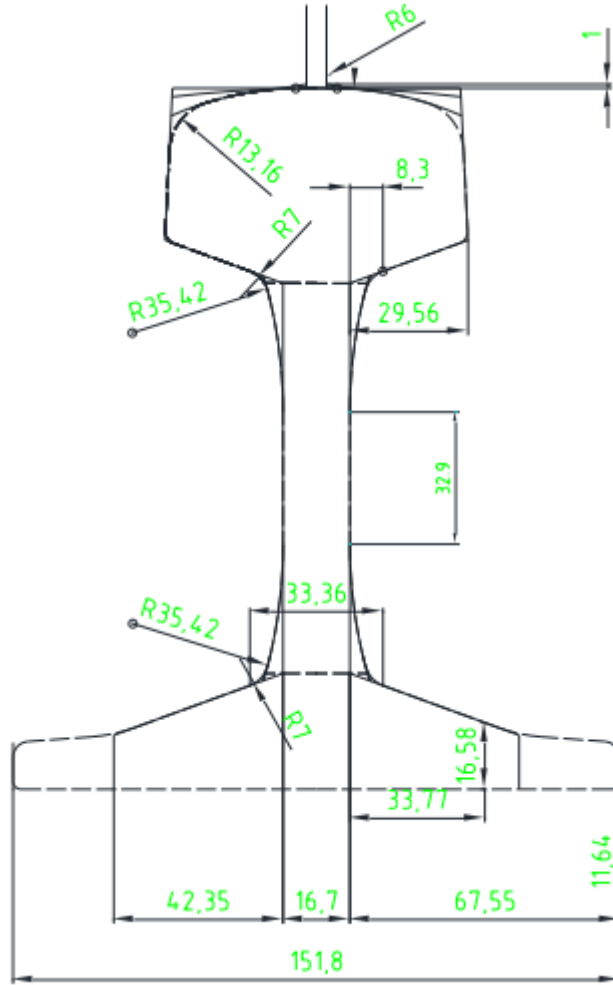
Üretimi gerçekleştirilmiş olan taşıyıcı nitelikteki raydan sonra aynı özelliklere sahip diğer tiplerde ray profilleri de üretilmeye çalışılmış ve denenmiştir. Zaman içerisinde bahsi geçen bu raylarda yalnızca ikisi, demiryolu yönetimleri tarafından geniş kapsamda kullanılmıştır. Bahsi geçen bu raylar çift mantarlı ve Vinyol adı verilen geniş tabanlı raylardır.

Haddelenme aşaması kolay olan çift mantarlı rayların kullanımı üretildiği ilk dönemlere popüler olmuştur ve çok fazla tercih edilmiştir. Ancak şuanda neredeyse hiçbir yerde kullanımı söz konusu değildir. Vinyol tipi rayların üretimi ise Stevens tarafından 1832’de gerçekleştirilmiştir. Bu tip raylar halihazırda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu tipe adını veren ise üretimini gerçekleştiren Stevens değil kullanımını sağlayan Vinyol’dur [7].



Şekil 2.1. Çift mantarlı ray (soldaki) ve vinyol tipi ray(sağdaki).

Güncel olarak yaygın bir şekilde kullanılmakta olan ray profil tipleriyle alakalı bilgilere Şekil 2.1.'de yer verilmiştir. TCDD'de tek tip bir ray tipinin kullanılması söz konusu olmamaktadır. Hâlihazırda TCDD birbirinden çok farklı kesitleri olan rayları halen kullanmaktadır. Ancak yapılan yol yapım çalışmalarında şu an için S 49 profilinin kullanıldığı görülmektedir. Ağır bir trafiğe sahip olan demiryolu hatlarında ise dingillerin üzerindeki basıncın yükseltilmesi için UIC69 rayı kullanımına da başlanmıştır.



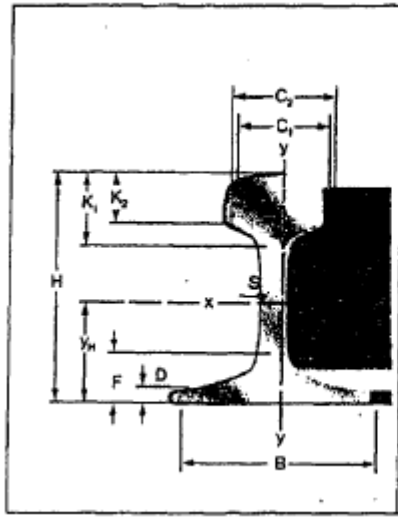
Şekil 2.2. UIC 60 Rayının teknik resmi.

Haddelenme yöntemi açısından raylar; zor bir profil özelliği taşımaktadır. Giriş kesitinin büyük olmasının tercih edilmesi, deformasyon düzeyinin de yüksek olması temiz ve düzgün bir yüzeyin elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak böylesi bir durumda rayın boyu olabildiğince uzama göstereceğinden dolayı, kuyruk ve uç arasındaki sıcaklık farkı da artma eğilimi gösterebilmektedir. Bu durum bükülme ve

eğilmelere neden teşkil edebilmektedir. Son zamanlarda üretilmiş olan teknolojilerle en azından sıcaklık kontrolünü sağlayabilmek mümkündür [8].

Rayın haddelenmesi tekrardan kristalleşme ısınının çok üstünde olan bir ısıda plastik deformasyonu olayından ibarettir. Haddelene yöntemi “kesit azalması ya da ezme oranı deformasyon nispeti” olarak isimlendirilmekte olan bir parametre aracılığıyla ifade edilebilmektedir. Ezme oranı deformasyon nispeti TCDD’nin belirlemiş olduğu şartnamede minimum 1/8 olacak biçimde belirlenmiştir [2].

Çizelge 2.1. S49, UIC 54 ve UIC 60 Rayı boyutları [2].



	S 49	UIC 54	UIC 60
H (mm)	149	159	172
B (mm)	125	140	150
C ₁ (mm)	67	70	72
C ₂ (mm)	70	72.20	74.30
S (mm)	14	16	16.50
K ₁ (mm)	51.50	49.40	51
K ₂ (mm)	39.80	36.30	37.50
F (mm)	27.50	30.20	31.50
D (mm)	10.50	11.00	11.50
A (mm ²)	6297	6934	7687
G (kg/m)	49.43	54.43	60.34
Y _H (mm)	73.30	74.97	80.90
I _x (cm ⁴)	1819	2127	3055
W _x (cm ³)	240	279.19	335.50

İlk bakıldığında rayı kesiti çok basit olarak görünmektedir ancak tek tek her bir parça incelendiği zaman çok karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülebilmektedir. Raylar; mantar, gövde ve tabandan oluşmaktadır. Ray üzerinde yer almakta olan her boyut farklı nitelikteki gerekliliklerin bir sonucu olarak ifade edilmektedir. Bahsi geçmekte olan bu gereklilikleri kısa bir şekilde tanımlamak gerekirse;

Mantar

Tekerlekler ile doğrudan bir temas içinde olan yuvarlanma yüzeyinin, genişliği, bombeliği, yüksekliği ve yanakların eğim durumunun kabul edilebilir ölçülerde olması gerekmektedir.

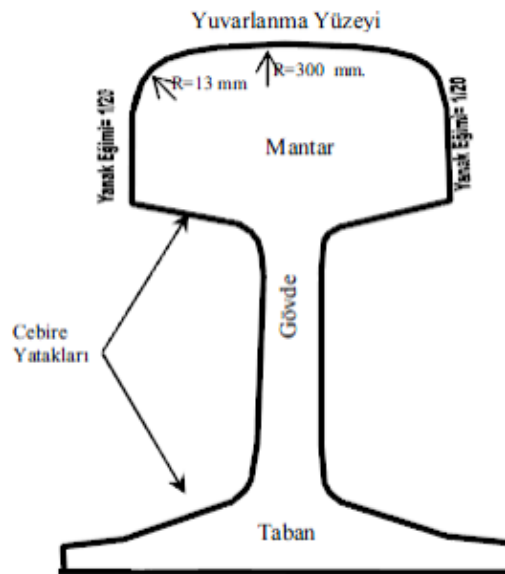
Gövde

Kalınlığı, cebire yuvalarının eğim durumuna, mantara ve tabana birleştiği bölümlerdeki bağlantı satırlarına uygun bir şekilde başka malzemeler kullanarak boyutlandırmak gerekmektedir.

Taban

Genişliği, rayın travers üzerine sağlam bir şekilde yerleşmesi ve devrilme durumuna karşı durağanlığını sağlayacak biçimde ayarlamak gerekmektedir. Bu hususla birlikte, haddelenmesi ve rayların küçük olan kurplara uyum sağlayabilmesi adına yanal doğrultuda yer alan dayanıklılık momentinin belirli bir seviyeden daha büyük bir düzeyde olmamasını sağlayacak biçimde boyutlandırılması gerekmektedir.

Rayların üretimi; gereksinimler ve şartlar doğrultusunda birbirinden farklı boylarda üretilebilmektedir. Avrupa içerisinde 100 metrenin üzerinde bir uzunluğu bulunan rayların üretimini yapan tesisler halen varlığını sürdürmektedir. Fakat lojistiği bakımından zorluk çıkarıyor olması gibi hususlar göz önünde bulundurularak TCDD tarafından 36 metre uzunluğa sahip olan rayların kullanılmakta olduğuna şahit olunmaktadır. Bahsi geçmekte olan bu rayların döşenmesi işlemi ark alın kaynağı yöntemi ya da alüminotermite yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir [2].



Şekil 2.3. Ray bölümleri [5].

Aşağıda belirtilmekte olan özellikler ray profillerinde bulunmak durumundadır.

- Hareket halinde olan yüzeyin yeterli seviyede geniş olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra ray ve tekerler arasındaki temastan kaynaklanmakta olan yüzey basıncının en düşük düzeyde tutulacak şekilde üretilmesi önem arz etmektedir.
- Hizmet etme süresinin uzun olması için baş yüksekliğinin yeterli düzeyde aşınmaya izin vermesi gerekmektedir.
- Rayın gövdesinin esneme dayanıklılığı ve taşıma kapasitesi bakımından yeterli düzeyde kalınlığa sahip olması gerekmektedir.
- Ayak yüksekliklerinin durağanlık sağlamak için ve traverslere en düşük düzeyde yüzey basıncı iletmek için yeterli kalınlığa sahip olması gerekmektedir.
- Ray kesitlerinin modülünün -hem dikey hem de yatay olmak üzere- taşınması beklenmekte olan yüklere uygun olması gerekli görülmektedir.
- Rayların faydalı olan gerilme akışına ulaşabilmesi için alanlarının yeterli yarıçapa sahip olması gerekmektedir.
- Ray profillerinin yüksekliklerinin ve ayaklarının seçiminde yeterli düzeyde eğilme direncine sahip olması durumuna dikkat etmek gerekmektedir.
- Statik olan nedenlerden kaynaklı olarak ağırlık merkezinin yaklaşık bir şekilde ray yüksekliğinin yarısı düzeyinde olması gerekmektedir [1].

2.1.2. Ray Çeşitleri

Rayların icat edilmesinden bu yana rayların biçim ve malzeme özellikleri açısından önemli gelişmelerin olduğunu söyleyebilmek mümkündür. Biçimsel olarak üç tip rayın kullanımı söz konusudur. Bunlar;

- Çift mantarlı raylar
- Oluklu raylar
- Tek mantarlı raylar (Vinyol tipi)

2.1.2.3. Tek Mantarlı Raylar (Vinyol Tipi)

Vinyol tipi rayların üretimi Stevens tarafından 1832 yılında yapılmıştır. Fakat Stevens'in değil, kullanım alanlarının genişlemesini sağlamakta olan mühendisin ismi Vinyol adı verilmiştir. Bu ray tipinin kullanımına dünyada ve Türkiye'de halen devam edilmektedir [1].

TCDD tarafından kullanılmakta olan rayların ölçüleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir. Demir yollarında yer almakta olan konvansiyonel hatlarda 49'luk rayların kullanımına rastlanmaktadır. Hızlı tren yolu hatlarında ise 60'luk rayların kullanımı söz konusu olmaktadır. Tramvay gibi hafif raylı sistemlerde ise daha küçük kesite sahip farklı raylar kullanılmaktadır [3].

Çizelge 2.2. Ray cinslerine göre ölçüleri.

Rayın Cinsi	Taban Genişliği	Yüksekliği	Mantar Genişliği	Gövde Kalınlığı
60,340 kg/m	150 mm	172 mm	72 mm	16,5 mm
49,050 kg/m	125 mm	148 mm	67 mm	14 mm
49,430 kg/m	125 mm	149 mm	67 mm	14 mm
46,303 kg/m	134 mm	145 mm	64 mm	15 mm
39,520 kg/m	120 mm	138 mm	62 mm	12 mm

2.1.3. Ray Üretimi

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte ray üretimi yüksek oranda modernize olmuştur. Ray üretiminde bazik oksijen ocaklarının önemi büyüktür. Fakat bu ocaklar üretimin tek çıkar yolu değildir. Bunun yanı sıra havasız olan ortamdaki gaz alma metotları ve ikincil metalürji metotları pratikte oldukça fazla kullanılmaktadır. Çelik üretiminde bilgisayarın kullanılmaya başlaması üretim kalitesini olabildiğince yükseltmiştir. Bunun yanı sıra üretimin daha kontrollü olmasını sağlamıştır. Sürekli olarak döküm işleminin gerçekleştirilmesi rayın kalitesinin yükselmesine önemli katkılar sunmuştur. Daha doğru ölçüm yapma teknikleriyle aynı uygulamalar birbirinden farklı işlem aşamalarından geçmektedir.

Ray üretimi aşağıdaki ana bölümlerden oluşmaktadır:

- “Yüksek fırın”
- “Çelik yapımı”
- “Sürekli döküm”
- “Haddeleme”
- “Doğrultma ve ölçüm (ultrasonik, geometri, kontrol)”

2.1.3.1. Yüksek Fırın

Çelik; demirin artırılması sonucu belirli birtakım elementlerin ilavesiyle elde edilmektedir. Doğa içerisinde demir oksitler halinde cevher olarak bulunmaktadır.

Dünya’da demir birkaç bölgeye yayılmış durumdadır. Aynı zamanda yeteri kadar çok halde bulunmaktadır.

Demir cevheri ocaklardan temin edildikten sonra belli büyüklüklerde kırılmaktadır. Daha sonra kırılma işleminin ardından küçük parçaların ayrılması işlemine geçilmektedir. Buradan sinterlenme işlemi için sinter ünitesine sevkiyatı gerçekleştirilmektedir. Küçük olan parçacıklar bu aşamada kireç taşı ve kok ile harmanlanarak demir bakımından zengin niteliğe sahip parçalar haline almaktadır. Bahsi geçmekte olan bu parçalara sinter denilmektedir. Sinterler; demir cevheri ile beraber yüksek fırına atılmaktadır. Bunların yanı sıra kok ve belirli miktardaki kireç taşının da fırına atılarak yakılması söz konusu olmaktadır. Bu esnada fırının içerisinde sıcak hava verilerek yanma hızı yükseltilmektedir. Böylelikle büyük bir sıcaklığın meydana çıkması söz konusu olmaktadır. Böylelikle demir cevherinin indirgenliği görülmektedir. Fırına atılmış olan cevher ve sinter parçaları eriyerek fırının dip kısmına toplanmaktadır. Bu arada bahsi geçmekte olan fırının sıcaklığı 1500 °C’dir. Fırındaki kireç taşı ile cevher içindeki istenmeyen maddeler birbirleriyle kaynaşmaktadır. Bu kaynaşma ile beraber curuf oluşumu meydana gelmektedir. Oluşmuş olan bu curuf sıvısı metalden daha hafiftir. Bu nedenle metal sıvısı üzerinde yüzebilmektedir.

Yüksek fırınlarda yapılmakta olan işlemler süreklilik arz etmektedir. Metalin yüzeyinde curuf oluşumu gerçekleşir gerçekleşmez periyodik bir şekilde curuf alma işlemine başlanmaktadır. Bunun yanı sıra cürufun alt tarafından başlamak kaydıyla erimiş olan metalin alımı gerçekleştirilerek sıvı çelik üretimine gitmesi sağlanmaktadır.

Süreklilik arz edecek biçimde cevher, sinter, kireç taşı ve kok yüksek fırına yüklenmektedir. Bu esnada sıcak olan havanın aşağı yönden üflenmesi durumu söz konusu olmaktadır. Bahsi geçmekte olan bu işlem; fırının sıcaklığa dayanıklı olan refraktötünde bozulma meydana gelmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra refraktörün düzenlenmesi gereksinimi söz konusu oluncaya kadar yaklaşık olarak 4 yıllık bir süreç içerisinde ya da daha fazla bir sürede sürekli olarak devam etmektedir [1].

2.1.3.2. Çelik Yapımı

Çelik yapımında bazik oksijen ocak işlemi olarak tabir edilen metot önemli bir yere sahiptir. Modern bir fırında tek seferde 150-350 ton malzemene alımı gerçekleştirilmektedir ve bunun yanı sıra çelik üretimi 40 dakikada yapılabilmektedir. Sıcak bir durumda olan metal bazik oksijen işleminde kullanılan malzemelerden en önemlisidir. Önce hurda malzeme fırına atılmaktadır. Daha sonra ise sıvı metal yüklemesi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler uygulanırken fırının ağız kısmı yukarı bakacak biçime getirilerek işlem başlatılmaktadır. Fırına yüklenmiş olan malzemenin %30'u hurdadan oluşmakta iken %70'i sıvı metalden oluşmaktadır.

Çelik yapımı aşamasında su ile soğutulmuş olan oksijen borusu fırının içerisine daldırılmaktadır. Bu daldırma işlemi yapılır yapılmaz olabildiğince yüksek bir hızda saf ve kuru oksijen üflemesi yapılmaktadır. Üflenmiş olan oksijen karbonla ve diğer istenmeyen durumdaki elementler ile bir araya gelerek sıvı malzemenin temizlenmesine neden olmaktadır. Karbon seviyesi %0,1'den daha düşük bir seviyeye gelinceye kadar oksijenin üflenmesine devam edilmektedir. Bahsi geçmekte olan üfleme süresi içerisinde akışkanlık düzeyini yükseltmek için kireç taşı ilavesi yapılmaktadır. Kireç taşının yapmış olduğu etkiyle oksijen istenilmeyen ürünlerle

birleşim sağlayarak oksitlerin oluşumuna ortam yaratmaktadır. Bu oksitler curuf oluşturduğu için yüzey üzerinde kalmaktadır.

Fırın içerisine daldırılmış olan oksijen borusunun bulunduğu konum, üflenecek olan oksijen düzeyi, ilave edilecek malzeme miktarlı bilgisayar destekli bir mekanizma ile kontrol edilmektedir ve bu kontrol işlemi tam anlamıyla otomatik olarak yapılmaktadır.

İşlem sonrasında metal alma kapağı bölümünden bütün metalin potaya alımı aşaması gerçekleştirilmektedir. Bu aşamadan sonra ocak ters çevrilmektedir ve önceden hazır vaziyette olan curuf potasına ocak yüzeyinde kalan curufun boşaltma işlemi gerçekleştirilmektedir. Metalin içine alaşım elementleri atılımı yapılarak karbürize edilmektedir. İkincil metalürji işlemi ismi verilen proseste kimyasal kompozisyon ve ısı düzeyi ayarlanmaktadır. Daha sonra istenilmeyen maddelerin atılımı gerçekleştirilmektedir [10].

2.1.3.3. Sürekli Döküm

Günümüzde işler vaziyette olan çelikhanelerin hemen hemen hepsinde kullanımı gerçekleştirilmekte olan teknik sürekli döküm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sıvı durumdaki çelik 150-350-ton ağırlık kapasitesine sahip potalarda biriktirilmektedir. Daha sonra turetlerin içine yerleştirilmektedir. Turetler 2 pota halinde olabilmektedir. İlk potanın dökümü tundishe yapıldıktan hemen sonra ikinci pota işleme hazır hale getirilmektedir. İzlenmekte olan bu yolla döküm süreklilik arz eden bir hal almaktadır.

Sıvı durumdaki çeliğin potadan tundishe dökülmesi aşamasında gömme döküm tekniği olarak adlandırılmakta olan bir yöntem uygulanmaktadır. 6'dan 8'e kadar olan bütün kalıplara eşit oranda metal akışını sağlayan hassas ölçü kabiliyeti olan döküm ağızlıklarının kullanımı yapılmaktadır. Tundish ile pota arasına ve tundish ile kalıp arasına refraktör koruması yerleştirilerek sıvı durumdaki tüm çeliğin döküm sırasında atmosferden etkilenip oksitlenmesi durumunun önüne geçilmektedir. Çift duvara sahip olan kalıplar su soğutma özelliğine sahiptir. Kalıplar tundishlerden

akmakta olan sıvının belirli bir biçime sahip olmasını sağlamaktadır. Bahsi geçmekte olan kalıplar karşımıza farklı biçimlerde çıkabilmektedir [9].

Döküm işlemi boyunca çeliğin bakır olan kalıba yapışmasını engellemek için döküm hızına ve sallantı durumuna göre her bir dakikada 60 ila 200 dönüşlük bir sıklıkla kalıbın sallanması gerekmektedir. Yaklaşık olarak döküm hızı 0,8 m/dk'dır. Katılma aşamasının sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için kütükler, elektromanyetik olarak soğutulacak bir biçimde donatılmıştır.

Hadde işleminden çıkmakta olan bütün kütükler 10-13 metrelik bir yarıçap ile dönerek doğrultma tezgâhlarına gitmektedir. Doğrultma tezgâhına giderken bahsi geçen bu kütükler ikinci soğutma işlemi için spreyn çemberinden geçmektedir. Arzu edilen uzunlukta kesilmekte olan kütükler yığın halinde soğumaktadır. Bundan sonra kütükler bantlara yerleştirilerek ısıtma ünitesine gitmektedirler. Döküm işlemi aşamasının ilk bölümünde hidrojen yüklemesi durumu söz konusu olabilmektedir. Eğer ki hidrojen seviyesi kritik bir noktaya ulaşırsa kütükler hidrojen miktarını arzu edilen seviyede tutmak için kontrollü bir şekilde soğutulmaktadır [8].

Sürekli döküm ile elde edilmekte olan çelik ingot, döküme göre daha temizdir. İçerisinde bulunulması istenmeyen maddeler uniform dağılımlıdır ve oldukça küçük ölçülerdedir.

2.1.3.4. Haddeleme

Kontrol edilmekte olan son ürünün oldukça iyi durumda olan bir yüzeye sahip olmasının sağlanabilmesi amacıyla bozukluklardan arındırılabilir. Daha sonra ise bahsi geçmekte olan kütükler özel bir şekilde dizayn edilmiş olan fırınlarda tavlanylacaklardır. Bu tavlama işlemi esnasında sıcaklık 1250 °C'ye kadar yükselmektedir. Tav işleminin gerçekleştirildiği fırından çıkarılmış olan kütüklerin üstüne 200 bar basınçla su fişkırtılmaktadır. Su fişkırtma işlemi haddelerin ve haddelenmiş durumdaki yüzeylerin zarara uğramasını engellemektedir.

Kütüklere ray formunu vermekte olan hadde işlemine geçilmeden önce ilk biçimlerini kazanabilmeleri için ön hadde aşamasından geçirilme işlemi

uygulanmaktadır. Raya son şekli verilene kadar 8 ila 11 arasında hadde işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem sırasında ilk olarak kütük yüzeyine dik vaziyette olacak şekilde iki bıçak geçirilmekte ve kütüğe ilk çıkıntı verilmektedir. Oluşmuş olan ilk çıkıntıları yatay bir biçimde tekrardan düzeltme işleminden geçirmek, rayın tabanının dinamik eğilme gerilimi karşısındaki duruşunu ortaya koymaktadır [8].

Ray üreticilerinin bazıları sırayla biçim verme işlemini gerçekleştiren üniversal haddeleme sistemini kullanmaktadırlar. Bu yöntemle oldukça iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. Dövme işleminin etkilerini azaltmak ya da sıfıra indirmek yorulma dayanıklılığını da pozitif yönde etkisi altına almaktadır.

Elde edilmekte olan ürünün son olarak yüzeyi temizlik işleminden geçirilmektedir. Bu sayede düz bir yüzeyin elde edilmesi durumu söz konusu olmaktadır. Ürün son hadde aşamasından geçerken ray üzerine markalama yapılmaktadır. Ray üzerine işlenmiş olan bu marka üreticiye yönelik genel bilgileri içermektedir. Genellikle üretim tarihi, üretimin gerçekleştirildiği bölüm ve rayın kalite ölçütü bilgileri yer almaktadır [2].

2.1.3.5. Doğrultma ve Ölçüm

Raylar son biçimlerinde kavuştuklarında sıcak kesme işlemi ile arzu edilen boyda kesilmektedirler. Tüm rayların markalanması sıcak olarak gerçekleştirilmektedir.

Sıcak durumdaki raylar bantlar yardımıyla soğuması için ilgili birime götürülmektedirler. Soğuma işlemi yaklaşık olarak 3-4 saat sürmektedir. Bu aşama sonrasında rayların ısısı 800 °C'den 100 °C'ye düşmektedir. Soğuma işleminin ardından rayların doğrultma bölümüne alındığı görülmektedir. Rayın sevkizat bantları üzerinde taşınması bazı yüzey kusurlarının oluşmasına engel olabilmektedir.

Rayın mantar ve taban bölümlerinin simetrik olarak farklılık göstermesi soğuma hızının zaman yönünden farklılık göstermesine sebep olmaktadır. Bu durum rayın düşey bir vaziyette eğilebilmesine yol açabilmektedir. Ortaya çıkan eğilmenin düzeltilmesi için çoğu zaman düşey bazen de yanal bir şekilde doğrultma işlemi yapılmaktadır. Üretim sonrasında uygulanmakta olan düzeltme işlemleri düzgünlük

sağlayabilmek adına faydalı olsa da raya zarar verecek nitelikteki gerilmelere neden olabilmektedir. Rayın akım gerilimine bağlı olarak 100- 300 N/mm² düzeyinde kalıcı gerilmelerin ortaya çıkabilmesi durumu söz konusu olmaktadır [11].

Rayların hepsi doğrultma haddesi aşamasından sonra test merkezlerine sevk edilmektedir. Bu test merkezlerinde rayların bütün özellikleri teste tabi tutulmaktadır. Eğer ki yüzeysel hatalar, içsel hatalar ya da ölçü hataları söz konusu ise bu bahsi geçen hataların tespiti söz konusu olmaktadır. İçsel nitelikteki hatalar ultrasonik yöntemlerin kullanımı ile tespit edilebilmektedir. Rayın doğruluk düzeyi ise 0.5-3 metrelik dalga bantları kullanılarak ölçülmektedir. Bu aşamada ray başlarının düzgün olmasına özen gösterilmektedir. Bu nedenle bu husus kontrole tabi tutulmaktadır. Gerekli görüldüğü takdirde elde edilen ürün doğrultma presi mekanizmalarından geçirilmektedir. Böylece rayların yeniden düzeltilmesi söz konusu olmaktadır.

Rayların üretimi sonrasında arzu edilen ölçülerde kesim işlemi yapılmaktadır. Gerekli görüldüğü takdirde cebire delikleri açılmaktadır. Raylar tüm bu aşamalardan sonra tekrardan kontrol edilmek üzere test işlemine alınmaktadır. Daha sonra ise rayların fabrikadan gideceği konuma sevkiyatı gerçekleştirilmektedir [2].

2.1.4. Rayların Döşenmesi

1930'lu yıllara kadar olan sürede demiryolları balast üstüne döşenerek faaliyete geçirilmektedir. Yenilenmesi durumu ise küçük kesimlerin üretilmesi ile yapılmaktadır. Yalnızca haddinden fazla ağır olan yükleri kaldırabilmek adına rayların üzerinde hareket edebilme kabiliyetine sahip olan buharlı vinçlerin kullanımı söz konusu olmaktadır. Daha sonra ulaşılması istenen amaca özgü araçları geliştirilmesi söz konusu olmuştur. Bahsi geçmekte olan bu araçlar ile, özellikle yüzeyde bulunmakta olan demiryollarında yol döşemeyle alakalı olan işlerin hemen hemen hepsi insan gücüne gereksinim duyulmadan yapılmaktadır. Özellikle büyük makineler traversleri takılmış durumdaki ray kesimlerini döşeyebilme hususunda oldukça fazla işe yaramaktadır. Alanın dar olmasından dolayı dar kazılmış ya da tüplü olan tünellerde ray ve travers döşemesi işleminin gerçekleştirilmesi halen küçük kesimlerle manuel olarak mümkün olabilmektedir. Fakat eğer ki makine

kullanılabiliyorsa kesinlikle makine kullanımının tercih edilmesi tavsiye edilmektedir. Böylesi bir durum özellikle tüplü tünellerdeki yenileme faaliyetlerinde karmaşıklığa sebep olabilmektedir. Bunun nedeni ise geceleri kısa bir süre zarfında hizmet dışı kalması, sabah olduğunda ise güvenli bir şekilde hizmete hazır hale gelmesi gerekliliğinden kaynaklanmaktadır [4].



Şekil 2.5. Makinelerle travers ve rayların döşenmesi [4].

2.1.5. Rayların Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

Mikro yapısal olarak raylar, perlitik bir dokuya sahiptir. Rayların mekanik özellikleri sementit lameller olarak isimlendirilen Fe₃C lamelleri ile uzaklık durumuna, kalınlığa ve tane boyuna bağlı bulunmaktadır. Lameller arasında bulunan uzaklık; akma sınırını, çekme dayanıklılığını ve kesit daralmasını büyük bir oranda etkilemektedir. Aynı çeliğin farklı soğutma teknikleri kullanılarak işleme tabi tutulması mikro düzeydeki yapıların ve perlitik yapıların oluşmasında farklı seviyede karbonun östenitik yapıdaki difüzyonuna neden olmaktadır. Difüzyon hızının kontrolünün sağlanması elementlerin miktarının kontrolüyle aynı seviyede bir etki göstermektedir. Tokluk durumu sementit lamellerinin tane ölçüsü ve kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir.

Aşağıda yer almakta olan Çizelgede yaygın bir şekilde kullanılmakta olan bir takım ray kalitelerinin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonları verilmiştir. TCDD'de hatlarında 700 ve 900 kalitesinde raylar bulunmakla beraber yeni yapılmakta olan yenileme faaliyetlerinde 900 A kalitesinde rayların kullanımı gerçekleştirilmektedir.

Raylarda meydana gelmekte olan çatlaklar, genel itibariyle çıkış noktasından dışarda meydana gelen çentikten ya da içte meydana gelmekte olan bir kusurdan başlamaktadır. Bundan dolayı düşük metal dışı katıtkı ve düşük hidrojen seviyesi oldukça önem arz etmektedir. TCDD tarafından belirlenmiş olan hidrojen miktarı 2.5 olarak kayıtlara geçmiştir [2].

Kimyasal kompozisyon rayların temel mekanik özelliklerini belirlemektedir. Regrasyon analizi neticesinde elde edilmiş olan aşağıda gösterimi gerçekleştirilen formüller kimyasal kompozisyona göre mekanik özelliklerin yaklaşık sonuçlarını ifade etmektedir:

2.1.5.1. Akma Gerilmesi σ_y [N/mm²]

$$\sigma_y = 101 + 496\%C + 36\%Si + 85\%Mn + 116\%Cr + 0\%P + 634\%V \pm 21$$

2.1.5.2. Çekme Gerilmesi σ_u [N/mm²]

$$\sigma_u = 227 + 803\%C + 87\%Si + 115\%Mn + 891\%P + 614\%V \pm 19$$

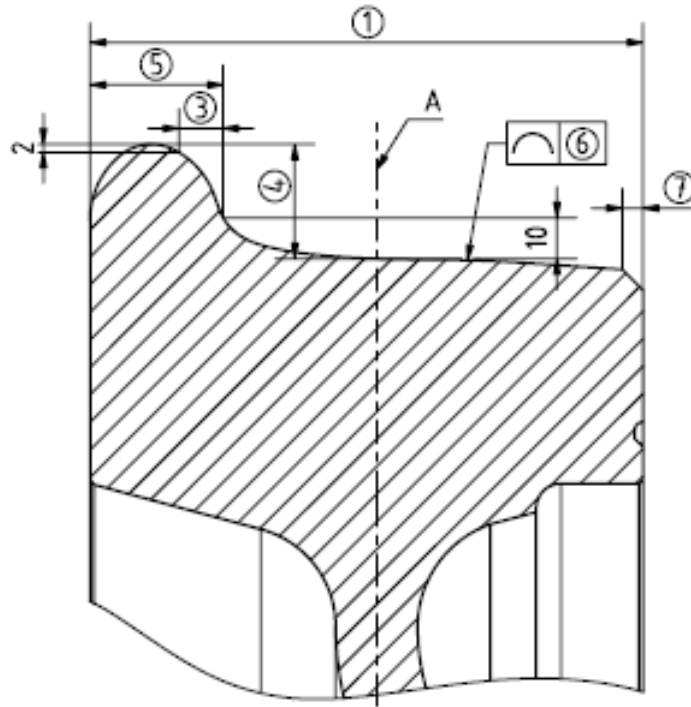
2.1.5.3. Kırılma Sonrası Uzama [%]

$$\delta = 30, 8 - 22,6\%C + 1,7\%Si + 0\%Mn - 2,3\%Cr + 0\%P + 4,4\%V \pm 0,9$$

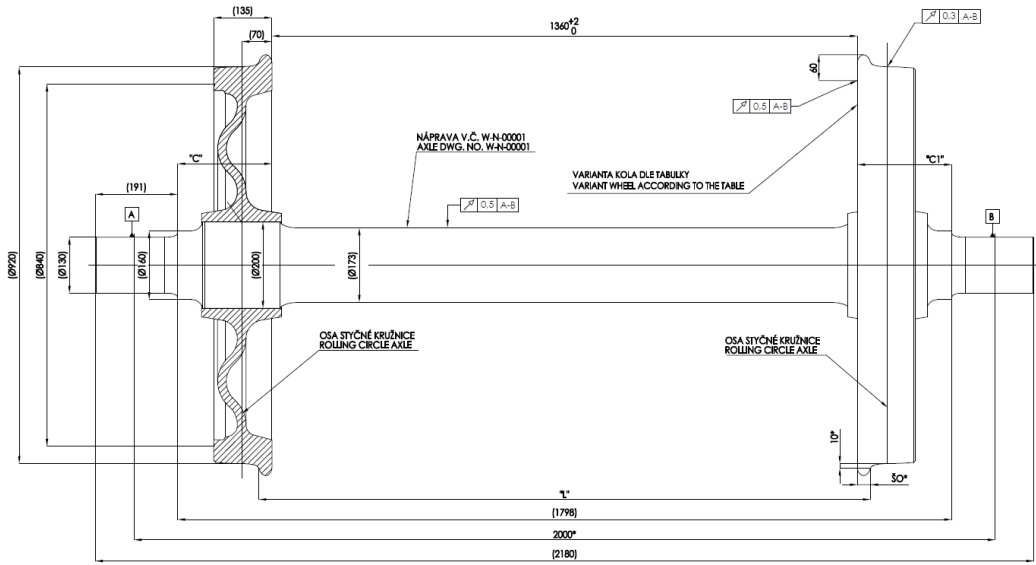
Çizelge 2.3. Ray kalitelerinin kimyasal ve mekanik özellikleri [2].

Ray ve Çelik Kaliteleri		700	900A	900B
Kimyasal Kompozisyon %	C	0,40-0,60	0,60-0,80	0,55-0,75
	Si	0,05-0,35	0,10-0,50	0,10-0,50
	Mn	0,80-1,25	0,80-1,30	1,30-1,70
	P	<0,050	<0,040	<0,040
	S	<0,050	<0,040	<0,040
Mekanik Özellikler	Çekme Mukavemeti N/mm ²	680-830	880-1030	880-1030
	Uzama%	>14	>10	>10

2.2. TEKER



Şekil 2.6. Tekerlek boden ve yüzeyi ölçüm noktaları VPI 04-3.1.



Şekil 2.7. Tekerlek takımı boyutları EN 13715-S1002/h28/e30,55/6,74½ Walbo Railway.

2.2.1. Tekerlek Üretimi

Alan yazınında tren tekerleklerinin üretimi hususunda neredeyse hiçbir bilgi bulunmamaktadır. Var olan bilgilerin hepsi ise genel manasıyla reklam özelliği göstermektedir.

Tekerler üretimi tesisleri soğuk savaş zamanında faaliyet göstermeye başlamıştır. Bundan dolayı önem arz eden bilgilerin gizlenmiş olabileceği düşünülmektedir. Son zamanlarda yapılmış olan çalışmalar ise genel olarak titreşim, ses, ısı dağılımı hususları üzerinde durmuştur. Genel nitelikteki bilgiler merkez üssü Paris olan Uluslararası Demir Yolu Birliği'nin (UIC) denetim mekanizması altında bulunmaktadır. Bu hususta yapılmakta olan birkaç üretim faaliyeti araştırmaların da patentli olduğu görülmektedir.

Tren üzerinde kullanılmakta olan tekerlekler geleneksel bir biçimde düşük alaşımli C'lu çelikler vasıtasıyla üretilmektedir. Tekerlekleri boyutları çok fazla değişim göstermemektedir. Çünkü yalnızca birkaç türü bulunmaktadır. Bir tek malzmeden tekerlek üretimi yapılmasına rağmen kullanılması esnasında farklı gerilme düzeylerine maruz kalabilmekte olan çeşitli bölgeleri içerisinde barındırmaktadır. Örnek olarak, tren tekerlerinin kenar bölümleri süreklilik arz edecek biçimde raylar

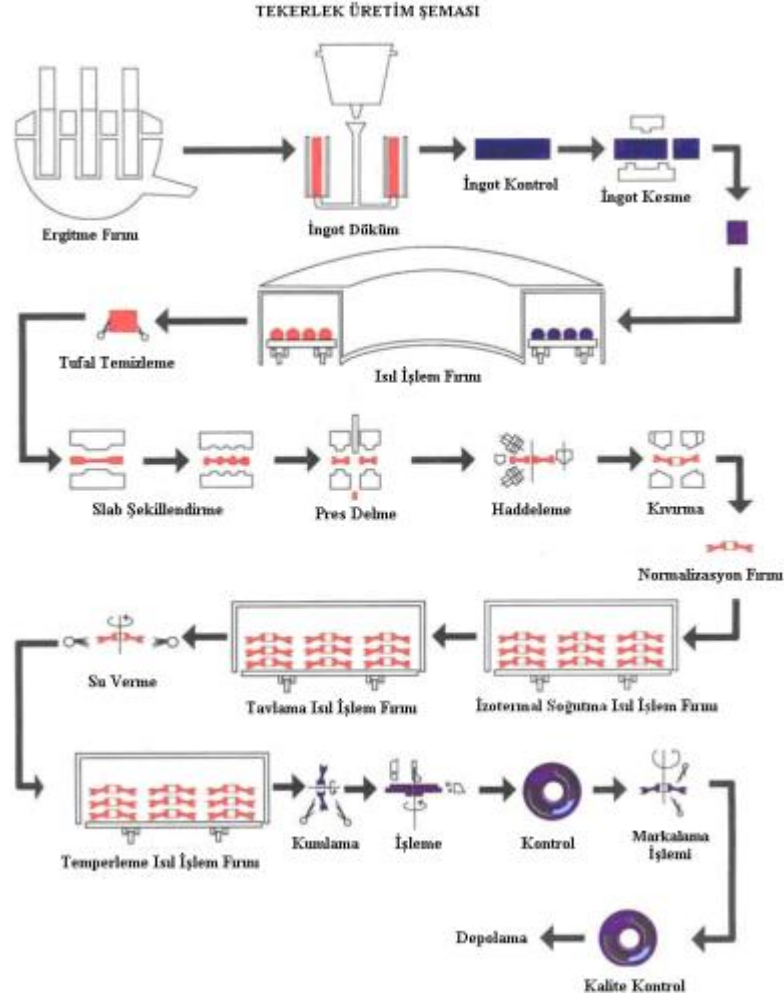
ile temas halinde bulunmaktadır. Bu yüzden aşınma direncinin çok iyi olması gerekmektedir. Genel olarak kenar kısımların yorulma ve aşınmaya direnç göstermesi durumunun gövde bölümünün yorulmaya karşı gösterdiği dirençle örtüşmesi gerekmektedir. Bir başka açıdan bakıldığında gövde bölümünde arzu edilen yorulma dayanıklılığı düzeyi kenar bölümlerinin aşınma dayanıklılığını düşürebilmektedir [12].

2.2.1.1. Dövme Yöntemi

Dövme tekniği ve tren tekerleği üretimi işlemleri Şekil 2.7.'de gösterilmektedir. Döğme tekniğinde, uç bölümleri kesilme işlemi tamamlandıktan sonra iki ya da daha fazla tekerlek üretilebilecek kütük ya da ingotlardan dövme tekniği vasıtasıyla tekerlek imalatı yapılmaktadır.

Uç bölümlerin kesilmesi; ingot dökümünde genel olarak görülmekte olan inklizyon gibi hataların elimine edilebilmesi için kaçınılmaz bir işlem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kütük ya da ingot şeklimde dökülmekte olan çelik, hemen sonra pres yardımıyla dövülerek biçimlendirilmektedir. Dövme işleminin gerçekleştirilmesi için kapasite düzeyi çok yüksek olarak tabir edilen 8.000- 10.000-ton basınçlı preslere gereksinim vardır. Son olarak biçimlendirme ise şahmerdanla dövme ya da kenar haddeleme yapılarak gerçekleştirilmektedir. Ara işlem olarak tabir edilmekte olan haddeleme ve dövme işleminde tekerleklerde meydana gelen gerilimlerin giderilmesi işlemi de gerçekleştirilmektedir.

Dövme işlemi esnasında 8.000- 10.000-ton civarında basınç uygulayabilen preslere gereksinim duyulduğundan ve işlem basamaklarının çok fazla olmasından dolayı işçilik ve enerji maliyetleri çok yüksek olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2.8. Dövme yöntemi ile tren tekerleği üretimi işlemleri.

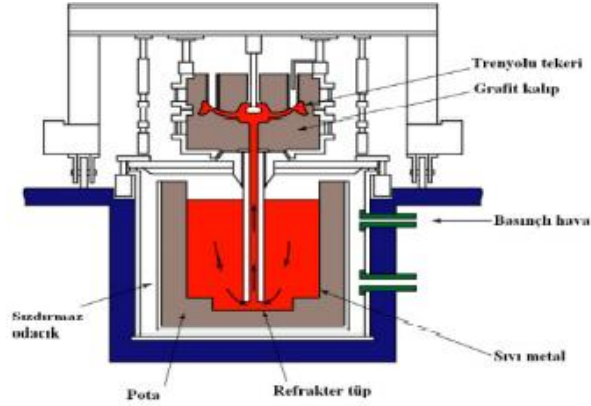
2.2.1.2. Döküm Yöntemi

Döküm işlemi içi gerekmekte olan malzemeler genel olarak hurda malzemedan ya da kütükten üretilmektedir. Bu malzemelerde aranmakta olan en önem özellik; içerisinde barındırmakta olduğu bileşimde Pb, Sn, S, Sb gibi katışkılarının bulunmamasıdır. Ergitme olarak adlandırılmış olan işlem ark ocaklarında yapılabilmektedir. Ark ocaklarında yapılmakta olan ergitme işleminin ardından vakum ile gaz giderme işlemi oldukça önem arz eden ilk aşamalardan birini kapsamaktadır. Tekerlek dökümü neredeyse her üreticide grafit kalıplar aracılığıyla yapılmaktadır.

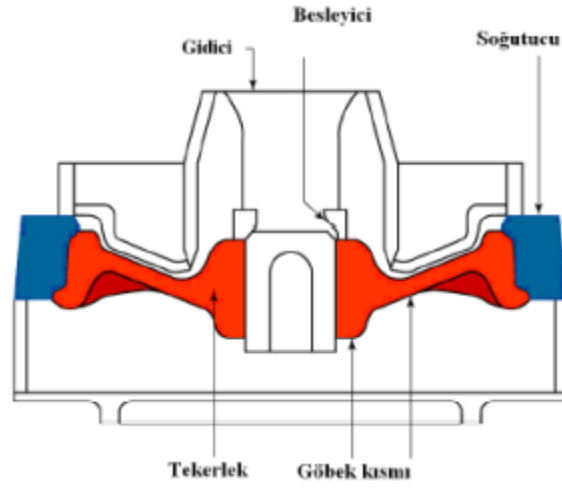
Genel olarak grafit kalıplar 50 cm. kalınlığındadır. Bu kalıplar şekillendirme takımları kullanılarak işlenebilmektedir. Kalıplarda meydana gelen bozulmalar

kalıbın tekrardan işlenmesi ile giderilebilmektedir. Kalıbın yaklaşık olarak kalınlığı 20 cm. düzeyine ininceye değin bahsi geçen bu işlem tekrar edilebilmektedir. Yapılacak olan döküm işlemi için gravity ya da alçak basınç kontrollü prosesler tercih edilmektedir. Basınç kontrolü olarak tabir edilmekte olan sistemde ergitilen metal, kesinlikle hava kaçırmayacak bir kapak yordamıyla contalama işlemine tabi tutularak bir oda içerisinde yerleştirilmektedir. Bunun yanı sıra basınçlı asal gaz bahsi geçmekte olan bu odanın içine gönderilmektedir. Daha sonra ergiyik çelik refrakter tüp boyunca yukarıya doğru olacak biçimde itilmektedir. Bu sayede alt kısımdan itibaren tekerlek formunu alarak kalıf içerisinde dolmaktadır.

Gravity dökümde ise asal gaz atmosferi altında yer alan ergiyik metal üstten olacak bir biçimde kalıba dökülmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gerekli olan en önemli husus döküm işleminin mümkün olan en sakin yani laminar biçimde yapılmasıdır. Gravity döküm tekniğiyle tren tekerleği yapımında kullanılmakta olan kalıplar, döküm işlemi ve dökülmüş olan tekerleğin kalıp içerisinde çıkarılmasının gösterimi Şekil 2.11.'de yapılmıştır [12].



Şekil 2.9. Alçak basınçlı döküm.



Şekil 2.10. Gravity döküm.



a) Kalıplar



b) Döküm İşlemi



c) Dökülmüş Tekerleğin Kalıptan Çıkarılması

Şekil 2.11. Gravity döküm yöntemiyle tren tekerleği üretimi.

2.2.2. Tekerlek Malzemesi

Demiryolunda kullanılmakta olan monoblok olarak tabir edilmekte olan malzeme sınıfı GM/RT2466 standardı olarak isimlendirilmiştir. Birtakım belirlenmiş olan araç

uygulamaları için BS 5892 olarak adlandırılmış olan tekerler sınıfının Çizelge 2.4.'de gösterimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.4. Tekerlek malzeme sınıfı.

Tekerlek Tipi	Tekerlek Malzeme Sınıfı (BS 5892 VE UIC 812-3)
Yük taşıma için, entegre fren diskli tekerlek	R7E
Yük taşıma için, montajlı fren diskli tekerlek	R8E
Diğer yük taşıma için tekerlekler	R7T ve R8T
Tüm yolcu taşıma aracı ve diğer tekerlekler	R8T

Aynı zamanda tekerin kimyasal bileşimine ve ısıl işlem durumuna göre malzeme sınıfının belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar Çizelge 2.5.'de gösterilmiştir [13].

Çizelge 2.5. Kimyasal bileşime göre malzeme sınıfı.

Kimyasal Bileşim	D sınıfı (tipik)	R7 Sınıf (maks)	R8 Sınıfı (maks)
C	0,61	0,52	0,56
Si	0,33	0,40	0,40
Mn	0,7	0,80	0,80
P	0,027	0,04	0,04
S	0,022	0,04	0,04
Cr	0,30	0,30	0,30
Cu		0,30	0,30
Mo	0,05	0,08	0,08
Ni	0,20	0,30	0,30
V		0,05	0,05
Cr+Mo+Ni		0,60	0,60

Tekerleklerin üretim aşamasında kullanılmakta olan alaşım elementlerinin göstermiş olduğu etkiler şu şekilde ifade edilmektedir.

2.2.2.1. Karbon(C)

Karbon; çeliklerin temel aşalım elementi durumundadır. Bundan dolayı çelik malzemelerin üretim faaliyetleri esnasında ilgili yapıdaki yerini almaktadır. Karbonun miktarı ise çeliklerin mekanik özelliklerini en fazla düzeyde etkilemekte olan etmendir. Karbon aynı zamanda çelik malzemenin çekme ve akma dayanıklılığını da arttırmaktadır. Bunun yanı sıra ise çeliğin şekillenebilirlik ve

uzaman yeteneğinde azalma gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Nitekim karbon; dökülebilir olma durumunu kolaylaştırmaktadır. Karbon miktarının şekillenebilirliğin ön planda tutulduğu çeliklerde olabildiğince düşük tutulması gerekmektedir. Dayanaklılık düzeylerinin yüksek olması istenen durumlardaysa çelikteki karbon içeriğinin olabildiğinde yüksek tutulması gerekli görülmektedir. Tren tekerlerinde mevcut olan Karbon miktarı ülkeler baz alındığında 0,4 ve 0,6 aralığında değişim göstermektedir.

2.2.2.2. Mangan (Mn)

Üretim aşamalarında aynı karbon gibi çeliğin yapısında yer almakta olan bir elementtir. Mangan; çeliğin dayanma kuvvetini arttırmakta olan bir etki göstermektedir. Mangan aynı zamanda çeliğin kaynak kabiliyetini ve sertleşebilme kabiliyetini arttırmaktadır. Bu element; östenit kararlaştırıcı bir özellik göstermektedir. Manganın iki önemli özelliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki kükürt ile MNS bileşiği oluşturmasıdır. İkinci özellik ise demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engelliyor olabilmesidir. FeS ısı kırılma kabiliyetine sebep olan bir soruna neden olabilmektedir. Genel olarak oksijen alıcı olarak de kullanılabilir. Tren Tekerleklerinde bulunan Mn'nin oranları 0,6 ile 0,9 arasında değişebilmektedir.

2.2.2.3. Silisyum (Si)

Silisyum; çeliğin dayanımını, elastikiyetini ve akmasını arttırmaktadır. Çeliğin yapısında mevcut olan Si miktarı azalım gösterdikçe futsal yapma düzeyinde artış yaşanmaktadır. Silisyum; yaygın bir biçimde yüksek elastikiyet gerektirmekte olan yay çelikleri yapımında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra bu element; elektriksel akım kaybını önlemektedir. Silisyum; aynı zamanda oksijen alıcı bir temizleyicidir. Ülkelere bağlı olarak ve üretim şekillerine bağlı olarak Silisyum oranı 0,3 ve 0,5 arasında değişim göstermektedir.

2.2.2.4. Fosfor (P)

Çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırmakta olan bir elementtir. Yüzde uzama durumunu ve eğme özelliklerini oldukça fazla düzeyde kötüleştirir. Aynı

zamanda soğuk kırılmalık yaratmaktadır ve talaşlı şekillendirme yeteneğinde artışa sebep olmaktadır. Fosfor genel olarak üretim işlemlerinde uygun olmayan özellikleri sebebiyle üretim aşamasından uzaklaştırılmaktadır. Tren tekerleği için izin verilen en yüksek değer 0,02 olarak belirlenmiştir.

2.2.2.5. Kükürt (S)

Demir ile birleşim gösteren kükürt; FeS fazının oluşumunu sağlamaktadır. Bahsi geçmekte olan bu faz düşük ergime ısısına sahiptir. Bu nedenle haddeleme ısısında ergiyerek ısı kırılmalığına neden olmaktadır. Bundan dolayı çeliğin haddelenmesini zorlaştırmaktadır. Eğer ki çeliğin işlem görme özelliği atırlamıyorsa, fosfor gibi bulunması istenmeyen maddeler arasında kendisine yer bulabilmektedir. Normal bir durum söz konusu ise tren tekerlerinde olması hiç arzu edilmemektedir. Fakat maksimum 0,015 değeri kabul edilebilir bir seviye olarak belirlenmiştir.

2.2.2.6. Krom(Cr)

Krom; çeliğin dayanabilme özelliğini arttırmaktadır. Ancak esneklik durumunu negatif doğrultuda etkilemekte olan bir alaşım elementi olarak karşımıza çıkmaktadır. Krom; çeliğin ısıya karşı olan dayanımını arttırmaktadır. Kabuk- tufal oluşumunu önlemektedir. Dengesi çabuk bir şekilde bozulmamış olan karbür; krom tarafından meydana getirilmektedir. Çelikte meydana gelmekte olan %1,0 oranındaki Krom artışına karşılık; çekme dayanımında 8-10 kg/mm² düzeyinde bir artışın olduğu gözlemlenmektedir. Genel itibariyle üretim yapan firmaların üretim bandı tarzına bağlı olarak tekerleklerin içerisinde 0,2 ve 0,4 Aralığında bulunabilmektedir.

2.2.2.7. Nikel (Ni)

Nikel; tavlı olan çelik dayanımında ve darbe tokluğunda artış meydana getirmektedir. Mangana ve silisyuma oranla çeliğin dayanımını daha az miktarda arttırmaktadır. Nikel; çelik içerisinde kromla beraber bulunduğu takdirde mevcut olan sertliğin derinliklere inmesine imkân sağlamaktadır. Krom nikelli çelikler; trenlerin frenleme sisteminde oluşmakta olan sıcaklığa ve bunun neticesinde oluşmakta olan kabuklaşmaya olabildiğince dayanıklıdır.

2.2.2.8. Molibden (Mo)

Tane büyümesini önlemekte olan molibden, sertleşme yeteneğinde artışa sebep olmaktadır. Aynı zamanda çeliklerin aşınma direncini ve sürtünme dayanımını yükseltmektedir. Fakat tekerleklerle yüksek düzeyde sertliğe neden olduğu için kullanımına yalnızca 0,05 oranında izin verilmektedir.

2.2.2.9. Vanadyum(V)

Vanadyum tane küçültme etkisi yaratmasından dolayı çelikleri çekme ve akma dayanımlarını olabildiğince yüksek seviyelerde arttırmaktadır. Bunun yanı sıra sertleşme kabiliyetinin de artmasına imkân sağlamaktadır. Vanadyum; karbür yapıcı ve tane küçültücü etkisiyle, mikro alaşımlı olan çeliklerde titanyum ve niyobyum ile beraber kullanılmakta olan bir mikro alaşım elementi olarak karşımıza çıkmaktadır. Vanadyum kullanımının yaratmış olduğu diğer etkiler de ikinci sertleşmede ve menevişleme de pozitif etkiler yaratmasıdır. Çeliklerin ısıya karşı olan dayanıklılığı da vanadyum sayesinde artış gösterebilmektedir. Dövme tekniğiyle üretilmiş olan tekerleklerde en yüksek 0,06 düzeyinde kullanılmasına izin verilmektedir. Ancak mikro alaşımlı olan dökün tekerleklerde bu değer daha büyük olabilmesine izin verilebilmesi söz konusu olmaktadır.

2.2.2.10. Bakır(Cu)

Bakır; çekme ve akma dayanımında artışa sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra şekillenebilirliğini ve yüzde uzamayı azaltabilmektedir. Soğuk çekilebilirlik özelliğini ise negatif doğrultuda etkilemektedir. Bakırın; korozyon direncini arttırmakta olan bir etkisi de mevcuttur. Tren tekerleklerinde 0,3 oranında bulunmasında bir sakınca görülmemektedir.

Tren tekerleği çeliklerinde mevcut olan ana alaşım elementleri Si ve Mn'dir. Bunun yanı sıra Ti, V gibi elementlerle mikro alaşımlandırma yapılmaktadır. Buradaki amaç; sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı, uzun bir kullanım ömrüne sahip olan tren tekerleği üretimini gerçekleştirmektir. Örnek olarak; düşük düzeyde Cr ve yüksek düzeyde Si içermekte olan kombinasyonla tekerlek tam bir biçimde

sertleşebilmektedir. Böylece fren gibi sıcaklığa sebep olan hallerde yapı formunu koruyabilme kabiliyetine sahip kararlı perlitik yapı oluşturulabilmektedir. Bahsi geçmekte olan bu yapı sürtünmekte olan yüzeyde 50 mm derinliğe kadar düşüş gösterebilmektedir. Bir takım belirlenmiş olan limitlerde mikro alaşımlamaya gidildiğinde üretilmiş olan tekerleklerin raylara temas etmekte olan bölümü daha fazla oranda sertleştirilememektedir. Bunun sonucunda aşınma meydana gelmektedir ve bu aşınma takriben 150.000- 200.000 dolaylarında 10 mm.'yi bulabilmektedir. Üretim sistemlerine ve yöntemlerine göre alaşım standartları değişiklik gösterebilmektedir. BS5892 olarak kodlanmış olan tekerlek malzeme sınıfının mekanik olan özelliklerinin gösterimi Çizelge 2.6.'da verilmiştir [13].

Çizelge 2.6. BS5892 Tekerlek malzeme sınıfının mekanik özellikleri.

Tekerlek Malzeme Sınıfı	Çekme Gerilmesi (MPa)	Minimum Elengasyon	Sertlik Brinell (HB)
R7T	820-940	% 14	241-277
R7E	780-940	% 14	229-277
R8T	860-980	% 13	255-285
R8E	820-980	% 13	241-285
D Sınıfı	960	% 20	

2.3. TEKER RAY ARASINDAKİ TEMAS PROBLEMİ



Şekil 2.12. Teker ve ray teması Anapet 2021.

Yuvarlanmalı temas için sayısız miktarda teknik uygulamalar bulunmaktadır. Araba-ray teması, tekerlek- ray teması, dişliler, ulaşım mekanizmaları, yuvarlanmalı yataklar ve daha birçok sayısız örnek bulabilmek mevcuttur.

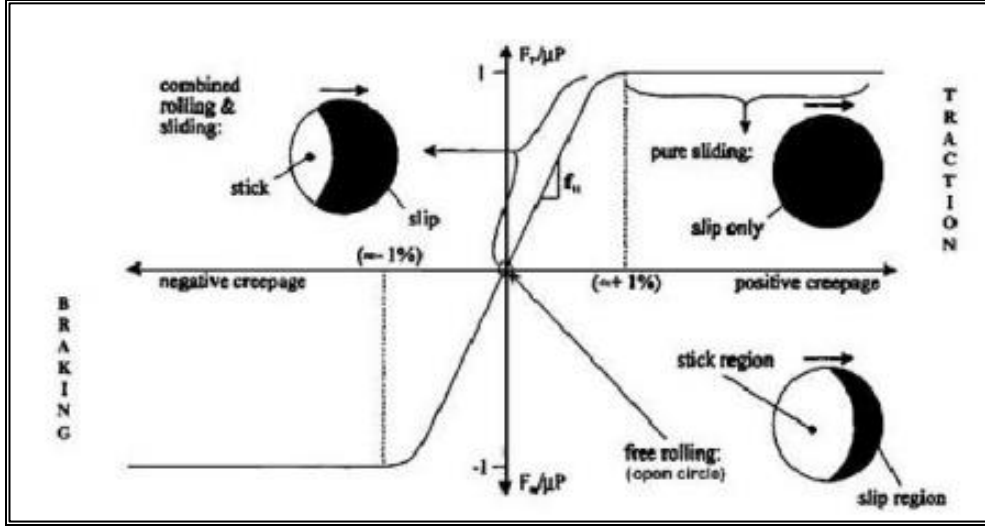
Temas mekanizmalarının araştırılması çok eski tarihlere dayanmaktadır. İlk araştırmaları yapan kişi Reynold'dur. Reynold; temas alanındaki yapışma ve kayma çalışmalarını deneysel bir çerçevede kurmuş bulunmaktadır. Fren ve tahrik momentlerinin artış göstermesiyle temas yüzeyinde kayma miktarları varlık göstermeye başlamıştır. Bahsi geçmekte olan kayma durumu sayesinde tekerin doğrusal olarak hesaplanmakta olan hızı ile tekerin daire çevresinin hız durumu farklılık göstermektedir. Bu iki hız arasında mevcut olan fark ise sürünme hızı şeklinde ifade edilmektedir. Sürünme hızının temas mekanizmalarındaki rolü oldukça önemlidir.

Küçük olan fren ve tahrik momentleri temasın gerçekleşmekte olduğu alanda kayma durumunun oluşmasına neden olmamaktadır. Tekeriz dairesel hızı ile aracın hızı arasında oluşan fark çok olduğu takdirde kayma meydana gelmektedir. Bahsi geçmekte olan bu kayma durumu tekerin üstünde elastik deformasyonlara sebep olmaktadır [16].

Yapışma; raylı sistemlerde teker ile ray arasında meydana gelen yuvarlanmalı temasın esas temelini oluşturmaktadır. Kayma ve yuvarlanma sırasında oluşan yapışma; teker ile ray arasında meydana gelmekte olan sürtünmenin özel bir durumu biçiminde tanımlanmaktadır. Oluşmakta olan bu yapışmanın katsayısı μ tekere uygulanmakta olan teğetsel kuvvet ile ray ve tekerin ara yüzeyinde meydana gelen normal kuvvetin oranından oluşmaktadır bu oranın ifadesi; $\mu = (F/ N)$ 'dir. Genel olarak yapışmanın değeri ondalık ya da yüzdelerle birimlerde aktarılmaktadır.

Ray ve teker; yuvarlanmalı temas durumunda biçimsel bozuklukların görülebildiği parçalar olarak ifade edilebilmektedir. Bundan dolayı temasın gerçekleştiği noktalarda slip stick olarak adlandırılmakta olan yapışma ve kayma söz konusu olabilmektedir. Temasın gerçekleşmekte olduğu alanda serbest haldeki yuvarlanma durumunda yapışma meydana gelmektedir. Temasın gerçekleşmekte olduğu alanda

çekişli yuvarlanma söz konusu ise hem yapışma hem kayma söz konusu olmaktadır. Temas eden bölümde kayma söz konusu olduğunda yapışma oranı katsayısı en üst düzeyde olmaktadır. Aynı zamanda bahsi geçmekte olan bu katsayının sürtünme katsayısına eşit durumda olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 3.1'de örnekler üzerinden açıklanmaktadır.



Şekil 2.13. Kayma yapışma (slip-stick) bölgelerinin şematik gösterimi.

Kayma;

Öncelikle iki parçanın da birbiri ile ilişkili olarak göreceli hızları belirlenmektedir. 1. parçacık t zamanında 2. parçacık ile temas içerisinde olduğu varsayılmaktadır. Bu durum; aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$x_1(t) + u_1(x_1, t) = x_2(t) + u_2(x_2, t) \quad (2.1)$$

Yüksek olan bir nokta tarafından zaman farklılaşması söz konusu olduğunda, 1. parçacığın hızı küresel koordinat sistemi çerçevesinde denklem (2.2)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$v^1 = x^{+1} + u^{+1}(x^1, t) = x^{+1}(t) + (\partial u^1 / \partial x^1)x^{+1} + \partial u^1 / \partial t \quad (2.2)$$

V^2 de bu denkleme benzemekte olan bir biçimde belirlenmektedir.

s ile ifade edilmekte olan kayma durumu temas halinde olan iki parçacığın göreceli hızıdır. Bu hız aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir.

$$s = v^1 - v^2 = \{x^{-1}(t) - x^{-2}(t)\} + \{u^{-1}(x^1, t) - u(x^2, t)\} \quad (2.3)$$

Şimdi;

$$x^1 = x^2 + u^2 - u^2 \rightarrow x^1 \approx x^2 \approx x = (x^1 + x^2)/2 \quad (2.4)$$

Buradan; u^a 'nın ve $x^{+1} \approx x^{+2}$ 'nin oldukça küçük olması sebebiyle,

$$s = x^{+1} - x^{+2} + \left(\frac{\partial u^1}{\partial x} - \frac{\partial u^2}{\partial x}\right) x^+ + \partial u^1 / \partial t - \partial u^2 / \partial t \quad (2.5)$$

Yukarıda gösterimi gerçekleştirilmiş olan bu denklemde x^{+1} ve x^{+2} birbirlerine eşit durumda değildir. Bunun yanı sıra $(x^{+1} - x^{+2})$ ifadesi $\{(\partial u^a / \partial x^a) x^{+a} + \partial u^a / \partial t\}$ olarak ifade edilmekte olan denklemden büyüktür.

Bahsi geçmekte olan bu eşitsizliklerin sonucunda;

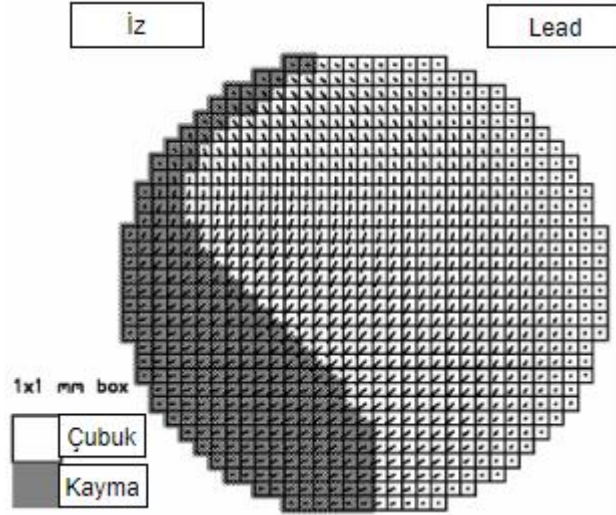
$$c = x^{+1} - x^{+2} \quad \text{sürünme (creep)} \quad (2.6)$$

$$v = \quad -x^+ \text{ dönme hızı} \quad (2.7)$$

$$u = u^1 - u^2 \quad \text{deplasman farkı} \quad (2.8)$$

$$s = c - (\partial u / \partial x)v + \partial u / \partial t \text{ kayma (slip)} \quad (2.9)$$

Eksi işareti dönme hızının belirlenebilmesi amacıyla kullanılmaktadır [16].



Şekil 2.14. Temas durum analizi örneği [13].

Aracın yapmış olduğu hareket; ray ve teker arasında gerçekleşmekte olan temas tarafından idare edilmektedir. Birbiriyle ilişki içerisinde bulunmakta olan yüklerin iletimi temas alanı sayesinde yapılmaktadır. Temasın gerçekleşmekte olduğu yüzeye gelmekte olan kuvvetler; genel itibariyle temas yüzeyinin doğrultusunda dik ve normal durumda olan bileşkelerdir. Temasın gerçekleşmekte olduğu alanda uygulanmakta olan yüksel neticesinde temas bölgesinde akma meydana gelmektedir. Bahsi geçmekte olan bu yükler tork ve kuvvettir. Böylelikle uygulanmakta olan yüklerin büyüklüğü, konumu ve oryantasyonu temas bölgesinin biçimini ve pozisyonunu belirlemektedir.

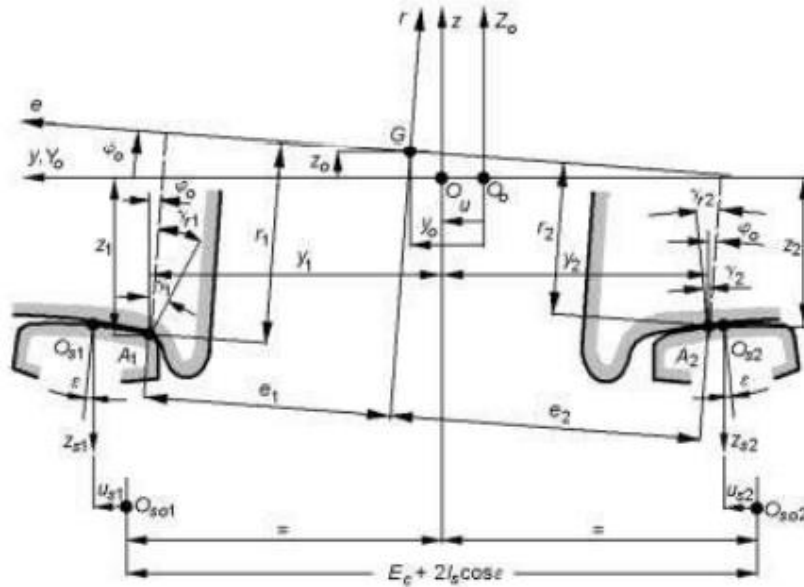
İki parça arasında bulunmakta olan temas alanı onun bütün pozisyonunu, deformasyonunu ve nominal geometrisini belirlemektedir. Bu bölge içerisindeki pozisyon ve oryantasyon önemli ölçüde doğrusal bir nitelik taşımayan sorunlardır [18].

Temas halinde bulunmakta olan mekanik parçaların temas durumu kinematik (dinamik) değişkenler tarafından belirlenmektedir. Kinematik değişkenlerin uygunsuz bir büyüklükte ve uygunsuz bir zamanda meydana gelmelerinin engellenebilmesi kullanılmakta olan sistemin servis ömrü bakımından önemlilik arz etmektedir. Birbiri ile temas durumunda olan birden çok parçadan meydana gelen, çoklu gövdeye sahip olan bahsi geçen sistemlerin davranış durumlarını incelemeye

tabi tutmak, ortaya çıkabilecek olan negatif durumları daha önce tahmin edebilmek ve gerçekleştirilmiş olan tahmine göre önlem mekanizması geliştirebilmek adına temas modellerinin oluşturulması söz konusu olmuştur.

Raylı sistemler üzerinde hareketli bir durumda olan teker ile ray arasında gerçekleşen temasın incelenebilmesi için ise teker-ray temas modellerinin kullanımı söz konusu olmaktadır. Türkiye’de raylı sistemlere yapılmakta olan yatırımlarda artış görülmesi ve ulaşım hususunda gün geçtikçe tercih edilme düzeyinin yükselmesi ile birlikte, raylı sistemlerin temel yapısal özelliklerinin ilk sırasında gelen teker-ray ikilisini incelemeye tabi tutabilmek adına çalışmalar yürütmek oldukça önemlidir [19].

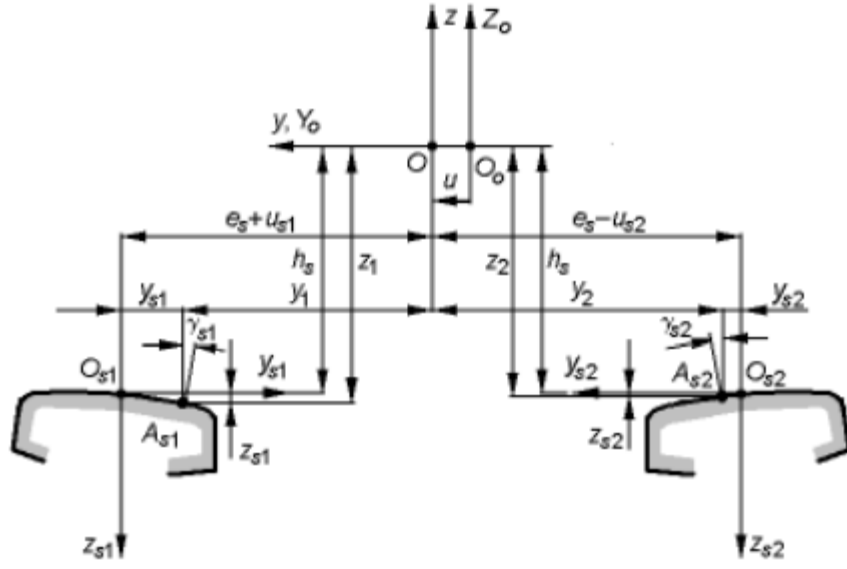
Teker ray geometrik temaslarının gösterimi şekil 2.14.’de verilmiştir. Aksın enine doğru yer değiştirmesi y_0 , ortada bulunan konuma kıyaslandığında, yanal sapma u ve de rayın yanal olarak yerinin değişmesi $us_{1,2}$ olarak ifade edilmektedir. Teker çiftinin uzunlamasına olacak biçimde belirli eksen çevresinde dönmesi φ_0 ve merkezinin yükselmesi durumu z_0 şeklinde belirtilmektedir.



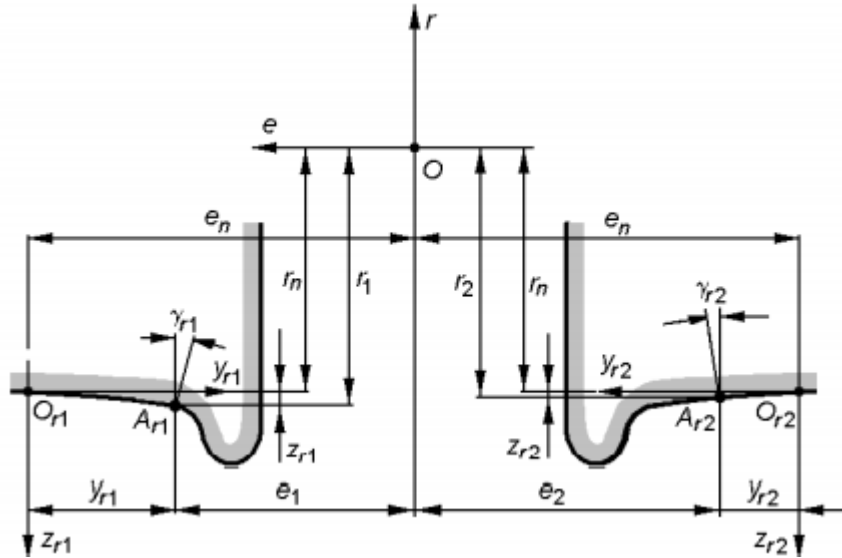
Şekil 2.15. Teker ray arasındaki geometrik temas noktaları.

Yukarıda gösterimi yapılmış olan şekilde iki adet referans koordinat sistemi verilmiştir. Belirtilmiş olan koordinat sistemi eksen üzerine yerleştirilmiş olan $O_0Y_0Z_0$ eksenini ve yanal saptırmadan etkilenmekte olan gerçek rayların eksenine

yerleştirilmiş olan O_{yz} 'dir. O_{s02} ve O_{s01} noktaları rayın referans noktasına göre atanmaktadır. Aralarındaki mevcut olan uzaklık $E_c + 2l_s \cos \varepsilon$ biçimde gösterilmektedir. Burada mevcut olan E_c nominal ray uzaklık ölçüsü, $2l_s$ rayın genişlik durumu ve ε rayın eğimini ifade etmek için kullanılmaktadır. Belirtilmekte olan A_1 ve A_2 teker-ray ikilisinin temas eden noktalarına karşılık gelmektedir. Bahsi geçmekte olan bu değerler geometrik temas parametrelerine denk gelmektedir. Örnek olarak; temas noktalarının koordinat değerleri ($e_{1,2}$, $r_{1,2}$) ve temas açıları ($\gamma_{r1,2}$), yuvarlanma profillerinin biçimler ve temas eğrileri yönteminin uygulanması durumunu ifade etmektedir [20].

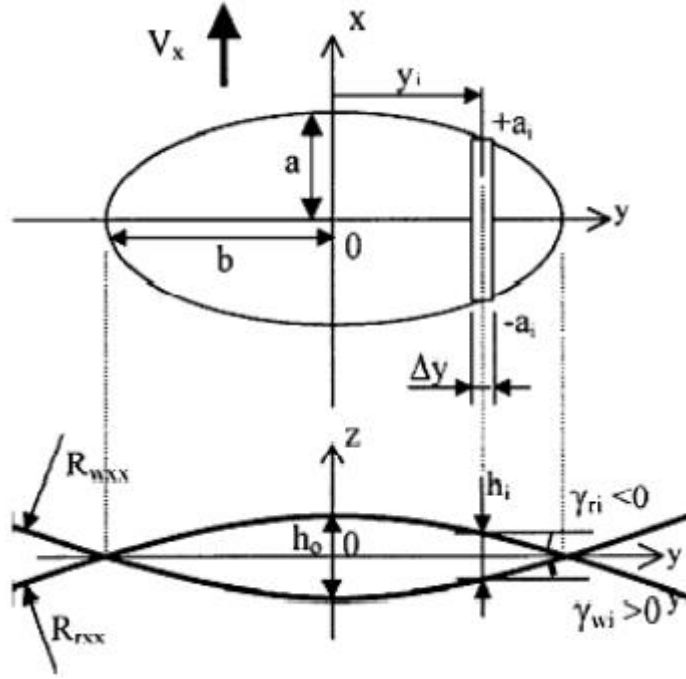


a) Ray referans sistemine göre temas noktaları



b) Tekerlek referans sistemine göre temas noktaları

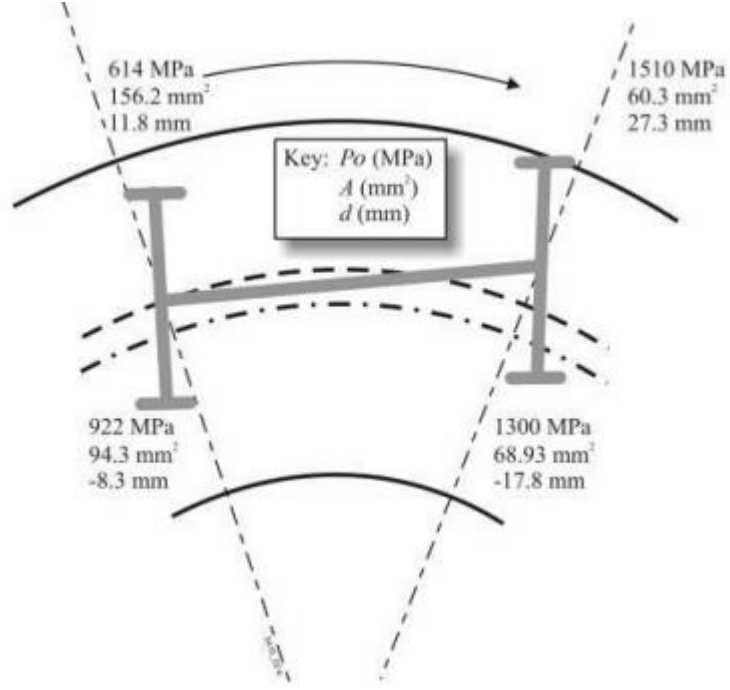
Şekil 2.16. Ray ve tekere göre referans temas noktaları [20].



Şekil 2.17. Temas alanındaki yerel parametreler [21].

Teker ve ray arasında gerçekleşmekte olan temaslar genel manada Hertizan olarak kabullenilmiştir. Ray ve tekerin yüzeyinde meydana gelen temas gerilmeleri elips biçimine sahiptir. Elipsin uzunluğu ve genişliği temasın gerçekleşmekte olduğu bölgedeki tekerin basınç uygulamasıyla ortaya çıkmakta olan gerilmeler ile benzerlik göstermektedir. Tekerin flanş olarak adlandırılmış olan bölgesinde meydana gelen temas alanı ray boyunca ince ve uzun olarak ifade edilmektedir [15].

En yüksek düzeydeki temas basınçları, temas bölüm alanı ve her temas noktası için belirlenmiş olan pozisyonlar Şekil 2.18.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Tipik temas basınçları, alanları ve kurp pozisyonu [15].

2.3.1. Temas Analizi

Birbirleriyle temas halinde bulunmakta olan parçalarda temas süresi zarfında gerçekleşmekte olan değişimler temas analizi ile incelemeye tabi tutulmaktadır. Bahsi geçmekte olan temas analizi, fizik teorilerine (Kalker ve Hertz teorileri vb.) dayanmaktadır. Bu teorilerin uygulanabilmesi adına ortaya çıkmış olan sorunların kısıtlarının net bir biçimde ortaya çıkarılması gerekli görülmektedir. Bunun yanı sıra bu teoriler birçok durumda doğrulanmaya gereksinim duymaktadır.

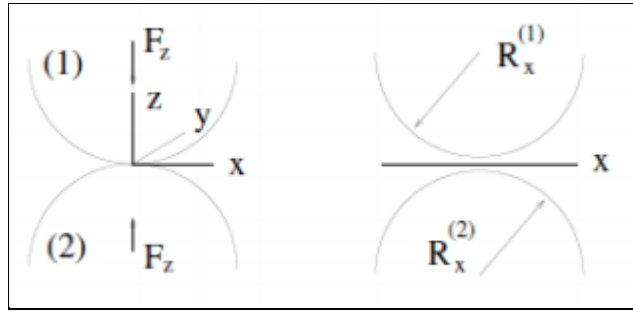
Yuvarlak gövdeli olan iki parçanın kuvvet altında birbirine temas etme durumunu ve ortaya çıkacak olan deformasyonu Hertz teorisi incelemektedir. Temas yüzeylerinde gerçekleşmekte olan basma gerilmeleri “Hertz Yüzey Basıncı” şeklinde ifade edilmektedir. Meydana çıkan gerilme durumları Hertz teorisi baz alınarak hesaplama yapılmaktadır. Bu bağlamda aşağıda bahsi geçen kabuller söz konusu olmaktadır:

- Kullanılmakta olan malzeme izotrop ve homojendir.
- Geçerlilik arz eden kanun; Hooke kanunudur.

- Minimal bir alan olarak kabul edilmekte olan temas noktasında ya da çizgisinde sadece normal kuvvetin bulunduğu varsayımı yapılmaktadır. Bu çerçevede kayma gerilmesi kayda değer olarak görülmemektedir.
- Temasın gerçekleşmiş olduğu durumda meydana gelmiş olan deformasyon; parçanın başka boyutlarına oranlar çok küçük olarak varsayılmaktadır.
- Uygulanmakta olan kuvvetin tüm temas alanına eşit bir şekilde dağılmakta olduğu varsayılmaktadır.

Hertz Problemi;

1 ve 2 şeklinde numaralandırılmış olan iki parabol ve paralel eksen düşünüldüğü takdirde ortaya çıkmakta olan durum Şekil 2.19. 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Hertz problemi.

Bu durum uç kısımların birbirine değdirilmesi ile bir araya gelmektedir. Ortak olan teğet düzleminde yer almakta olan x ve y düzlemi biçiminde bir Kartezyen koordinat sistemi tanımlaması yapılmaktadır [15].

Üç boyutlu olan elastik gövdelerin yuvarlanmalı olan temas etme durumlarını Kalker Teorisi inceleme altına almaktadır. Ray ve tekerler arasında mevcut olan teğetsel kuvvetler ve döndürme momenti tespitini gerçekleştirebilmek için kullanılmaktadır. Kalker teorisi; raylı sistem taşıtlarının dinamik olan davranışlarının belirlenmesi yönünde çaba sarf etmektedir.

Hertz ve Kalker teorilerinin uygulamaya konulabilmesi için var olan sorunların; teorilerin sunmakta olduğu kısıtlamalar çerçevesinde düzenlenmesi ve bu teorilerin koşullarıyla uyumlu olacak çözüme kavuşturulması gerekmektedir [17].

2.3.2. Sabit Yuvarlanmalı Temaslarda Gerilim Dağılımı

2.3.2.1. Hazırlık Aşaması

Bu aşamada elastikiyet teorisi neticesinde elde edilen veriler kullanılmaktadır. Buradan yola çıkılarak teğet gerilme aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi ifade edilebilmektedir.

$$\tau(r) = \sigma_{zx}(r) = \tau_0 \sqrt{1 - r^2/a^2} \quad (2.10)$$

Denklem (2.10); dairesel nitelikteki alan için uygulanmaktadır. Daha sonra teğet doğrultusundaki Denklem (2.11)'de gösterilmekte olan yer değişimine sebep olmaktadır.

$$u_x = \frac{\pi\tau_0}{32G_a} [4(2 - \nu)a^2 - (4 - 3\nu)x^2 - (4 - \nu)y^2] \quad (2.11)$$

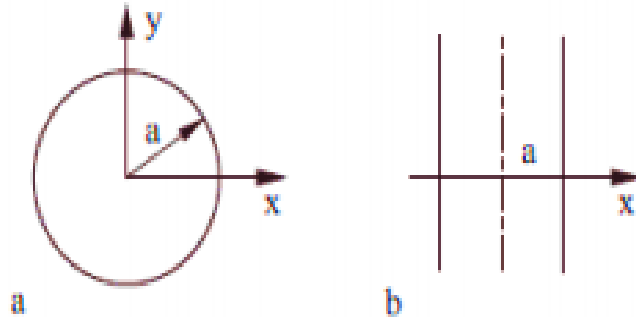
2a genişliğine sahip olan bir şeritte meydana gelen gerilimin dağılımı Denklem (2.12)'de gösterilmiştir.

$$\tau = \sigma_{zx}(x) = \tau_0 \sqrt{1 - x^2/a^2} \quad (2.12)$$

Bu durumun meydana getirmiş olduğu yer değiştirme durumunun ifadesi Denklem (2.13)'de verilmiştir.

$$u_x = conts - \tau_0 \frac{x^2}{aE^*} \quad (2.13)$$

Gösterimleri gerçekleştirilmekte olan bu gerilme dağılımları kullanılarak yuvarlanmalı tekerde mevcut olan gerilim dağılımı bulunabilmektedir.



Şekil 2.20. Teğet gerilmeleri ile yüklenen çeşitli temas alanları a-dairesel b-şerit [14].

2.3.2.2. Carter Teorisi

İki adet serbestlik derecesine sahip olan yuvarlamalı temas sorunu ve düzlem üzerinde gerçekleşmekte olan silindirik yuvarlama hareketi Carter tarafından 1926'da çözülmüştür. Normal ya da teğetsel problemlerin birçoğu, başka çözümlerde de görüldüğü üzere çözüme kavuşturulmaya çalışılmaktadır. Carter'ın ortaya atmış olduğu çözüm; bir süreklilik yüzeyinde bulunmakta olan yer değiştirme alanlarının analitik çözümlemesi biçiminde bilinmekte olan iki Hertz gerilimi dağılımlarının birbirinin üstüne gelmesiyle yuvarlamalı temas geriliminin dağılımını kurma olarak isimlendirilmiş olan hipoteze dayandırılmaktadır. Bahsi geçmekte olan durumda tekerin gerilimine dair dağılımlar aşağıdaki denklemlerde gösterilmektedir.

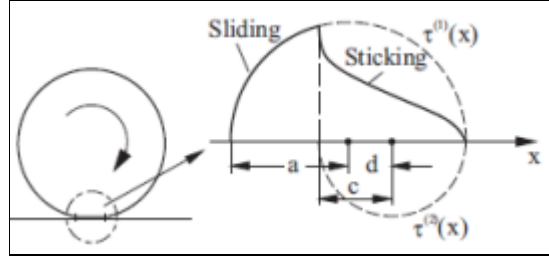
$$\tau = \tau^{(1)}(x) + r^{(2)}(x) \quad (2.14)$$

$$\tau^{(1)}(x) = \tau_1 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

$$\tau^{(2)}(x) = -\tau_2 \left(1 - \frac{(x-d)^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.16)$$

Bu formüllerde yer almakta olan a ; temasın toplam temas genişliğini; c ise ön kenarın yapışma alan genişliğinin yarısını ifade etmektedir. İfadesi gerçekleşmekte olan d 'nin değerinin bulunması Şekil 2.20.'de gösterilmiştir. Gerçekleşmekte olan basınç dağılımı Hertz ifadesiyle temas durumunun ifade edilebilmesi için verilmektedir

$$p(x) = p_0 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$



Şekil 2.21. Temas alanında teğetsel gerilmelerin dağılımı.

$\tau(1)(x)$ ve $\tau(2)(x)$ gerilim durumları sebebiyle meydana gelmekte olan yer değiştirmeler;

$$u_x^{(1)} = c^{(1)} - \tau_1 \frac{x^2}{aE^*}, u_x^{(2)} = c^{(2)} + \tau_2 \frac{(x-d)^2}{cE^*} \quad (2.18)$$

yer değiştirme toplamı;

$$u_x = const - \tau \frac{x^2}{aE^*} + \tau_2 \frac{(x-d)^2}{cE^*} \quad (2.19)$$

Oluşmakta olan deformasyon durumu ise (14);

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = -\tau_1 \frac{2x}{aE^*} + \tau_2 \frac{2(x-d)}{cE^*} \quad (2.20)$$

2.3.2.3. 3 Boyutlu Yuvarlanmalı Temas Problemi

Carter de yapılarına benzer bir prosedürle üç boyutlu olan bir yuvarlama temas gerilme dağılımı belirlenmektedir.

$$\tau^{(1)}(x, y) = -\tau_1 \sqrt{1 - \frac{x^2 + y^2}{a^2}} \quad (2.21)$$

$$\tau^{(2)}(x, y) = -\tau_2 \sqrt{1 - \frac{(x-d)^2 + y^2}{c^2}} \quad (2.22)$$

Denklem (2.22)'deki gerilim dağılımı, yapışma alanını belirlemektedir. Yüzeylerde meydana gelmekte olan gerilmelerin üst üste bindirilmesine sebep olmaktadır.

Yer değiştirme;

$$u_x = \frac{\pi}{32g} \left\{ \begin{array}{l} \frac{r_1}{a} [4(2-v)a^2 - (4-3v)x^2 - (4-v)y^2] \\ -\frac{r_2}{c} [4(2-v)c^2 - (4-3v)(x-d)^2 - (4-v)y^2] \end{array} \right\} \quad (2.23)$$

$\epsilon_{xx} = \partial u_x / \partial x$ ifadesi deformasyon bileşenlerine denk düşmektedir.

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} = \frac{\pi(4-3v)}{16G} \left\{ -\frac{\tau_1}{a} x + \frac{\tau_2}{c} x - \frac{\tau_2}{c} d \right\} \quad (2.24)$$

Teğetsel kuvvet;

$$F_X = \frac{2}{3}\pi a^2 \tau_1 - \frac{2}{3}\pi c^2 \tau_2 = \mu F_N \left(1 - \left(\frac{c}{a} \right)^3 \right) \quad (2.25)$$

Teğetsel temas ile yapışma alanının yarıçığı ile aynı biçimde bulunmaktadır.

$$\frac{c}{a} = \left(1 - \frac{F_X}{\mu F_N} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.26)$$

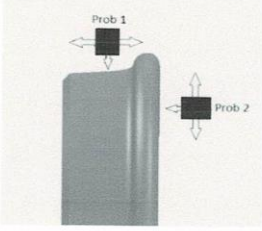
Sürünme oranı;

$$s = \frac{\partial u_x}{\partial x} = -\frac{3(4-3v)\mu F_N}{32Ga^2} \left[1 - \left(1 - \frac{F_X}{\mu F_N} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (2.27)$$

Denklem olarak $\frac{4}{3}E^* \frac{a^3}{R}$ yapılmakta olan hesaplama dahil edildiğinde sürünme oranını tekrar yazabilmek mümkündür (14).

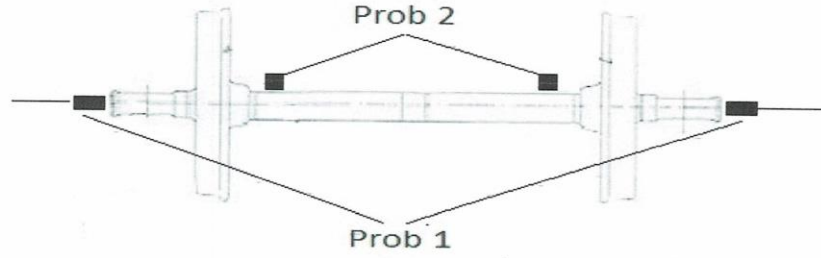
$$s = -\frac{(4-3v)\mu}{4(1-v)} \frac{a}{R} \left[1 - \left(\frac{F_X}{\mu F_B} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (2.28)$$

2.3.3. Tekerlek Takımlarının Ultrasonik Test edilmesi

ACARLAR VAGON		MONOBLOK TEKERLEK ULTRASONİK MUAYENE TEST RAPORU								
Vagon Sahibi	ANAPET			Rapor No	UTM-0240					
Vagon No	33 75 796 0 001-2		Tekerlek Çapı	920 mm						
Muayene Standardı	ISO1005-6 /EN 13262		Değerlendirme Standardı	TS EN 9911 / ISO 5948						
Temas Sıvısı	Sıvı yağ	Yüzey Sıcaklığı	22	Muayene Kapsamı	100%					
Kullanılan Test Cihazı	UFD-101/T		Kullanılan Kalibrasyon Bloğu	K1						
Mesafe Kalibrasyon Bilgileri			Referans Blok							
Prob No	1		Kalibrasyon Bloğu	K1	VR	-				
Prob İsmi	2 Mhz 0		Kalibrasyon Yansıtıcısı	1,5 mm	V1	-				
S (mm)	100		Sj	100	V	8 db				
Kalibrasyon Bloğu	K1		Vj	50	Vr	40 db				
Prob No	2		Kalibrasyon Bloğu	RF	VR	-				
Prob İsmi	4 Mhz 0		Kalibrasyon Yansıtıcısı	3 mm	V1	-				
S (mm)	90		Sj	135	V	8 db				
Kalibrasyon Bloğu	K1		Vj	25	Vr	42 db				
										
KONTROL BİLGİLERİ										
Tanımlar				Ref.Yük.	Hata Bilgileri			Sonuçlar		
Tekerlek No	Dingil No	Prob No			Derinlik	X	Y	Kabul	Red	Red Sebebi
1	A	000108	1	2	80%			✓		
2	B		1	2	80%			✓		
3	A	00016	1	2	80%			✓		
4	B		1	2	80%			✓		
5	A	00084	1	2	80%			✓		
6	B		1	2	80%			✓		
7	A	00063	1	2	80%			✓		
8	B		1	2	80%			✓		
Testi Yapan	Özkan TAŞKOPARAN UT Level II 29/03/2021			Onay	Özkan TAŞKOPARAN UT Level II 29/03/2021					

ACARLAR VAGON		DİNGİL ULTRASONİK MUAYENE TEST RAPORU					
Vagon Sahibi	ANAPET				Rapor No	UDM-0240	
Vagon No	33 75 796 0 001-2			Vagon Tipi	Zas-wu		
Isıl İşlem Durumu	Evet	Hayır	Yüzey Durumu	Düz	Kabul Kriteri	EN 10228-3	
Temas Sıvısı	Sıvı yağ	Yüzey Sıcaklığı	20	Ana Malzeme Muayenesi	Evet		
Kullanılan Test Cihazı	UFD-101/T		Kullanılan Kalibrasyon Bloğu	K1 / K2			

Mesafe Kalibrasyon Bilgileri		Duyarlılık Kalibrasyon Bilgileri			
Prob No	1	Kalibrasyon Bloğu	K1	VR	-
Prob İsmi	2 Mhz 29	Kalibrasyon Yansıtıcısı	1,5 mm	VI	-
S (mm)	500	Sj	100	V	4
Kalibrasyon Bloğu	K1	Vj	50	Vr	50
Prob No	2	Kalibrasyon Bloğu	K2	VR	-
Prob İsmi	4 Mhz 70	Kalibrasyon Yansıtıcısı	25 mm	VI	-
S (mm)	250	Sj	100 mm	V	2
Kalibrasyon Bloğu	K2	Vj	25 mm	Vr	42



KONTROL BİLGİLERİ											
	Tanımlar				Ref.Yük.	Hata Bilgileri			Sonuçlar		
	Aks No	İmalat Yılı	Prob No			Derinlik	X	Y	Kabul	Red	Red Sebebi
1	00108	03/18	1	2	80%				✓		
2	00016	03/18	1	2	80%				✓		
3	00084	03/18	1	2	80%				✓		
4	00063	03/18	1	2	80%				✓		

Testi Yapan	Özkan TAŞKOPARAN UT Level II 29/03/2021	Onay	Özkan TAŞKOPARAN UT Level II 29/03/2021
-------------	---	------	---

FR95/00

Acarlar Vagon Sanayii
Tel: +90 272 353 33 34 Fax: +90 272 353 33 00
acarlar@acarlarvagon.com.tr www.acarlarvagon.com.tr

Sayfa 1 / 1

Şekil 2.22. Anapet tekerlek takımları bakımı acarlar vagon 2021.

BÖLÜM 3

UYGULAMA

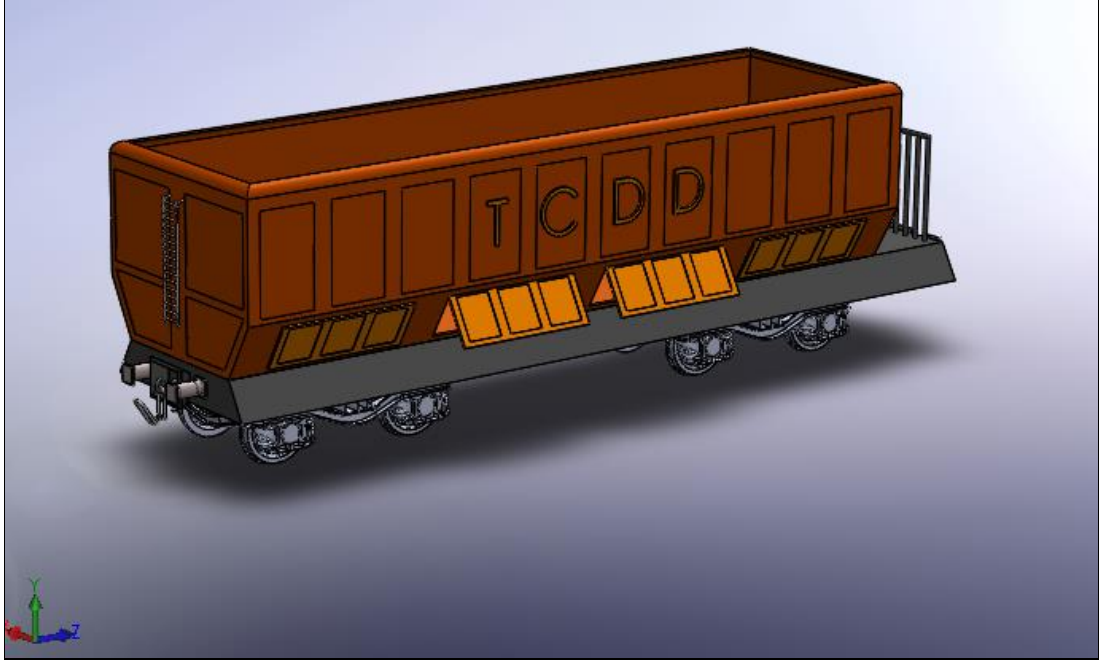
3.1. VAGON VE UIC60 RAY MODELLENMESİ

Tasarımı yapılan UIC 60 Standartındaki Rayların ve Fad-wu cevher vagonunun çizimi SOLİDWORKS 2017 ile yapılmış, analizleri ise ANSYS 2020R2 ile yapılacaktır. Bu analizler, önerilen çalışma gereği bir çok sefer tekrarlanacak, ve ray teker kontak ilişkisi hakkında çeşitli değerlendirmeler elde edilecektir. Bu projenin sonucunda ray teker kontak ilişkisinin mevcut karakteristik davranışları simule edilecek ve bu fiziksel olayın yapısı hakkında daha detaylı bilgiler elde edilecektir. Ray Teker Kontak İlişkisi Analizi konusunda günümüze kadar bir çok Sonlu Elemanlar Analizi, literatürde yapılmıştır. Değişik teker ve ray profilleri kullanarak Hertz kontak modellemesi ve dolayısı ile gerilme dağılımları incelenmiştir.

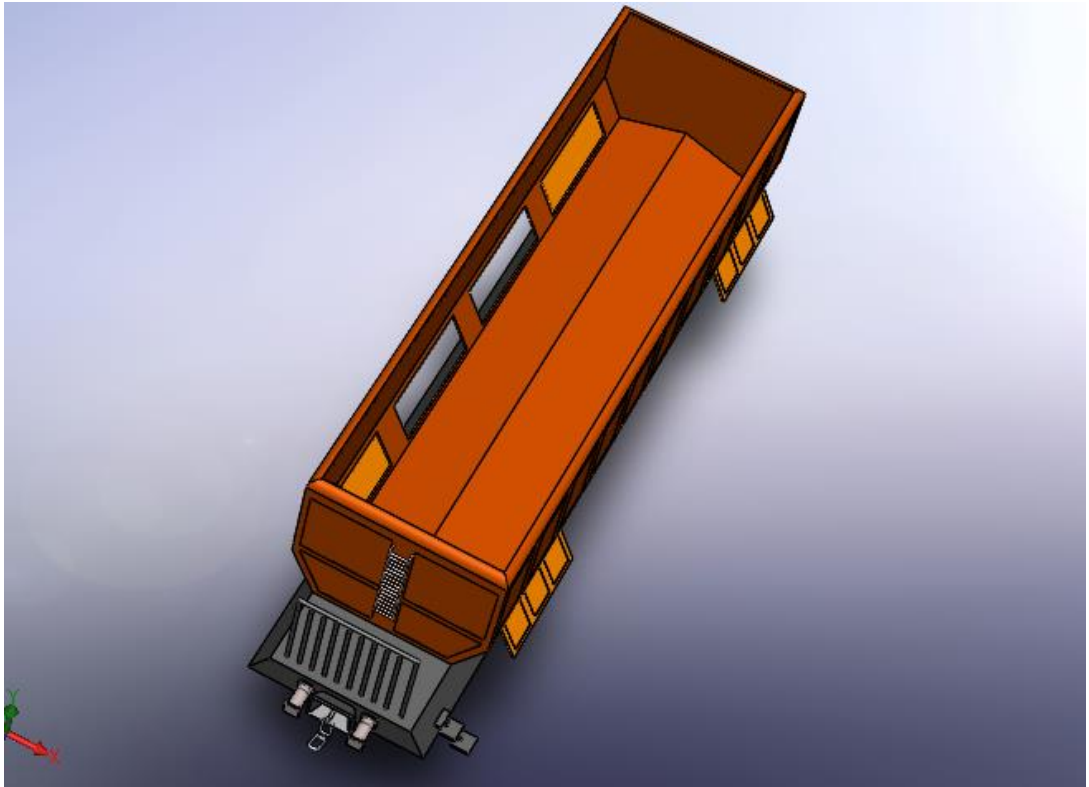
Vagonumuzun tekerlek, aksı ve UIC 60 rayın yük altında dinamik analizleri yapılmıştır. Vagon boş ağırlığı ile yükleme ağırlığı toplam 80 ton belirlenmiş ve 4 dingilli vagonumuz için bir dingile 20 ton yük gelmiştir. Daha sonra yer çekimi de dikkate alınarak dingil üzerine (Rulmanların bulunduğu kısım) 9.860 N kuvvet uygulanmıştır. Tekerlek ve rayın sürtünme katsayısı literatür araştırması sonrası 0.2 olarak kabul edilmiştir. Tekerlek üzerine 0.2 sn boyunda 30.713 rad/s (50 km/h) uygulanarak hareketi izlenmiştir. Yapılan dinamik testler sonucunda ray ile teker için değerler çıkarılmış ve incelenmiştir.

Vagon ray ve tüm ekipmanları 3D çizimi yapılmış ve montaj katı modeli oluşturulduktan sonra, elde edilen şekil, Sonlu Elemanlar Analiz yazılımı, ANSYS 2020 R2'ye aktarıldı ve böylece mesh'leme (sonlu elemanlar ağı) işleminde kullanılacak olan hacim, yüzey ve çizgi geometrileri elde edildi. Elde edilen model ANSYS Solid45 küp biçimli 8 nod'lu sonlu elemanlar elemanı ile arzu edilen analizlerin icra edilebilmesi için mesh'lendi. Elde edilen sonlu elemanlar modeli,

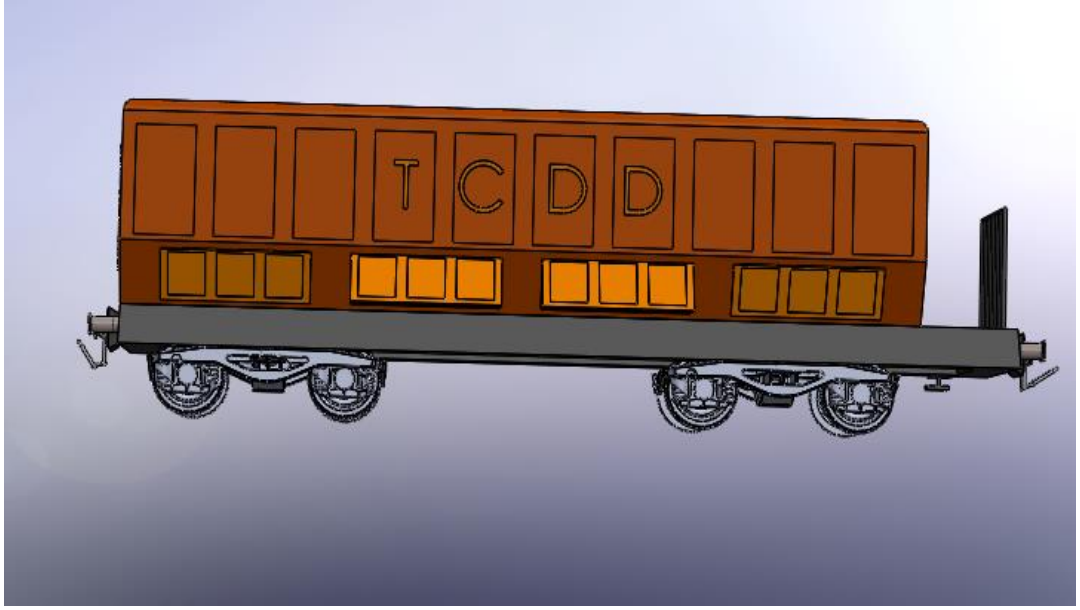
sınır şartları, malzeme modelleri ve yükleme şartları'nın tanımlanması ile harekete hazır hale getirilmiştir.



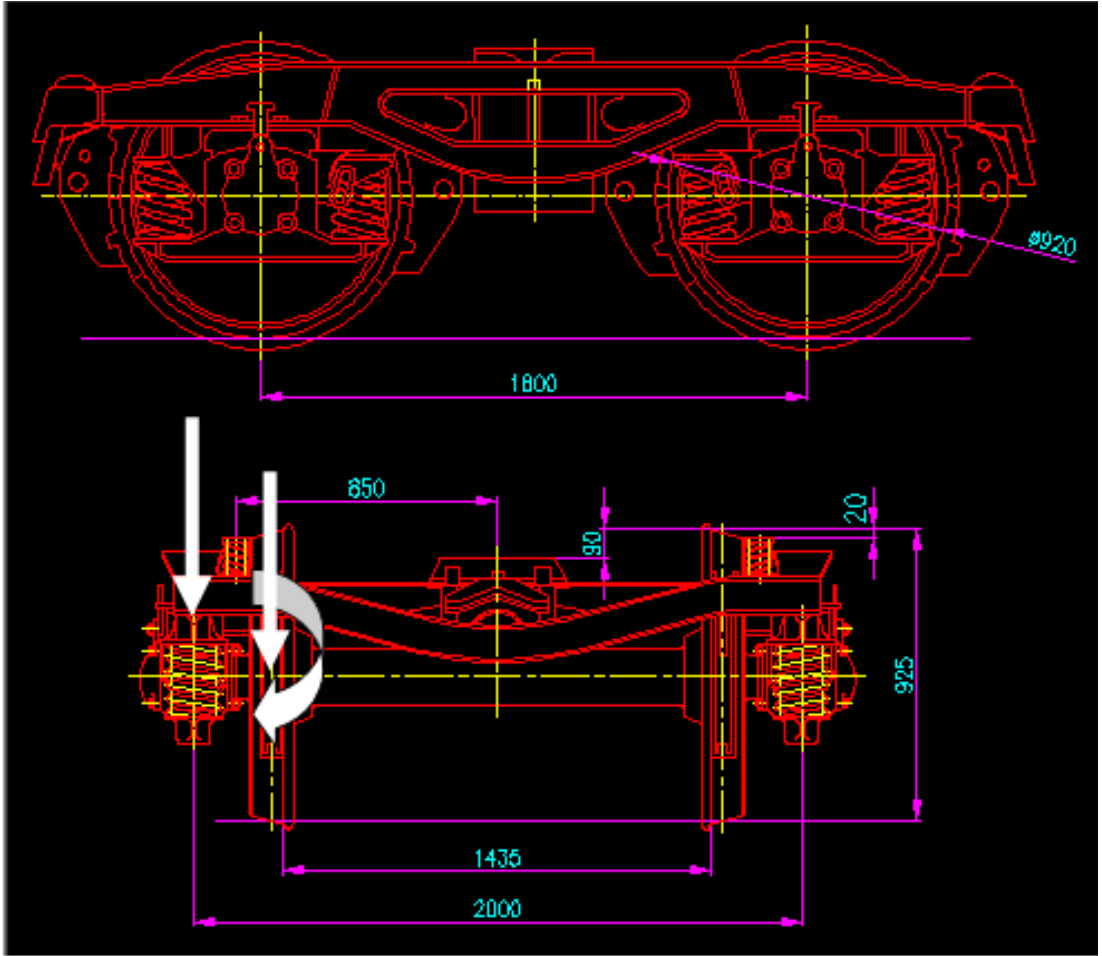
Şekil 3.1. Fad-wu cevher vagonu.



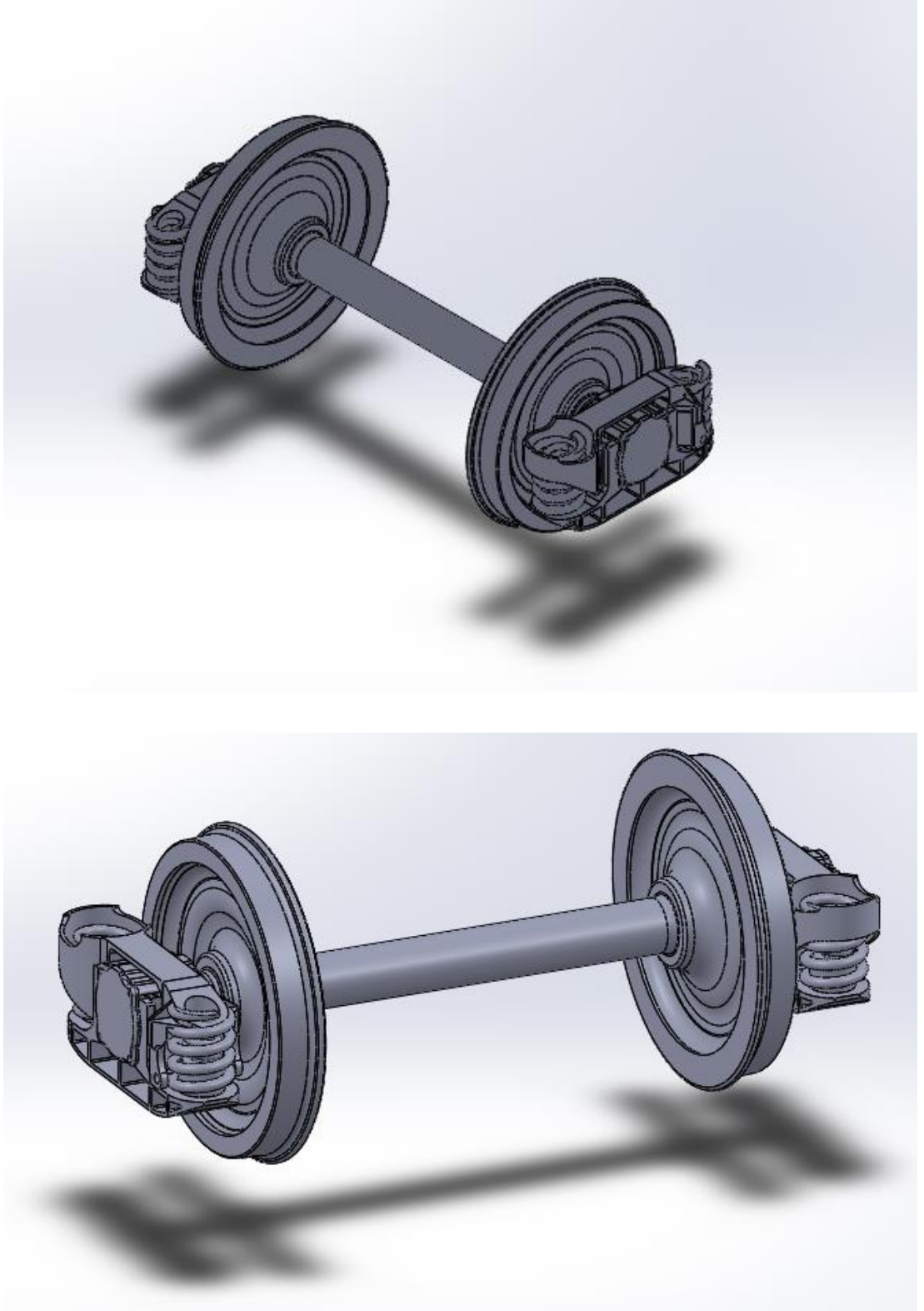
Şekil 3.2. Fad-wu cevher vagonu üst görünüm.



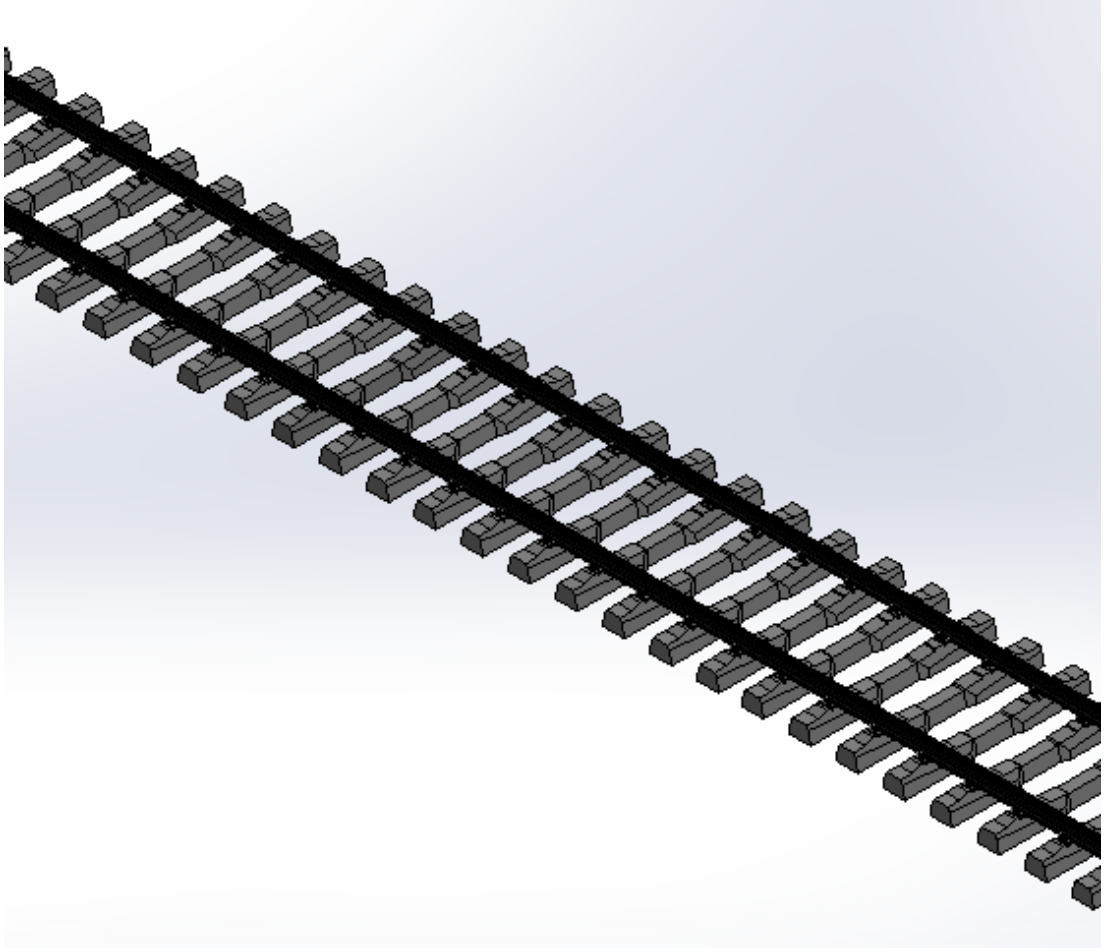
Şekil 3.3. Fad-wu cevher vagonu yan görünüm.



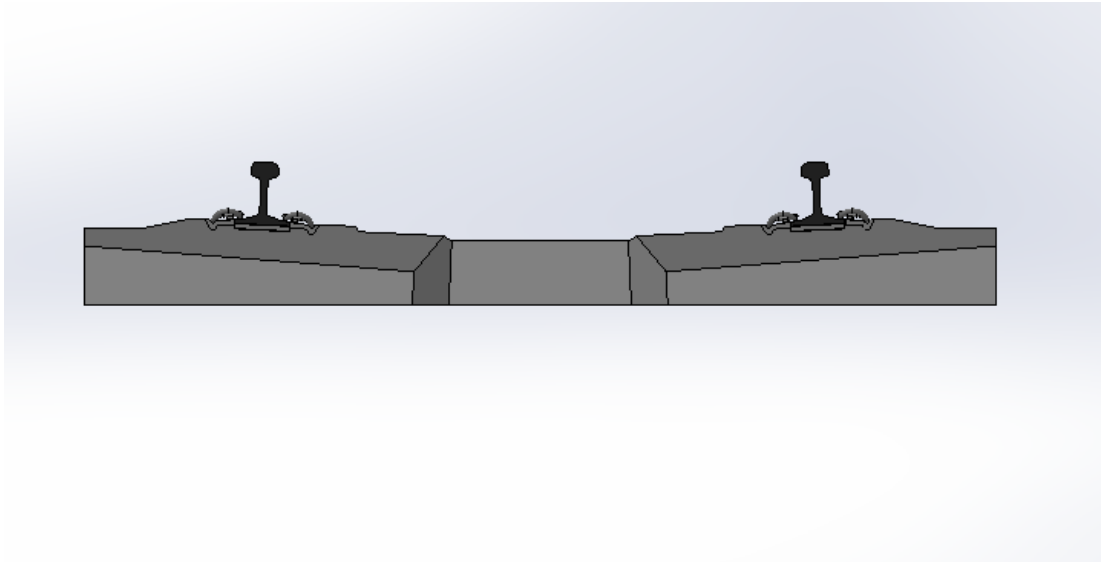
Şekil 3.4. Fad-wu cevher vagonu Y-25 Boji [32].



Şekil 3.5. Fad-wu cevher vagonu 22,5 tonluk tekerlek takımı.



Şekil 3.6. UIC 60 ray ve travers bağlantı montajlı çizim.



Şekil 3.7. 1435 mm ekkartman açıklığına göre çizilen yol önden görünüşü.

Çizelge 3.1. Modellerin malzeme özellikleri ve mukavemet değerleri.

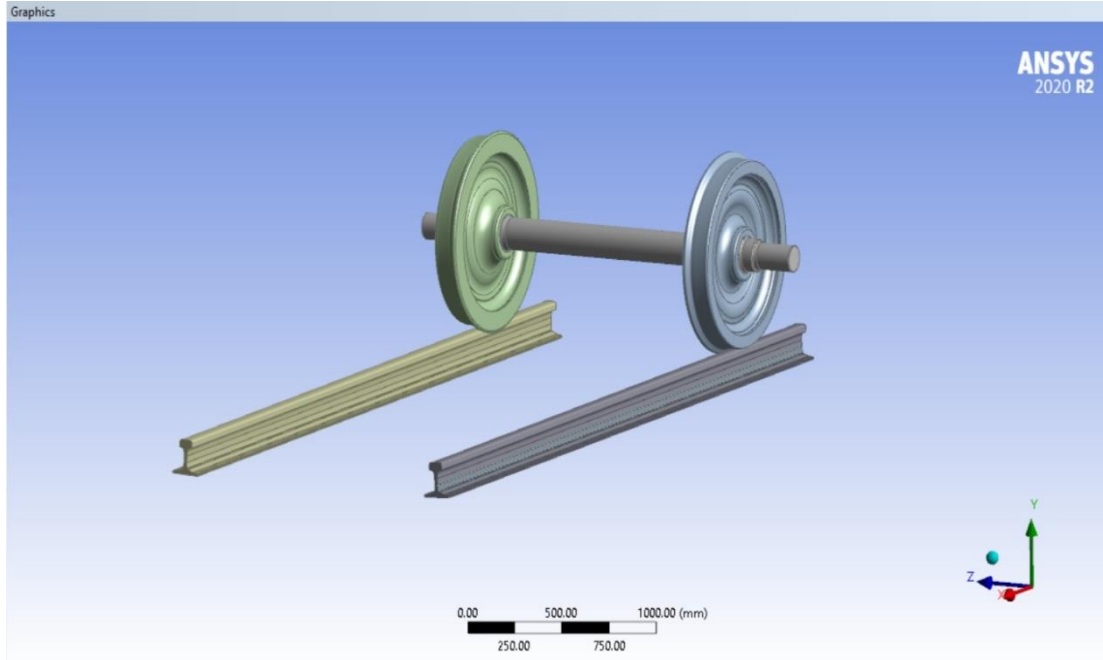
Malzeme	Yapı Malzemesi	Standart	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti
Aks	EA1N	EN13261	320 N/mm ² (min)	550-650 N/mm
Tekerlek	ER07	EN13262	520 N/mm ² (min)	820-940 N/mm
UIC 60 Ray	900A	UIC860-O	260-300 N/mm ²	800-1030 N/mm

3.2. GEOMETRİ VE ANALİZ

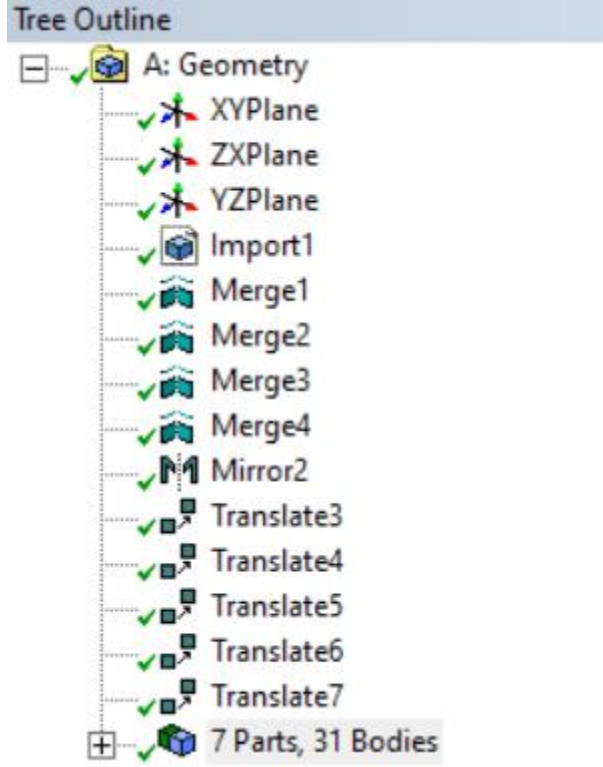
Giriş: 50 km/h hız ile aks üzerinde toplamda 20 ton olan bir dinamik analiz senaryosu Ansys Workbench programı “Transient Structural” modülü ile gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 saatlik bir çözüm sonucunda sonuçlar elde edilmiştir.

3.2.1. Geometrinin Oluşturulması

Çözüm süresini kısaltmak için “Geometry Clean-Up” dediğimiz model sadeleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Analiz için fazla olan parçalar suppress edilmiştir. Sadece ray, aks ve tekerlek bileşenleri analize dahil edilmiştir.

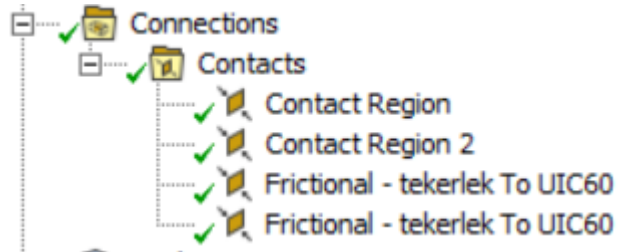


Şekil 3.8. Tekerlek takımının ve ray üzerine konumlandırılması.



Şekil 3.9. Analiz yapılacak parçaların belirlenmesi.

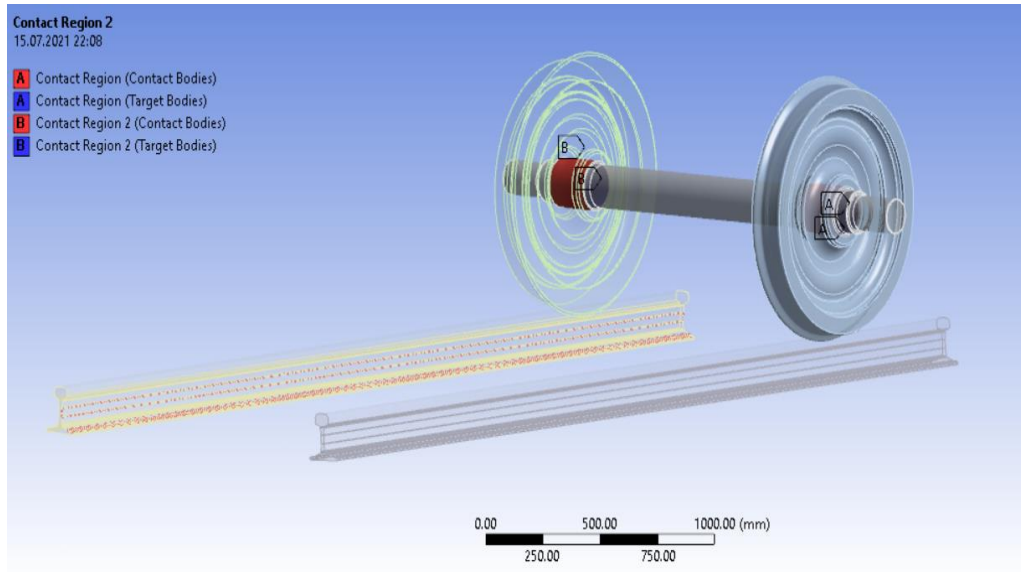
3.2.2. Kontakların Oluşturulması



Şekil 3.10. Kontakların oluşturulması.

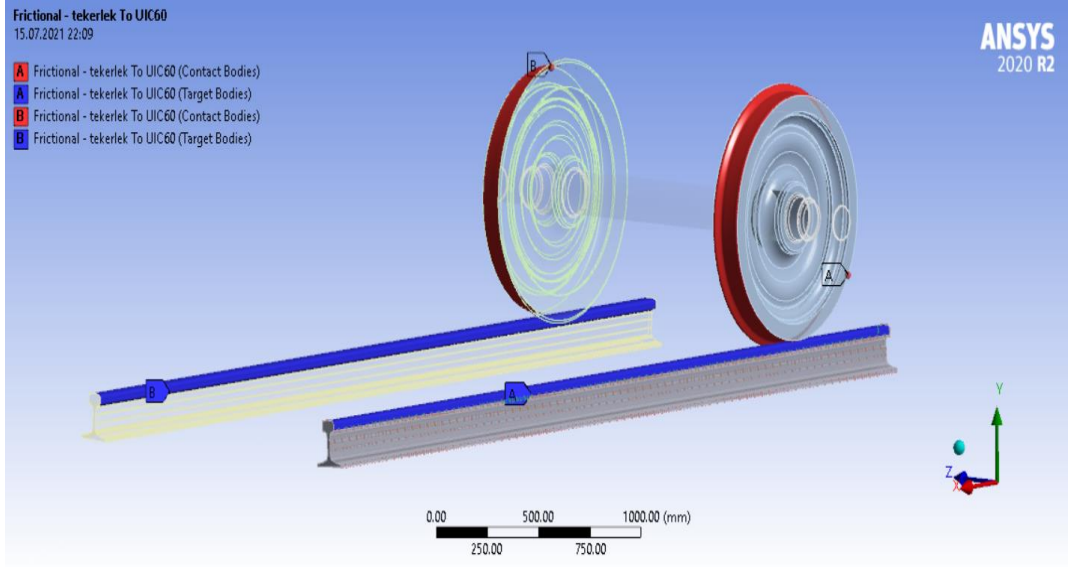
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	tekerlek
Target Bodies	UIC60
Protected	No
Definition	
Type	Frictional
<input type="checkbox"/> Friction Coefficient	0.2
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	12.16 mm
Suppressed	No

Şekil 3.11. Kontakların oluşturulması.



Şekil 3.12. Kontakların oluşturulması.

Aks için Bonded kontak atanmıştır.



Şekil 3.13. Kontakların oluşturulması.

Tekerlek için Frictional kontak atanmıştır. Literatür tarandığında çelik malzemeler için 0,2 değerinde sürtünme katsayısı uygun görülmüştür.

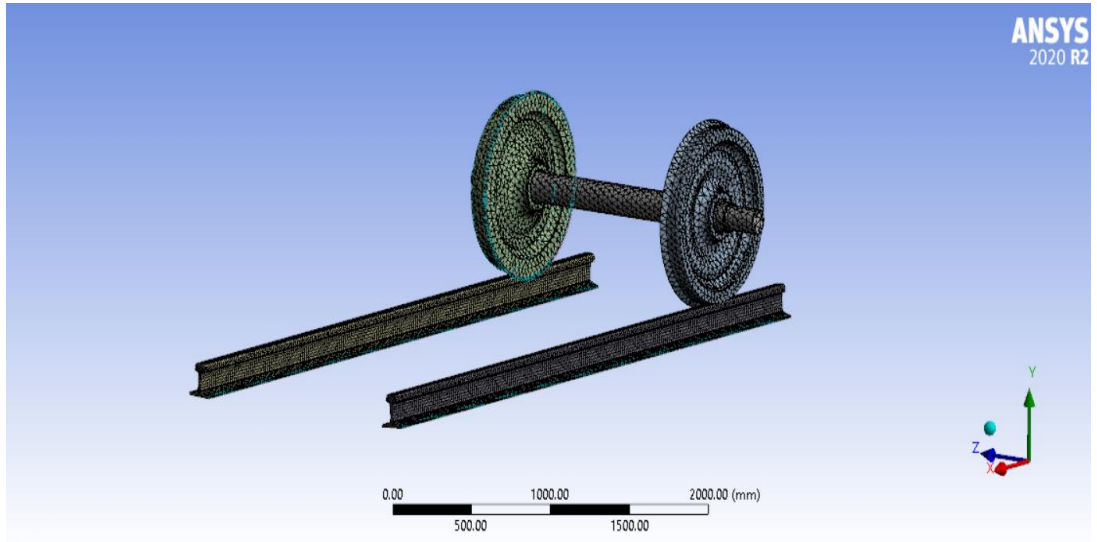
Details of "Frictional - tekerlek To UIC60"	
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	12.16 mm
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Stabilization Damping Factor	0.
Pinball Region	Radius
Pinball Radius	15. mm
Time Step Controls	None
Geometric Modification	
Interface Treatment	Adjust to Touch
Contact Geometry Correction	None

Şekil 3.14. Kontak parametreleri.

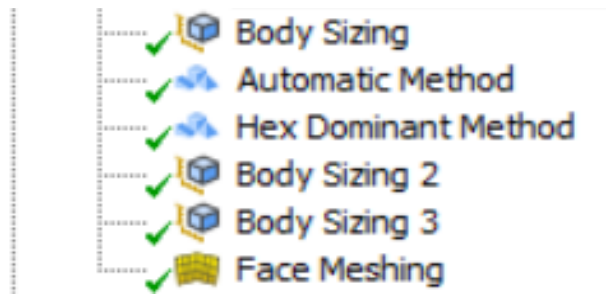
Kontakt temasının doğru bir şekilde tanımlanması için ‘‘Interface Treatment’’ altında ‘‘Adjust to Touch’’ seçeneği açılmıştır.

3.2.3. Mesh Detayları

‘‘Optimum meshleme işleminin gerçekleştirilmesi için automatic ve Hex Dominant mesh ayarları kullanılmıştır. Ray üzerinde eşit aralıklı meshler oluşturmak için face meshing uygulaması yapılmıştır. Çözüm süresi de düşünülerek optimum mesh boyutlarına karar verilmiştir.



Şekil 3.15. Meshleme.



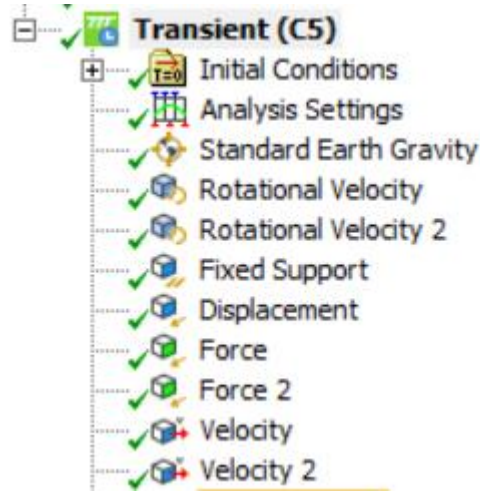
Şekil 3.16. Mesh yöntemleri.

Details of "Mesh"	
[-] Display	
Display Style	Use Geometry Setting
[-] Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Solver Preference	Mechanical APDL
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
+ Sizing	
+ Quality	
+ Inflation	
+ Advanced	
[-] Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	182021
<input type="checkbox"/> Elements	52836

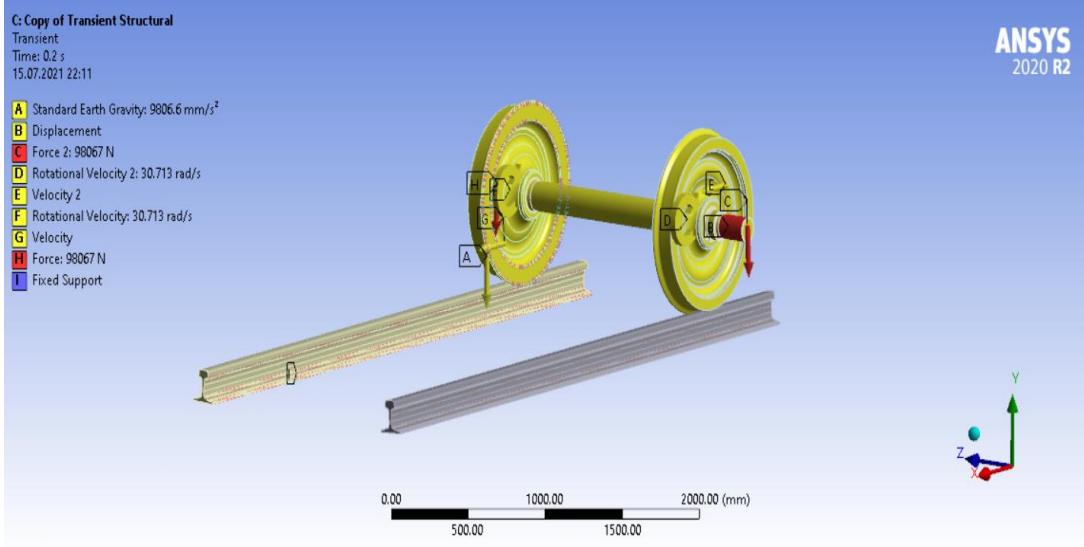
Şekil 3.17. Mesh eleman sayısı.

PC işlem hızı da dikkate alındığında 52836 eleman yeterli görülmüştür.

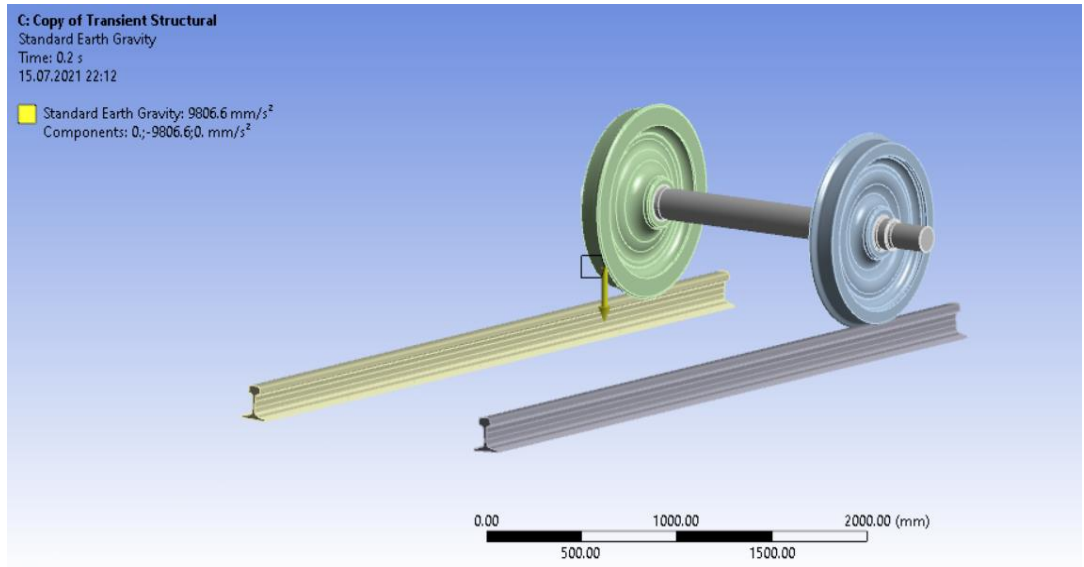
3.3. BOUNDARY CONDITION'LARIN BELİRLENMESİ



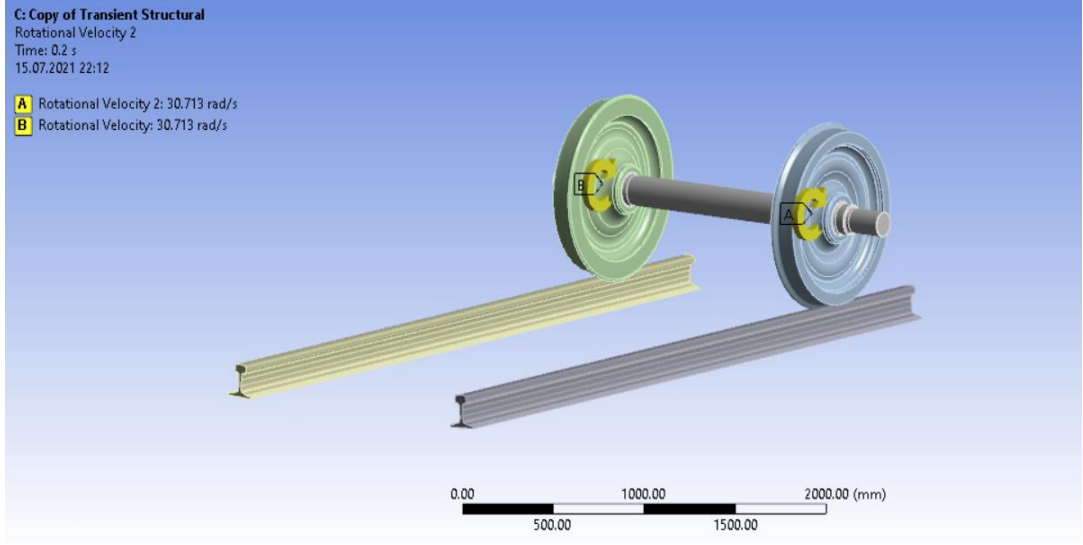
Şekil 3.18. Sınır koşullarının belirlenmesi



Şekil 3.19. Sınır koşullarının belirlenmesi.

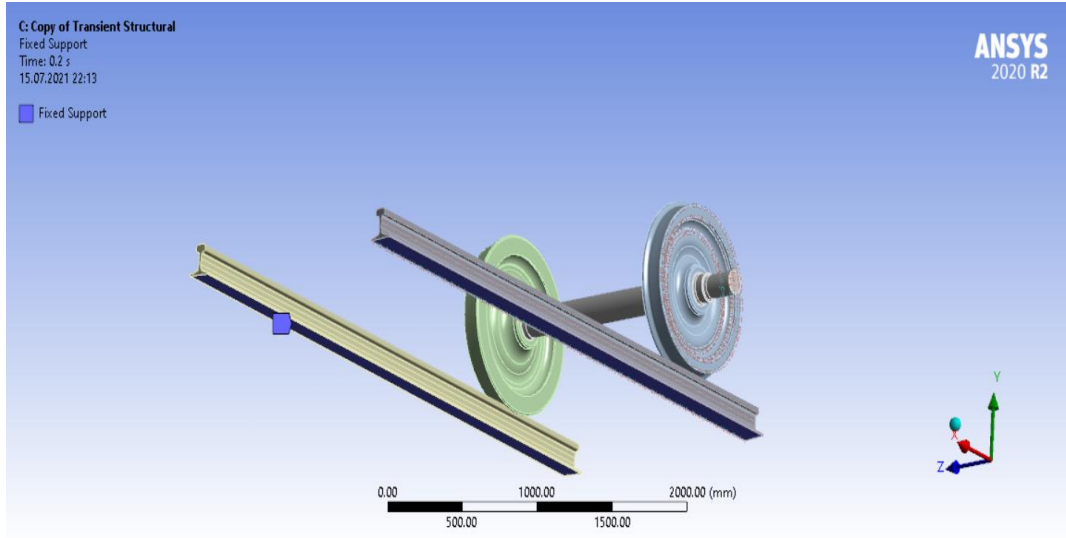


Şekil 3.20. Sınır koşullarının belirlenmesi yerçekimi.

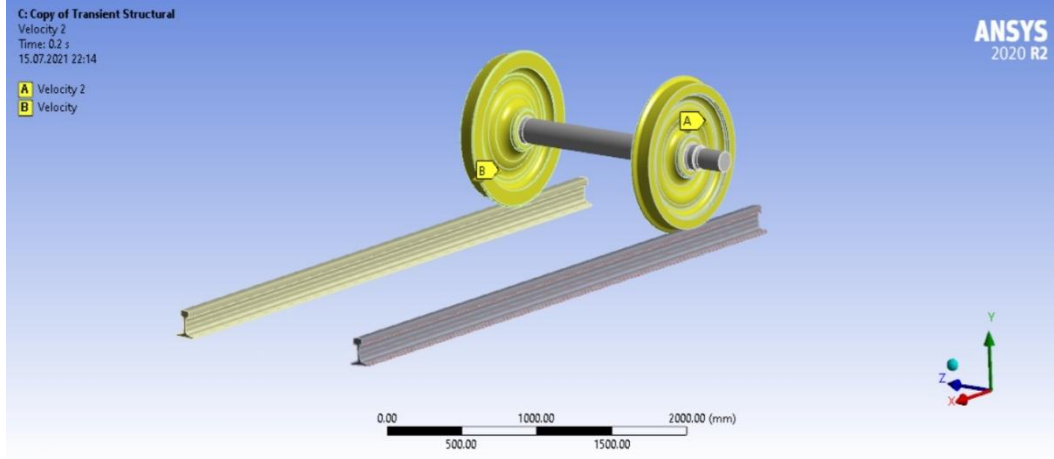


Şekil 3.21. Tekerlek hız değerinin belirlenmesi.

$$50 \text{ km/h} = 13889 \text{ mm/s} = 30.713 \text{ rad/s}$$



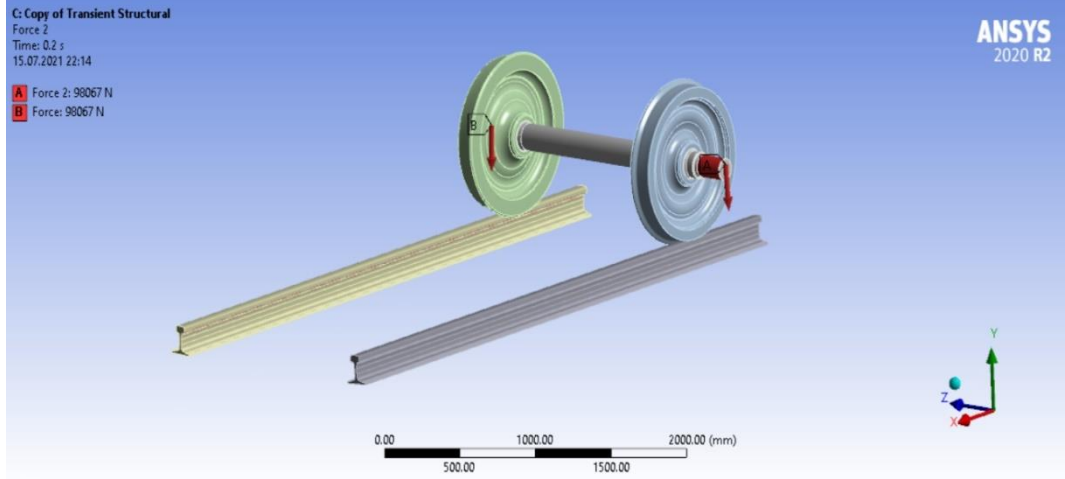
Şekil 3.22. Rayların sabitlenmesi.



Şekil 3.23. Yer değiştirme.

Details of "Displacement"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	79 Faces
Definition	
Type	Displacement
Base Excitation	No
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	Free
<input type="checkbox"/> Y Component	0. mm (step applied)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. mm (step applied)
Suppressed	No

Şekil 3.24. Yer değiştirme detayları (X-Y-Z).



Şekil 3.25. Tekerlek başına belirlenen yük.

10 ton = 98067 N

Details of "Multiple Selection"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
[-] Definition	
Type	Velocity
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	13889 mm/s (step applied)
<input type="checkbox"/> Y Component	0. mm/s (step applied)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. mm/s (step applied)
Suppressed	No

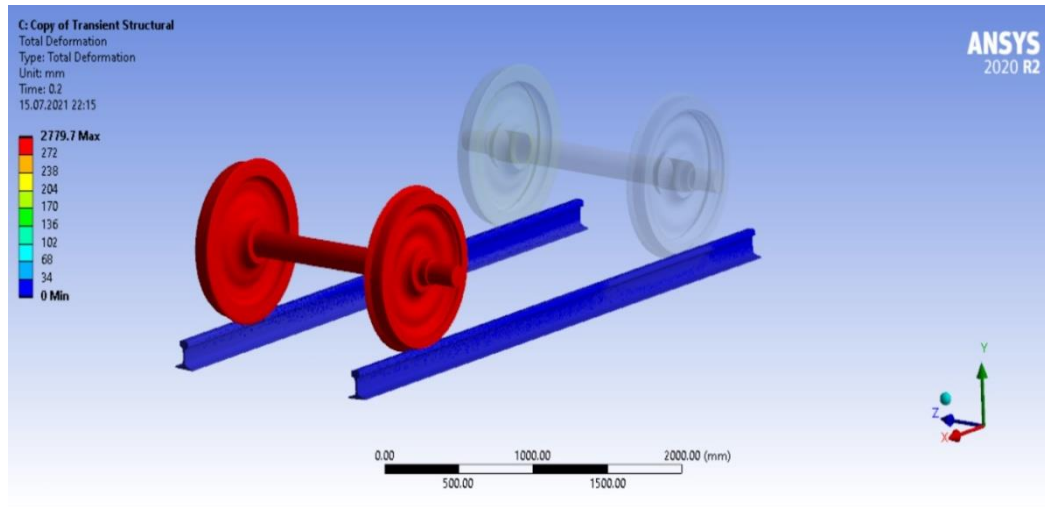
Şekil 3.26. Çoklu seçim (X-Y-Z).

3.4. SONUÇLAR

Linear analiz yapılmıştır. 0-0.2 saniye aralığında 10-100 substep ile çözüm alınmıştır. Bu şartlarda çözüm süresi yaklaşık olarak 1 saattir.

Details of "Analysis Settings"	
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	0.2 s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	20.
Minimum Substeps	10.
Maximum Substeps	100.
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Large Deflection	Off
App. Based Settings	Moderate Speed Dynamics

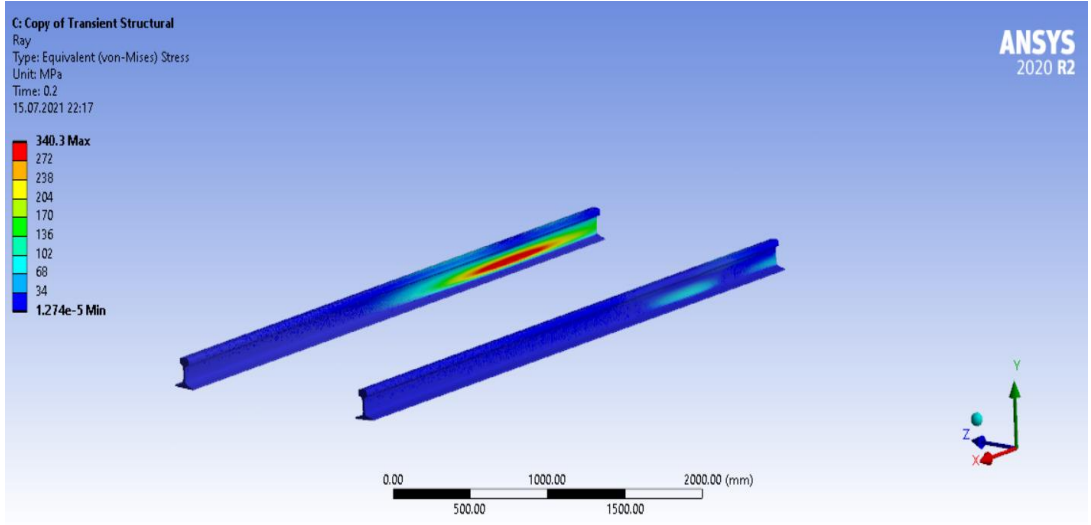
Şekil 3.27. Analiz ayarları.



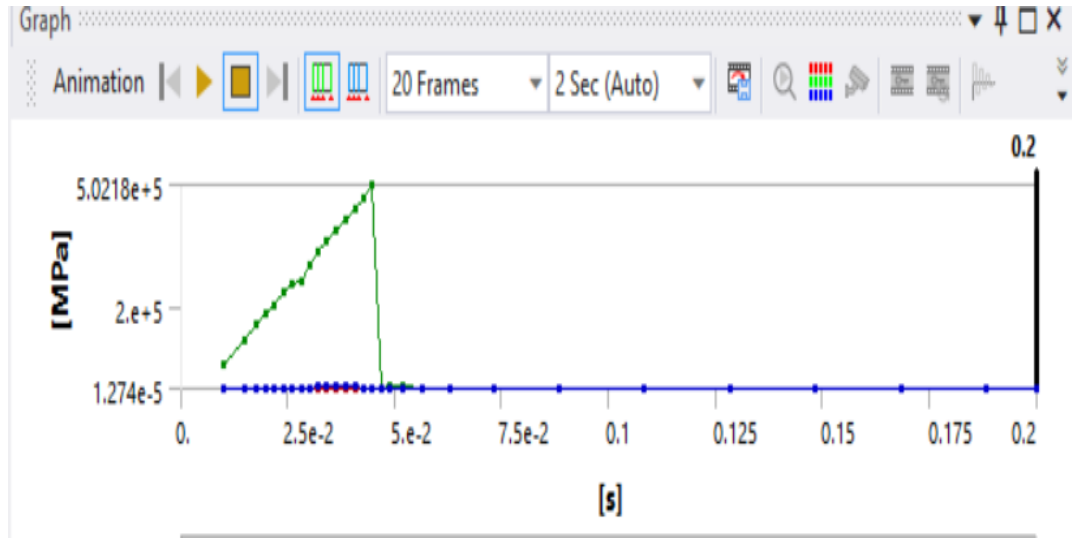
Şekil 3.28. Toplam deformasyon.

Toplam Deformasyon 2.77 metrelik hareket için analiz tamamlanmıştır.

3.4.1. Ray Deformasyon/Stres Sonuçları



Şekil 3.29. Ray deformasyon.

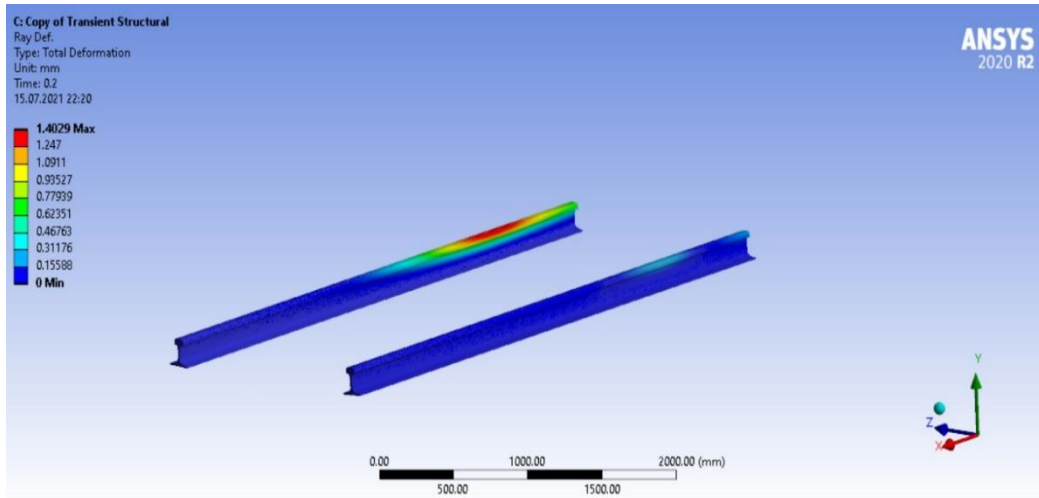


Şekil 3.30. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.

Analiz incelendiğinde $4.47e-02$ saniyeden sonra sonuçların tekerin hareketi ile birlikte normale döndüğü görülmüştür. Tekerin ilk hareket anında streslerin yüksek çıkması olağandır. Hareket ile birlikte ray üzerindeki stresler azalmıştır.

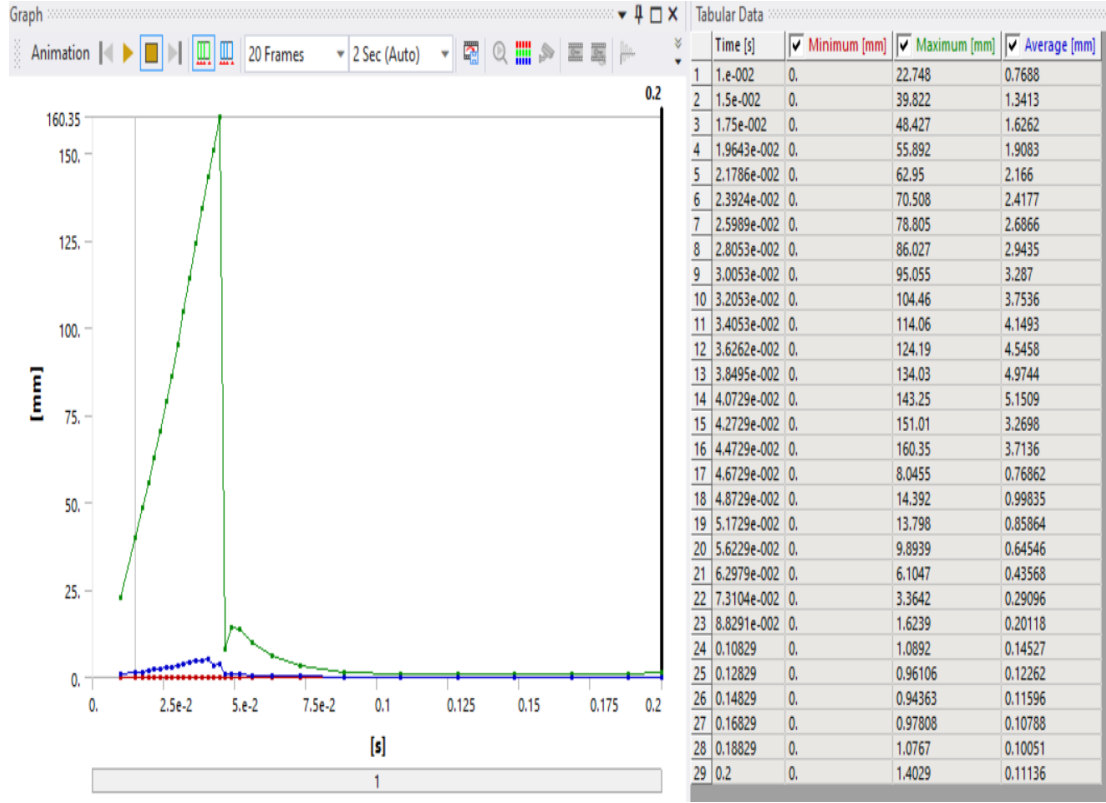
Tabular Data				
	Time [s]	✓ Minimum [MPa]	✓ Maximum [MPa]	✓ Average [MPa]
1	1.e-002	5.1727e-005	56737	737.45
2	1.5e-002	5.1329e-005	1.2086e+005	1353.3
3	1.75e-002	5.4461e-005	1.588e+005	1668.2
4	1.9643e-002	5.2212e-005	1.8314e+005	1944.7
5	2.1786e-002	4.1226e-005	2.0591e+005	2206.8
6	2.3924e-002	5.1228e-005	2.3581e+005	2487.2
7	2.5989e-002	5.1622e-005	2.5843e+005	2747.1
8	2.8053e-002	3.9262e-005	2.6374e+005	2984.3
9	3.0053e-002	3.7928e-005	3.0553e+005	3183.1
10	3.2053e-002	1.074e-004	3.3391e+005	3347.4
11	3.4053e-002	1.0839e-004	3.6131e+005	3595.7
12	3.6262e-002	1.2112e-004	3.9037e+005	3867.8
13	3.8495e-002	8.421e-005	4.188e+005	4139.2
14	4.0729e-002	7.6923e-005	4.4592e+005	4229.8
15	4.2729e-002	7.7751e-005	4.6809e+005	2394.2
16	4.4729e-002	8.0989e-005	5.0218e+005	2547.1
17	4.6729e-002	1.6258e-005	2277.3	98.814
18	4.8729e-002	7.8715e-005	3683.7	142.2
19	5.1729e-002	1.7626e-005	3639.5	126.4
20	5.6229e-002	4.3479e-005	2712.8	93.679
21	6.2979e-002	4.811e-005	1766.	63.979
22	7.3104e-002	8.7422e-005	1051.5	43.165
23	8.8291e-002	8.7592e-005	575.39	29.452
24	0.10829	9.026e-005	321.62	20.575
25	0.12829	8.7245e-005	243.38	15.697
26	0.14829	4.12e-005	223.24	13.445
27	0.16829	6.6975e-005	237.14	12.452
28	0.18829	2.0481e-005	264.47	12.075
29	0.2	1.274e-005	340.3	14.129

Şekil 3.31. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.



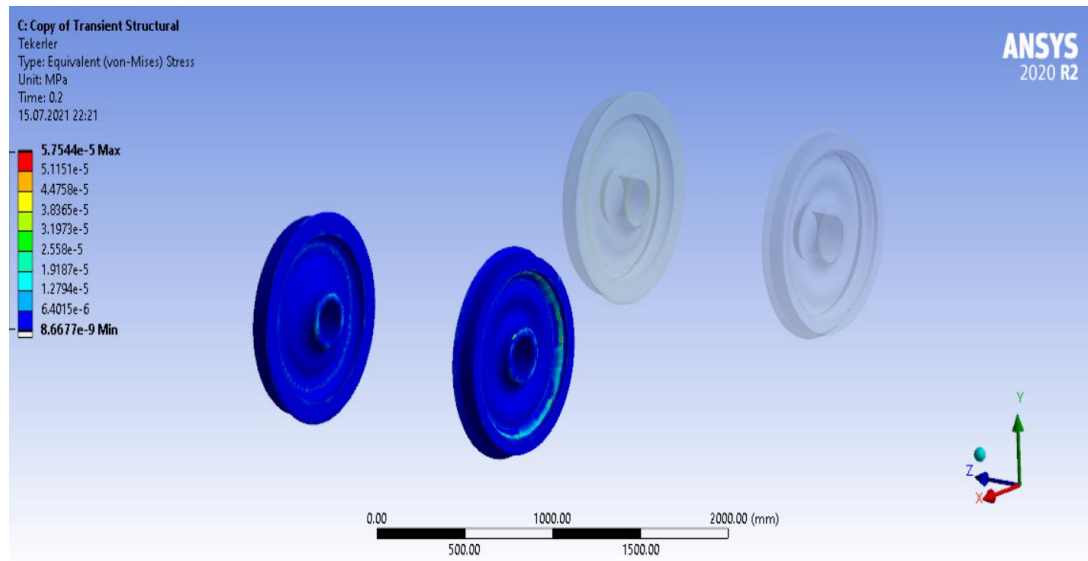
Şekil 3.32. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.

Ray deformasyon değerleri aşağıda gsterilmiştir.

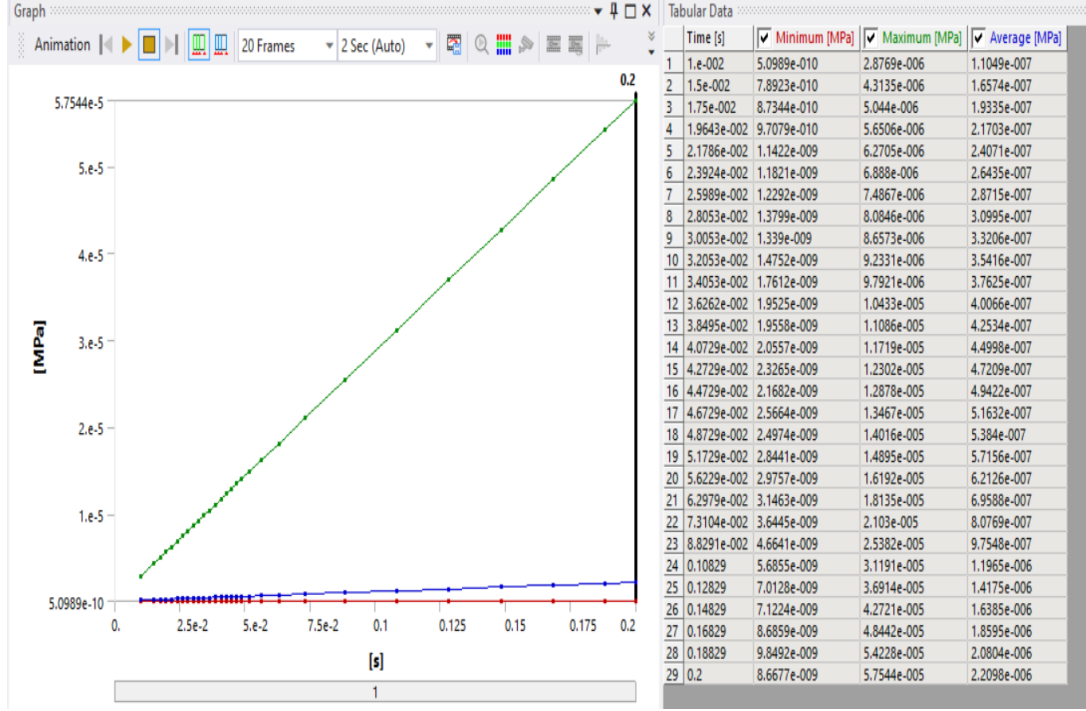


şekil 3.33. Ray deformasyon 0.2 saniye boyunca.

3.4.2. Teker Deformasyon/Stres Sonuçları



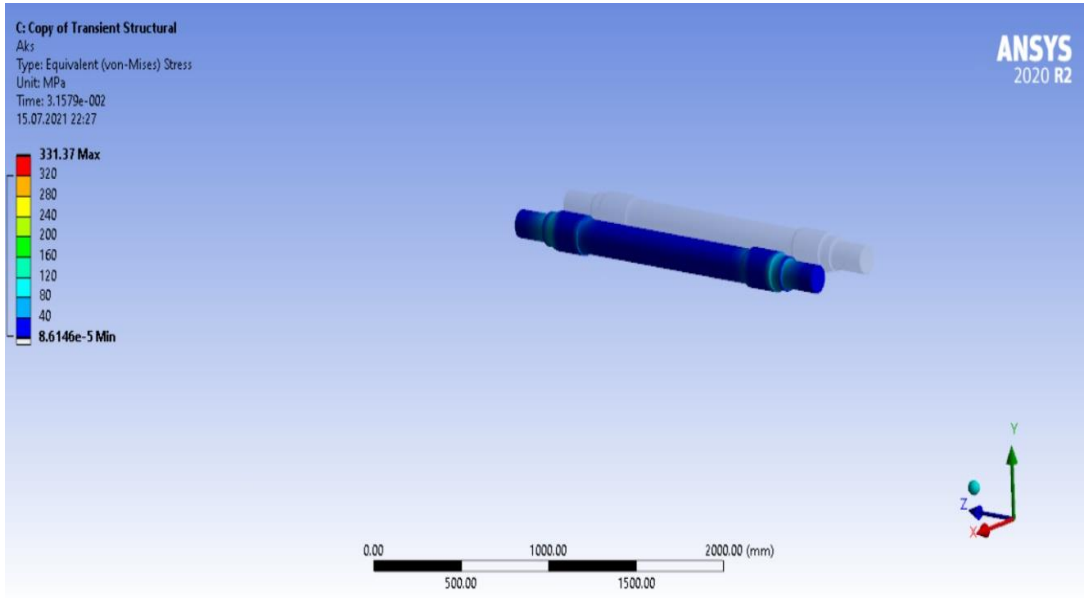
şekil 3.34. Tekerlek deformasyon 0.2 saniye boyunca.



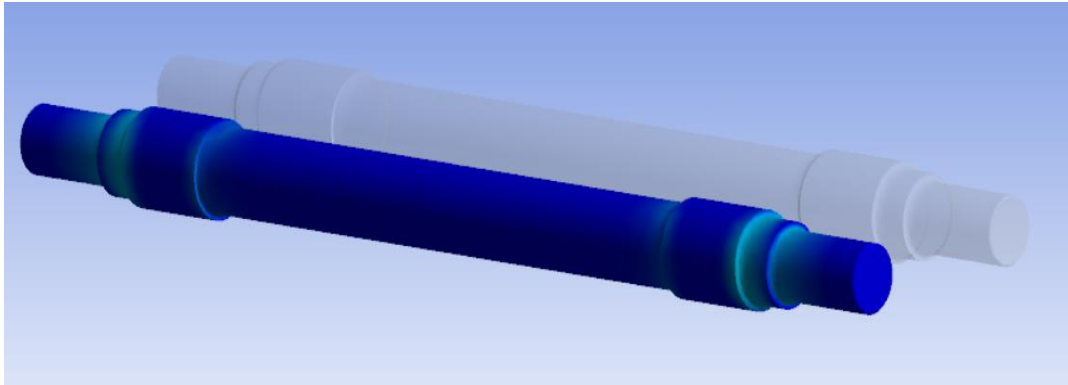
Şekil 3.35. Tekerlek deformasyon değerleri.

Tekerler üzerindeki streslerin 50 km/h hız ile birlikte raylara aktarıldığını söyleyebiliriz. Bu sebeple 0,2 saniyelik analizde teker üzerinde çok fazla stres çıkmaması olağandır. Teker üzerindeki stresler frenleme, aşırı yüklenme, aşırı sürtünme, uzun süreli kullanım gibi durumlarda ortaya çıkacaktır. Bu nedenle tekerler için en önemli hususun ömür parametresi olduğunu söyleyebiliriz. Uzun süreli kullanımlarda sürtünmenin de etkisi ile aşınmalar olacaktır. Bakım süresi, tren kullanım şekli, ortam koşulları teker ömrünü doğrudan etkilemektedir.

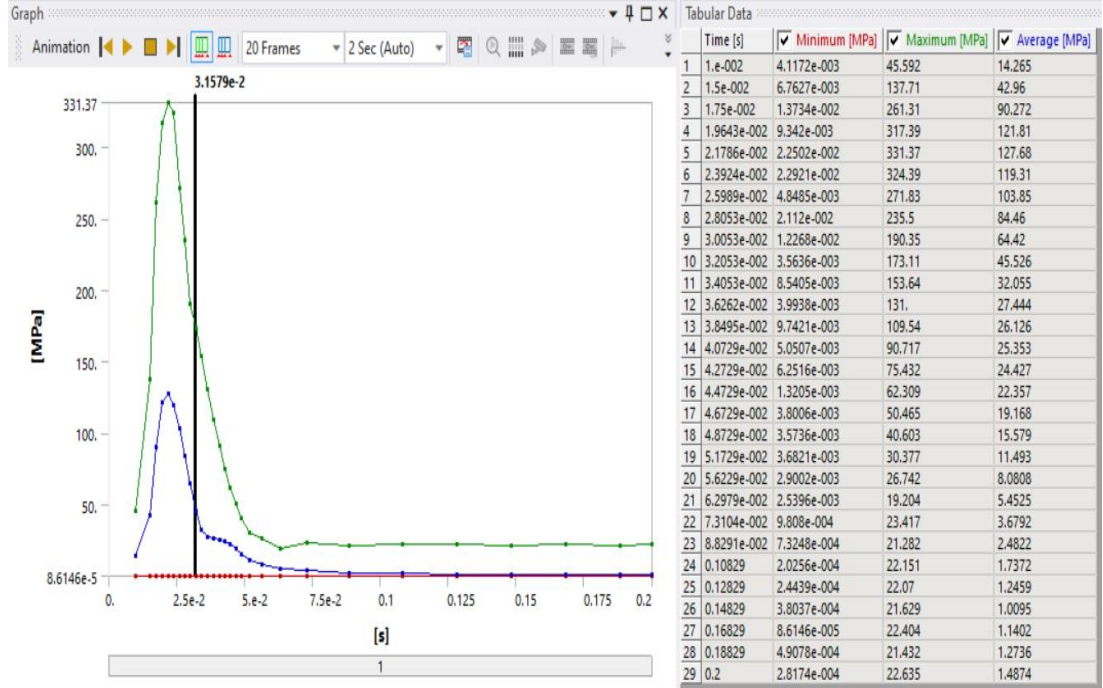
3.4.3. Aks Deformasyon/Stres Sonuçları



Şekil 3.36. Aks deformasyon analiz.



Şekil 3.37. Aks deformasyon.



Şekil 3.38. Aks deformasyon değerleri.

Görüldüğü üzere aks üzerinde oluşan maksimum stres 331.37 Mpa'dır. Ancak ray için geçerli olan husus aks için de geçerlidir. Yine hareketin başladığı ilk anda stresler henüz tekere ve oradan raylara aktarılmamıştır. Bu nedenle ilk anda aks ve ray üzerinde yüksek stresler görülmektedir. Bu nedenle analizin yaklaşık 4e-02 saniyeden sonraki kısmı ele alınmalıdır. Hareketin başlaması ile birlikte görülecektir ki oluşan stresler aks akma mukavemet değerinin oldukça altında kalmaktadır. Plastik deformasyon söz konusu değildir.

3.5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Malzemelerin akma değerleri ile oluşan Von-Misses gerilme değerleri karşılaştırıldığında belirlenen şartlar altında malzemenin oluşan streslere dayanıklı olduğunu söyleyebiliriz. Aks, tekerlek ve ray için plastik deformasyon söz konusu değildir. Ancak unutulmamalıdır ki özellikle tekerlek dayanımını etkileyen en önemli husus sürtünme ve buna bağlı ömür değeridir. Tekerlekler için mutlaka bir MTTF (Mean Time to Failure) çalışması yapılmalı, mümkünse Fatigue (ömür) analizi yapıp sonuçlar kullanım süresi göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

İlk yükleme sonrasında hareketin de başlaması ile bileşenler üzerinde oluşan en yüksek ortalama stresler aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Modeller üzerinde ortalama değerler.

Aks (MPa)	Tekerler (MPa)	Ray (MPa)
127.68	9.75e-02	142.2

BÖLÜM 4

TARTIŞMA

Yılmaz (2004) yapmış olduğu araştırmada günümüzde en güvenli ulaşım araçlarından biri olan demiryollarını dinamik olarak incelemiştir. Küreselleşme arttıkça toplumsal olarak ulaşım araçlarının önemi ve dolayısıyla güvenliğinin önemi de artmaktadır. Bu bağlamda trenler ray ve tekerleklerin etkileşimi sonucunda oluşan kuvvet ile hareket etmektedir. Söz konusu etkileşim aynı zamanda trenlerin güvenliğini de etkileyen bir unsur olmaktadır. Dinamik analiz uygulamalarında doğru sonuçlar elde edebilmek ve buna göre reaksiyon alabilmek için en uygun matematiksel modelin belirlenmesi oldukça önemlidir. Söz konusu araştırmada İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin üretmiş olduğu araçların dinamik olarak incelenmesi amacıyla ADAMS/Rail programı kullanılmıştır. Bununla birlikte tekerlek ray etkileşiminin yolcuların konforuna etkisini belirlemek amacıyla aracın gövdesinde ölçülen ivmeler ele alınmıştır. Bu çalışmada ise Cad Modelleme ve Ansys paket programında yararlanılarak azami gerilme ve maksimum deformasyon oranları incelenmiştir.

Yalçın (2006) tarafından yapılan çalışmada raylı sistemlerde oluşabilecek olumsuz etkileri minimuma indirmek, yol tasarımı ve rijit üstapı için uygun seçenekle belirlemek amacıyla uygun üstyapı bileşenleri ve tasarımın araştırılması amaçlanmaktadır. Söz konusu çalışma taşıt-yol bileşenleri ve bu unsurlara ilişkin dinamik nitelikler, sistemde meydana gelebilecek dinamik problemler için dinamik analiz yöntemleri ele alınmıştır. Bununla birlikte standart yol modeline ilişkin frekans tanım alanında analitik hesaplamalar yapılmıştır.

Özalp (2008) günümüzde en yaygın kullanılan toplu taşıma araçlarından biri olan kentiçi raylı sistemleri dinamik olarak incelemiştir. Günümüzde kentiçinde toplu ulaşım araçlarının ihtiyacının artmasıyla birlikte oluşan trafik sorunlarıyla birlikte raylı sistemlerin kentiçinde kullanımı da oldukça yaygın bir hâl almıştır. Raylı sistem

araçlarına olan talebin artmasıyla birlikte kapasite arttırımı yapılmakla birlikte raylı taşıtların hareketini sağlayan dingilleri binen yük de artış göstermektedir. Bununla birlikte raylı taşıtların üstyapısında da yorulma ve dinamik zorlanma gibi sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Söz konusu olumsuz durumlar nedeniyle raylı taşıtların bakım v onarım maliyetlerinde artış söz konusu olmaktadır. Bu tarz olumsuzlukların kaynağını belirlemek ve minimuma indirmek amacıyla rijit üst yapı ve balastlı üstyapı için uygun tasarım ve bileşenler araştırılmaktadır. Raylı sistemlerin esnek bir yapıda olması nedeniyle hız ve dingil yükünün artmasıyla birlikte titreşim ve zorlayıcı kuvvet de artış göstermektedir. Söz konusu kuvvetler ise raylı sistemleri olumsuz yönde etkilemektedir. Söz konusu olumsuz etkilerin en aza indirgenmesi amacıyla olumsuz etkilerin hangi frekans değerlerinde gerçekleştiğini tespit etmek oldukça önem arz etmektedir. Raylı sistemlerin doğal frekansı ve zorlayıcı kuvvetlerin frekansının eş zamanlı oluşması durumunda titreşim genliğini olumsuz yönde etkileyen rezonans titreşimleri oluşmaktadır. Söz konusu çalışmada demiryollarının modellenmesi ve buna ilişkin yöntemler analiz edilmiştir. Bu bağlamda standart yol modeli için analitik hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte söz konusu çalışmada oluşturulan model kapsamında traversin altında yer alan tabaka detaylı olarak gösterilmiştir. Söz konusu detaylandırma dikkate alınarak rijit üstyapı tiplerine ilişkin bir model oluşturulmuştur. Bu çalışmada ise söz konusu çalışmadan farklı olarak traversin altında yer alana tabaka ele alınmamaktadır.

Bayraktar (2010) yapmış olduğu araştırmada İstanbul Ulaşım Sanayi ve Ticaret A.Ş. kapsamında raylı taşıtların aks millerini analiz etmiştir. Raylı aracın titreşimini değerlendirmek için 16- serbestlik dereceli boji ve 6-serbestlik dereceli yarım raylı taşıt modelleri ve diferansiyel denklemleri oluşturmuştur. Raylı taşıtın aks milini incelemek amacıyla MATLAB-Simulink paket programı kullanılmıştır. Çalışmada tekerler setine çekiş testi uygulanmış ve testin sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek kritik hız değerleri tespit edilmiştir. NASTRAN paket programından yararlanılarak ABB aracının tekerlek seti için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Aks milinin sonlu elemanlar analizi ve çekiş testlerinden elde edilen veriler beraber incelenmiştir. Aracın gerçek hatta farklı hızlarda seyrederken aks mili ve bojisinin titreşim değerlerini belirlemek amacıyla

ivme, yerdeğişimleri, zaman ve frekans parametreleri analiz edilmiştir. Çalışmada İstanbul Ulaşım A.Ş.'ye ait raylı taşıtların aks millerinde oluşan kırılmaların analiz edilmesi amacıyla söz konusu firmadan ilgili veriler alınmış ve laboratuvar ortamında incelendiği varsayılmıştır. Bu bağlamda araştırma sonucunda kırılmaların oluştuğu sürece kadar gidilen km değerleri aks millerinin kullanım ömrü olarak tanımlanmakla birlikte Tramvay ve hafif metro araçları için ayrı logaritmik ömür denklemleri oluşturulmuştur. Bununla birlikte Palmgren-Miner teoreminden faydalanılarak gerilmeler ölçülmüştür. Titreşimin etkisi doğrultusunda aks milinin kullanım süresinin %10, %50 ve %90 güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu oranların hesaplanmasında titreşim etkisi ile oluşan eğilme gerilmeleri de dikkate alınmıştır. Bu çalışmada söz konusu çalışmadan farklı olarak 4 farklı yükleme koşulları belirlenmiş ve her biri için ayrı ölçüm yapılmıştır. Bu çalışmada sonlu elemanlar modeli oluşturmak amacıyla söz konusu çalışmadan farklı olarak ANSYS paket programından yararlanılmıştır.

Arlı ve Öztürk (2014) tarafından yapılan çalışmada demiryolu tasarımında geleneksel bir yöntem olarak kullanılan statik analiz ve dinamik etkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Statik analiz yöntemi klasik bir yöntem olması nedeniyle yüksek hızlı demiryollarında kullanılamamaktadır. Statik analiz yönteminde raylı taşıtın doğal frekansı ve tahrik frekanslarının eş zamanlı oluşması durumunda meydana gelen rezonans ve dinamik yük değerlerinin tespit edilebilmesi mümkün olmaması nedeniyle dinamik analiz yöntemi kullanılmaktadır. Söz konusu çalışmada bu çalışmada da kullanılmış olan ANSYS paket programından yararlanılarak nümerik analiz yapılmış ve dinamik etkiler tespit edilmiştir. Bununla birlikte demiryolunda ölçümler yapılmış ve demiryolunun öz frekansı ile dinamik tepkisi belirlenmiş ve oluşturulan model ile karşılaştırılarak doğrulama yapılmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Ray ve teker; en çok tercih edilen ulaşım araçlarından biri olan demiryollarının iki önemli materyalidir. Bahsi geçmekte olan bu materyallerin üretim aşamaları ve üretim aşamalarının sonucunda ortaya çıkmakta olan ürünün kalitesi oldukça fazla önem arz etmektedir. Birbirlerine entegre olan bu iki ekipmanın birbirileri arasındaki bütünsellik ve etkileşim üzerinde durulması; demiryolu ulaşımının gün geçtikçe, ilerleyen teknolojiyle beraber gelişmesine katkı sunmaktadır.

Teker ile ray sürekli olarak temas halindedir ve bu temas hali birtakım sorunları da beraberinde getirebilmektedir. Bu nedenle temas durumunun minimum düzeyde sorun çıkaracak hale getirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda ray profilleri, ray çeşitleri, ray üretimi, rayların yerleştirilmesi, rayların mekanik ve kimyasal özellikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yalnızca rayı incelemek birbirine bağlı durumda olan bu iki ekipman için eksik bilgi edinilmesine sebep olacaktır. Bu nedenle bahsi geçmekte olan hususlar tekerlek üretimi, tekerler malzemeleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Tüm bunların yanı sıra ray ve tekerin birbirleriyle olan etkileşimini açıklayan temas durumu da analiz edilmiştir.

Tekerin iç teker yuvarlağı ve rayın dış kenar yuvarlağı arasında meydana oluşan kontak yapı itibarı ile, sonlu elemanlar kontak analizi sonuçlarının incelenmesi neticesinde, yüksek seviyede “non-linearity” içerdiği görülmektedir. Sonuç olarak bu raporda elde edilen ray-teker ilişkilendirme analiz sonuçları, birbirleri ve fiziksel özellikleri ile oldukça iyi örtüşmektedir. Analiz sonuçlarına bakılarak, kontak durumu, nüfuzu ve basıncı oldukça küçük, (tüm tekerler düşünüldüğünde) bir elipsi andıran bir alanı kapsamaktadır, buda zaten arzu edilen ray-teker kontak durumudur. Normal çalışma şartlarında ray ile tekerin arasındaki temas yüzeyinin en az olmasını isterken aynı zamanda oluşabilecek gerilme ve gerilmelerin makul seviyelerde olması arzu edilmektedir. Kontak alanının büyümesi, düzleşmesi rayın ömrünü

azaltıcı rolde kontak yüzeyini artıracak buda mekanik ray bozulmaları beraberinde getirecek ve dolayısı ile çalışma verimini düşürmede rol oynayacaktır. Son olarak bu analiz mevcut sonlu elemanlar ray-teker kontak literatürü incelendiğinde, kalite ve kontağın meydana geldiği mevki düşünülürse bilimsel olarak oldukça öne çıkacak kalite ve niteliktedir. Çıkan sonuçlar sonrasında vagonun ilk kalkış anında statik olarak yük bir noktada toplandığı için akma mukavemeti değerleri yüksek çıkmıştır. Vagon harekete geçtiğinde ray ve tekerlek üzerindeki akma dayanımı değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu doğru bir durumdur. Tekerlek ve ray aşınması von mises gerilmeleri incelendiğinde vagon yüklemelerinin dingil basıncı altında olduğu durumlarda yüksek olmadığı görülmüştür. Demiryolu araçlarının ani hızlanma ve yavaşlama hareketlerini azaltmaları hem altyapı hem kendi üzerindeki akma mukavemet değerlerini azaltacağı görülmüştür. Vagon tekerleklerini verimli ve uzun ömürlü kullanmak için vagon hareket yönleri değiştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Bonnett, C.F., “Practical Railway Engineering 2. Baskı”, London, (2005).
2. Tulumtaş, H., “Ray Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler ve Türkiye’de Üretim İmkanları”.
3. MEGEP, “Raylı Sistemler Teknolojisi Raylar ve Bağlantılar” Ankara, (2008).
4. Öztürk, Z. ve Arlı, V., “Demiryolu Mühendisliği” İstanbul, (2009).
5. Sözal, S. S., “Yol Bilgisi”, *TCDD Eskişehir Eğitim Merkezi Yayını*, (2005).
6. Schoech, W., “Applying Specific Rail Profiles by Grinding – A Proven Method to Solve Problems”, (2015).
7. Kozak, M., "Demiryolunda rayların birleşim noktaları ve özelliklerinin araştırılması", *Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7: 2 (2011).
8. Kalaycıoğlu, O., “Kardemir’de ray üretiminde iyileştirmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya, (2006).
9. Ertan, S., “Farklı kalitedeki rayların mikroyapı, kalinti gerilme ve kırılma tokluğu özelliklerinin incelenmesi”, (2021).
10. Yurddaş, M., “Kanister saclarında, köşebentlerinde ve raylarında hafifletmeye yönelik şekil ve boyut eniyilemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2020).
11. Yetişken, Y., Ekmekçi, İ. ve Şadoğlu, N., "Ray çeliği üreten bir endüstri tesisinde üretim etüdü", (2016).
12. Çuğ, H., “Döküm yöntemi ile tren tekerleğinin üretilebilirliğinin araştırılması”, Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği*, Karabük, (2009).
13. Tunna, J., Perez, J. ve Sinclair, J., “A review of wheel wear and rolling contact fatigue”, *Journal of Rail and Rapid Transit*, 221 (2): 271-289 (2006).
14. Popov, V. L., “Contact mechanics and friction”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, New York, (2010).
15. Kalker, J. J., “Rolling contact phenomena: Linear elasticity”, *Springer*, Vienna, (2000).

16. Ferdinand P., Russell E., Johnston, J. R., “Cisimlerin mukavemeti 1. Baskı”, (2003).
17. Yücel, E. ve Göloğlu, C., “Raylı sistemlerde tekerlek ray çifti arasındaki temas modellerinin değerlendirilmesi”, *7 th International Advanced Technologies Symposium (LATS’13)*, İstanbul, (2013).
18. Andersson, C. ve Johansson, A., “Prediction of rail corrugation generated by three-dimensional wheel-rail interaction”. *Wear*, 257 (3-4): 423-434 (2004).
19. Rovira, A., Roda, A., Marshall, M.B., Brunskill, H. ve Lewis, R., “Experimental and numerical modelling of wheel-rail contact and wear”. *Wear*, 271 (5-6): 911-924 (2011).
20. Dumitriu, M. “Modelling the Geometric Contact Between Wheels and the RAILS of a Track with Horizontal Irregularity”, *Fiability & Durability/Fiabilitate si Durabilitate*, 1, (2013).
21. Jalili, M. M. ve Hassan S., "Wheel/rail contact model for rail vehicle dynamics", *Comptes Rendus Mecanique*, 339 (11): 700-707 (2011).
22. Megson, T. H. G., “Aircraft structures for engineering students”, *Butterworth*, Heinemann, (2016).
23. Yılmaz, D., "Bir raylı aracın dinamik analizi." Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).
24. Yalçın, N. S., "Demiryolu üstyapısının dinamik analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
25. Özalp, O., "Kentiçi raylı sistemlerin üstyapısı ve dinamik analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2008).
26. Bayraktar, M., "Raylı taşıtların dingillerinin dinamik analizi" Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).
27. Arlı, V. ve Zübeyde Ö., "Balastlı hatta ray-tekerlek titreşimlerinin demiryolu dinamiğine etkisinin belirlenmesi." *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, 20: 3 (2014).
28. Eroğlu, M., “Raylı sistemlerde ray ve teker arasındaki temas analizinin ansys ortamında incelenmesi”, Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği*, Karabük, (2014).
29. Wen, Z., Jin, X. ve Zhang, W., “Contact—impact stress analysis of rail joint region using the dynamic finite element method, in: Proceedings of the Sixth International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems”, Gothenburg, 287– 293 (2003).

30. Telliskivi, T. ve Olofsson, U., “Contact mechanics analysis of measured wheel–rail profiles using the finite element method”, *J. Rail Rapid Transit*, 215: 65-72 (2000).
31. Ringsberg, J. M., Bjarnehed, H., Johansson, A. ve Josefson, B.L., “Rolling contact fatigue of rails finite element modelling of residual stresses, strains and crack initiation”, *IMechE J. Rail Rapid Transit*, 214: 7-19 (2000).
32. Yessaulov, V., Kozlovsky, A., Sladkovsky, A., et al., “Studies into contact interactions of elastic bodies for improvement of wheels and rails”, Contact Mechanics IV, *WIT Press*, UK, 463-472 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Erdim Ertekin, ilk ve ortaöğrenimini Zonguldak'ta tamamladı. Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği (İngilizce) Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 2018 yılında mezun oldu. 2018 yılında İmbat Madencilik Firmasında Demiryolu Makineleri Mühendisi olarak göreve başladı. 2019 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2021 yılında tamamladı. 2020 yılında Anapet Uluslararası Nak. Pet. İnş. San. ve Tic. A.Ş Firması'nda Vagon Filo Bakım Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir.

