



**DEMİRYOLU RAY VE TEKERLEK ÇİFTİNİN
FARKLI TEMAS KONFIGÜRASYONLARININ
İNCELENMESİ**

İsmail ŞEN

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**DEMİRYOLU RAY VE TEKERLEK ÇİFTİNİN FARKLI TEMAS
KONFIGÜRASYONLARININ İNCELENMESİ**

İsmail ŞEN

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

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

İsmail ŞEN tarafından hazırlanan “DEMİRYOLU RAY VE TEKERLEK ÇİFTİNİN FARKLI TEMAS KONFIGÜRASYONLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cihan MIZRAK (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ (KÜ)

.....

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.”

İsmail ŞEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEMİRYOLU RAY VE TEKERLEK ÇİFTİNİN FARKLI TEMAS KONFIGÜRASYONLARININ İNCELENMESİ

İsmail ŞEN

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

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi. Harun ÇUĞ

Temmuz 2021, 45 sayfa

Demiryolu ray ve tekerleklerinin birbiri üzerinde kontak halinde çalışması sonucunda ray ve tekerlek yüzeylerinde mikro veya makro düzeyde yüzey ve yüzey altı hasarları meydana gelmektedir. Yapılan bu çalışmada yuvarlanmalı ve kaymalı aşınma prensibi ile ray (900A ve R350HT) ve tekerlek (R8T) malzemelerinde sürtünmeli, yuvarlanmalı ve kaymalı temas aşınmasına bağlı oluşan yüzey ve yüzeyaltı hasarları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Deneysel veriler sadece kuru temas koşullarında oluşturulmayıp, su ve gres gibi farklı ortam ve çalışma koşullarında ki temaslarda göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Ayrıca, demiryolu çelik tekeri ile demiryolu çelik rayı etkileşimi ve diğer birbiri üzerinde ve birbirleri ile çizgisel veya noktasal kontak halinde çalışan farklı endüstriyel malzemelerin sürtünmeli, yuvarlanmalı ve kaymalı temas aşınmasına bağlı yorulma dayanımlarının ve yüzey aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi, farklı

demiryolu ray – tekerlek etkileşimlerin çekiş kuvveti verilerine etkisi, ray ve tekerlek aşınma verileri, yüzey ve yüzey altı çatlak analizleri, sürtünme katsayısı ve sertlik, aşınma oranı ve yüzey hasarları, aşınma kalıntıları, ray ve tekerleklerin aşınmasını engellemek için yapılan yüzey modifikasyonlarının test edilmesi ve değerlendirilmesi gibi durumların incelenmesi aşınma, güç ve enerji, titreşim analizi , çalışma ömür çerimi analizi yapılabilen ikiz disk test cihazının modellenmesi ve projelendirilmesi hususunda çalışılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda; Malzemelerdeki kayma oranı arttıkça sürtünme katsayısı (çekiş katsayısı) ve aşınma hacmi arttı; kayma oranının artması ile oksidasyon aşınması ve malzemenin yorulmasından kaynaklı oluşan aşınma hasarlarının arttığı; su ve gresli çalışma koşullarının aşınması için kuru ortam koşullarına göre daha yüksek enerji gerektirdiği ve malzeme yüzeylerinde oluşam aşınma kalıntılarının büyük bir kısmının Fe_2O_3 olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Ray- tekerlek kontağı, ikiz disk testi, aşınma, triboloji, yüzey ve yüzeyaltı hasarı, temas yorgunluğu

Bilim Kodu : 91421, 91434, 91439

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF DIFFERENT CONTACT CONFIGURATIONS OF RAILWAY TRACK AND WHEEL PAIR

İsmail ŞEN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Harun ÇUĞ

July 2021, 45 pages

As a result of the rail and wheels working in contact with each other, micro or macro level surface and subsurface damages occur on the rail and wheel surfaces. In this study, surface and subsurface damages due to friction, rolling and sliding contact wear in rail (900A and R350HT) and wheel (R8T) materials were examined and evaluated with the principle of rolling and sliding wear. Experimental data were not created only in dry contact conditions, but were evaluated considering the contacts in different environments and working conditions such as water and grease.

In addition, the interaction between the railway steel wheel and the railway steel rail and the determination of the fatigue strength and surface wear characteristics of different industrial materials working on each other and in linear or point contact with each other due to friction, rolling and sliding contact wear, traction force of different railway rail - wheel interactions. Investigation of conditions such as the effect on data, rail and wheel wear data, surface and subsurface crack analysis, coefficient of friction

and hardness, wear rate and surface damage, wear residues, testing and evaluation of surface modifications to prevent the wear of rails and wheels. It has been studied on modeling and projecting of twin disc test device, which can perform energy, vibration analysis, operating life cycle analysis.

As a result of the evaluations made; As the slip rate in the materials increases, the friction coefficient (traction coefficient) and the wear volume increase; As the slip rate increases, the wear damage caused by oxidation wear and fatigue of the material increases; It has been observed that water and greasy working conditions require higher energy for wear than dry conditions, and most of the wear residues on the material surfaces are Fe₂O₃.

Key Word : Rail-wheel contact, twin disc test, wear, tribology, surface and subsurface damage, contact fatigue

Science Code : 91421, 91434, 91439

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Harun UĞ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgmeden aileme yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
DEMİRYOLU RAYLARI.....	4
2.1. RAY TÜRLERİ.....	4
2.1.1. Doğal Sertlikteki Raylar	4
2.1.2. Tavlanmış Raylar.....	5
2.1.3. Yüksek Alaşımli Raylar	5
2.2. RAYLARIN MARUZ KALDIĞI ETKİLER.....	7
2.2.1. Yuvarlanma Temas Yorulması	7
2.2.2. Rayların Mantarlarında Meydana Gelen Çatlaklar	7
2.2.3. Rayların Seyir Temas Yüzeyinde Oluşan Çatlaklar.....	7
2.2.4. Kılavuzlama kuvvetlerinin Etkileri.....	8
2.2.5. Tekerlek üzerindeki düzleşmeler ile oluşan dinamik kuvvetlerin etkisi...8	
2.2.6. Isı Farkından Dolayı Oluşan Kuvvetler.....	8
2.2.7. Tekerleklerin ivmelenme ve frenleme kuvvetleri ile oluşan zorlamalar...9	
2.2.8. Rayların üretimi esnasında oluşan gerilmeler	10

2.3. DEMİRYOLU RAY-TEKERLEK ÇİFTİNİN AŞINMA DAVRANIŞLAR..	10
2.3.1. Kurplardaki yanal ray aşınmaları.....	10
BÖLÜM 3	12
DEMİRYOLU TEKERLEĞİ VE AŞINMA DURUMU.....	12
BÖLÜM 4	17
DEMİRYOLU RAY-TEKERLEK TEMAS MEKANİĞİ	17
BÖLÜM 5	22
DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	22
5.1. İKİZ DİSK TEST CİHAZININ TASARIMI	22
5.1.1. İkiz Disk Test Cihazının Çalışma Prensibi.....	24
5.2. DENEY NUMUNELERİ	31
5.3. DENEY KOŞULLARI.....	32
BÖLÜM 6	34
DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	34
6.1. ÇEKİŞ KUVVETİ VERİLERİ	34
6.2. AŞINMA ORANI VE YÜZEY HASARI.....	35
6.3. YÜZEYALTI HASAR ANALİZİ.....	36
6.4. AŞINMA KALINTILARI.....	38
6.5. RAY- TEKERLEK KONTAK ANALİZİ	39
BÖLÜM 7	41
SONUÇLAR.....	41
KAYNAKLAR	42
EK AÇIKLAMALAR A. ANALİZ SONUÇLARI	43
ÖZGEÇMİŞ	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Üçüncü cisim malzemesi olduğu durumda R8T Tekerleğinde ve 900A rayında oluşan sürünme eğrisi.....	3
Şekil 2.1. Farklı kalitedeki rayların 300 metre yarıçaplı kurptaki aşınma davranışlarının karşılaştırılması	6
Şekil 2.2. Raylarda oluşan gerilmeler	9
Şekil 2.3. UIC60 Tipi Rayların Kurplardaki Aşınma Davranışları.....	11
Şekil 3.1. Demiryolu tekerleğinin üretim prosesi.....	13
Şekil 4.1. Tekerlek-ray kontağındaki farklı temas yüzeyleri	17
Şekil 4.2. Aşınmamış (a) ve aşınmış (b) ray ve tekerleklerdeki temas alanları.	18
Şekil 4.3. Ray tekerlek temasında oluşan kayma ve yapışma bölgeleri.....	19
Şekil 4.4. Kurplardaki temas basınçları.....	20
Şekil 4.5. Temas bölgesindeki deformasyonların dağılımı.	21
Şekil 4.6. Temas bölgesindeki gerilmelerin dağılımı.....	21
Şekil 5.1. Tasarlanan ikiz disk test cihazının Render görüntüsü-1.	25
Şekil 5.2. Tasarlanan ikiz disk test cihazının Render görüntüsü-2	26
Şekil 5.3. Test cihazındaki hareket mekanizması.....	27
Şekil 5.4. Deney numuneleri ve tahrik millerinde oluşan gerilmeler.	30
Şekil 5.5. Deney numuneleri ve tahrik millerinde oluşan toplam deformasyonlar..	30
Şekil 5.6. Malzemelerde sıcaklığa bağlı oluşan deformasyonlar.....	31
Şekil 5.7. Deney numunelerin hazırlanması.....	32
Şekil 5.8. SUROS test düzeneği	33
Şekil 6.1. Kuru temas koşullarında oluşan çekiş katsayısı.....	34
Şekil 6.2. Sulu koşullardaki çekiş katsayısı (1500 MPa, %1 sürünme, 400rpm).....	35
Şekil 6.3. Malzemelerde %2,38 kaymada oluşan çatlaklar (a) ray (b) tekerlek.....	36
Şekil 6.4. Malzemelerde oluşan yüzey ve yüzeyaltı hasarlar.....	37
Şekil 6.5. Aşınma kalıntıları.....	39
Şekil 6.6. Analiz sonucu.....	40
Şekil Ek A.1. Deney numunelerinde oluşan gerilmeler.....	44
Şekil Ek A.2. Deney numunelerinin termal analizi.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Farklı tipteki tekerlek malzemelerinin kimyasal bileşimleri	14
Çizelge 3.2. Farklı tipteki demiryolu tekerleklerinin mekanik özellikleri.....	15

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Fe_2O_3 : Demir Oksit

Cr : Krom

Mn : Mangan

km : kilometre

mm : milimetre

Mpa : megapaskal

$^{\circ}C$: sıcaklık

Nm : tork

h : saat

Mo : molibden

T : Periyot

w : açısal hız

n : devir

rpm : devir birimi

KISALTMALAR

RCF : Yuvarlanmalı temas yorgunluğu

HDMI : High-Definition Multimedia Interface (Yüksek çözünürlüklü Multimedya arayüzü)

PLC : Programmable Logic Controller (Programlanabilir mantıksal denetleyici)

AC : Alternative current (Alternatif akım)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demiryollarında ray ve tekerlek etkileşimi sonucunda ray ve tekerleklerde yuvarlanmalı temas yorgunluğu meydana gelmektedir. Yuvarlanmalı temas yorgunluğu (RCF), bütün küresel demiryolu işletmeleri için yüksek önem arz etmektedir. Yuvarlanmalı temas yorgunluğu (RCF)'i kontrol altına almak için önemli olan temel motivasyon ray ömürlerinin uzatılması ve ray tekerlek kontağı sonucu ray ve tekerlek yüzeylerin de oluşan mikro veya makro düzeyde parça kopmasını engellemekle ilgilidir. RCF'yi azaltmak için yapılan işlemler, RCF dirençli ray sınıfının seçilmesi, ray ve tekerleklerde RCF kaynaklı hasarları azaltmak için önleyici bakım işlemleri, ray ve tekerlek arasındaki sürtünmenin uygun şekilde yönetilmesidir. Uzun yıllar boyunca RCF'nin neden ve sonuçları birçok çalışmaya konu olmuşsa da, sınırlı sayıda yapılan çalışmada sürtünme yönetiminin RCF üzerindeki etkileri araştırılmıştır. RCF gelişimi iki gödenin (ray ve tekerlek) birbiri üzerindeki kaymalı temasında gövdeler arası iletilen yüksek teğetsel kuvvetlerle ilgilidir. Oluşan bu teğetsel kuvvetler ray ve tekerlek yüzeylerindeki profil uyumsuzluğu nedeniyle oluşan kaymalar, tekerlek ve raylara gelen dikey yükler, raylı sistem taşıtları tarafından raylara iletilen ivmelenme ve frenleme kuvvetleri sebebiyle oluşmaktadır.

Ray ve tekerlek arasındaki sürtünme seviyeleri bu teğetsel kuvvetlerin gelişmesine büyük katkıda bulunur. Ray ve tekerlekler bu kuvvetlere dayanamazsa RCF'nin gelişmesi kaçınılmaz olacaktır. RCF'nin gelişimi iki aşama halinde gerçekleşmektedir. İlk olarak malzeme yüzeyinin oluşan teğetsel kuvvetlere dayanamayıp plastik deformasyon sonucu malzemede ilk çatlak başlangıcının oluşumu, ikinci aşama ise oluşan bu çatlağın ilerlemesidir.

RCF hasarları esas olarak ray yüzeyinde meydana gelen çatlaklar şeklinde kendini göstermektedir. RCF yüzey çatlaklarının ilerleme davranışları iki ayrı sınıfta

değerlendirilmektedir. İlk sınıfta değerlendirilen çatlak ilerleme tipi, oluşan çatlakların malzeme yüzeyinde birkaç mm ilerledikten sonra komşu çatlaklarla birleşip ray yüzeyinden parça kopması şeklinde kendini gösterir. İkinci sınıfta değerlendirilenler ise oluşan çatlakların ray mantarından aşağıya yönelip ray kopması şeklinde kendini gösterirler. Demiryolu tekerleğine uygulanan yağlayıcılar ve sürtünme yönetiminde kullanılan malzemeler aşınmamış ray yüzeyine uygulandığında RCF'nin oluşumunu engellediğini yapılan çalışmalarda belirlenmiştir [1].

Tekerlek ve rayların aderans sürtünme karakteristikleri demiryolu taşıtlarının ivmelenme ve frenleme performanslarını geniş ölçüde etkilemektedir. Demiryolu ray ve tekerlek kontakta yuvarlanma ve kayma olayları aynı temas bölgesinde ortaya çıkmaktadır. Kurplarda ise tekerlek bodenlerinin ray mantarına teması sonucu malzemede büyük kayma hareketi oluşmaktadır. Malzemelerde oluşan bu kayma hareketleri de raylarda RCF'nin gelişmesine neden olmaktadır. Aderans sürtünme oranının artmasıyla demiryolu taşıtlarının çekiş ve frenleme performansları artmakta, yorulma mukavemeti ise azalmaktadır.

Demiryolu tekerlek ray temas davranışlarının incelendiği zaman karmaşık olmasının sebebi kontak anında üçüncü bir malzemenin ray ve tekerlek arasındaki temasa dahil olmasıdır. Ray ve tekerlek arasındaki temasa dahil olan doğal veya yapay malzemeler;

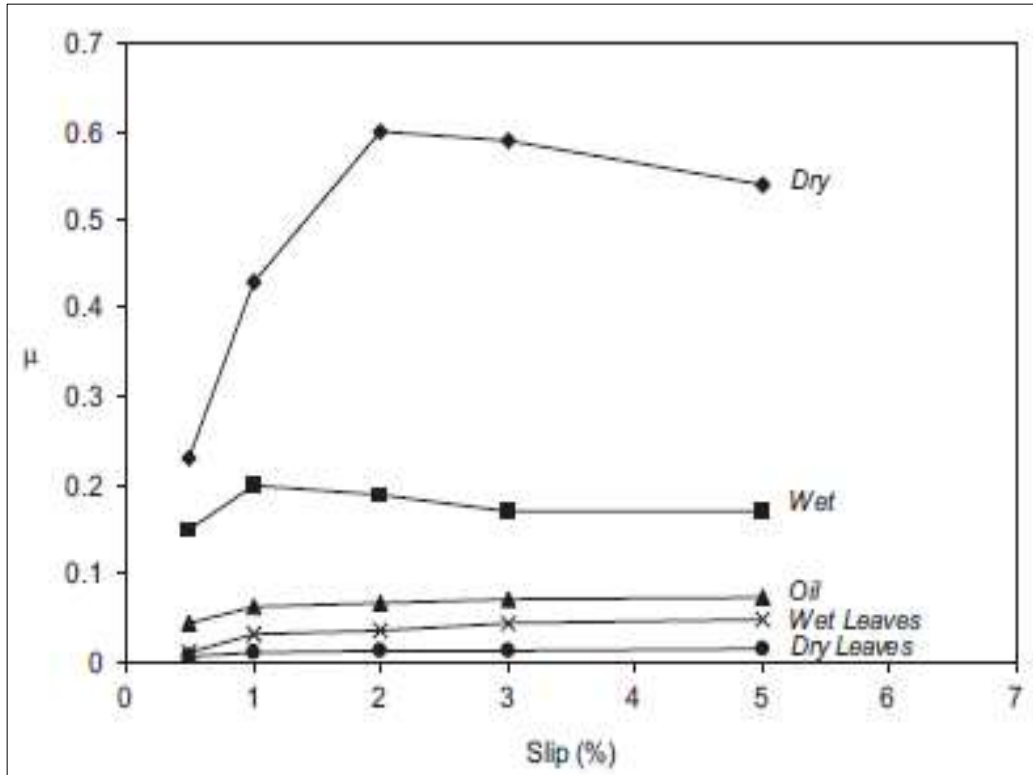
1. Yapraklar, su, balast tozu ve doğal malzemeler
2. Aderans arttırıcı kum
3. Yağlayıcılar (gres vb.)
4. Katı veya sıvı halde bulunan sürtünme düzenleyiciler

Su, gres yağı, sürtünme düzenleyiciler vb. üçüncü cisim malzemelerin ray – tekerlek kontakta dahil olmasıyla farklı bir aşınma eğrisine sahip oldukları gözlenmiştir. Bu durumun sebebi üçüncü cisim malzemelerin temas sırasındaki enerji dağılımlarını ve aşınma mekanizmalarında değişikliğe yol açmasıdır.

Çekiş katsayısı her zaman temas koşullarının bir sonucudur ve sürekli olarak değişkenlik göstermektedir. Ray ve tekerlek temasında kayma oranı değiştikçe çekiş katsayısı da değişir. Bu nedenle sürünme eğrilerine ihtiyaç vardır. Ray tekerlek

kontakına dahil olan üçüncü cisim malzemeleri çekiş katsayısını ve aşınma oranlarını değiştirmektedir.

Üçüncü cisim malzemeleri önceden hasarlı ray ve tekerlek yüzeylerinde hidro-basınçlandırmaya sebep olmaktadır. Hidro-basınçlandırma ve çatlak yüzeyi yağlama işlemleri, sıvı malzemelerin (örneğin su vb.) ve yağlayıcıların önceden mevcut RCF sonucu oluşan çatlaklara girmesi ve ray tekerlek temas basıncı altında ilerlemesi hızlandırılmış çatlak büyümesine sebep olmaktadır. Bu hızlandırılmış çatlak büyümesi ray ve tekerleklerde parçalanmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple tekerlek ve ray yüzeylerine nüfus ettirilen herhangi bir sıvı malzeme ağırlaştırılmış RCF çatlaklarına sebep olmaktadır.



Şekil 1.1. Üçüncü cisim malzemesi olduğu durumda R8T tekerleğinde ve 900A rayında oluşan sürünme eğrisi [2].

BÖLÜM 2

DEMİRYOLU RAYLARI

Raylar demiryolları için hareket yüzeyi ve kılavuzlayıcı ekipmanlardır. Raylar dinamik ve statik yüklere maruz kalırlar ve bu maruz kaldıkları bu yükleri bünyelerinde taşırlar veya diğer demiryolu üstyapı elemanlarına iletirler. Demiryolu rayları ağır tonajlı hatlarda yaklaşık 35-ton dingil ağırlığına, yüksek hızlı raylı sistem hatlarında ise yaklaşık 350 km/h hızlarla karşılaşılırlar. Bu nedenle demiryolu raylarından belirli özellikler beklenmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır;

1. Yüksek aşınma mukavemeti
2. Yüksek akma dayanımı, çekme dayanımı
3. Hassas yüzey kalitesi
4. Yüksek yorulma mukavemeti
5. Yüksek sertlik
6. Yüksek kaynak kabiliyeti
7. Ray profilinde üretim sırasında düşük tolerans
8. Yüksek gevrek kırılma mukavemeti

2.1. RAY TÜRLERİ

2.1.1. Doğal Sertlikteki Raylar

Genellikle raylar doğal sertlikte haddeme yöntemi ile imal edilirler. Perlitik doğal sertlikteki 900A kalite raylar, düz demiryolu hatlarında 100 milyon ton ağırlık taşıdığı yüksekliğinde 0,7-1 mmlik ve 600 metre yarıçaplı kurplarda yüksekliğinde 2-3 mmlik bir aşınma gösteririr. 600 metreden daha küçük yarıçaplı kurplarda ise aşınma direncinin yeterli olmaması hasabiyle kullanılmamaktadır. Perlitik rayların

çekme mukavemetleri 200 Mpa oranında yükdeilmesi aşınma dayanıklılıklarını %50 oranında yükseltecektir [4].

2.1.2. Tavlanmış Raylar

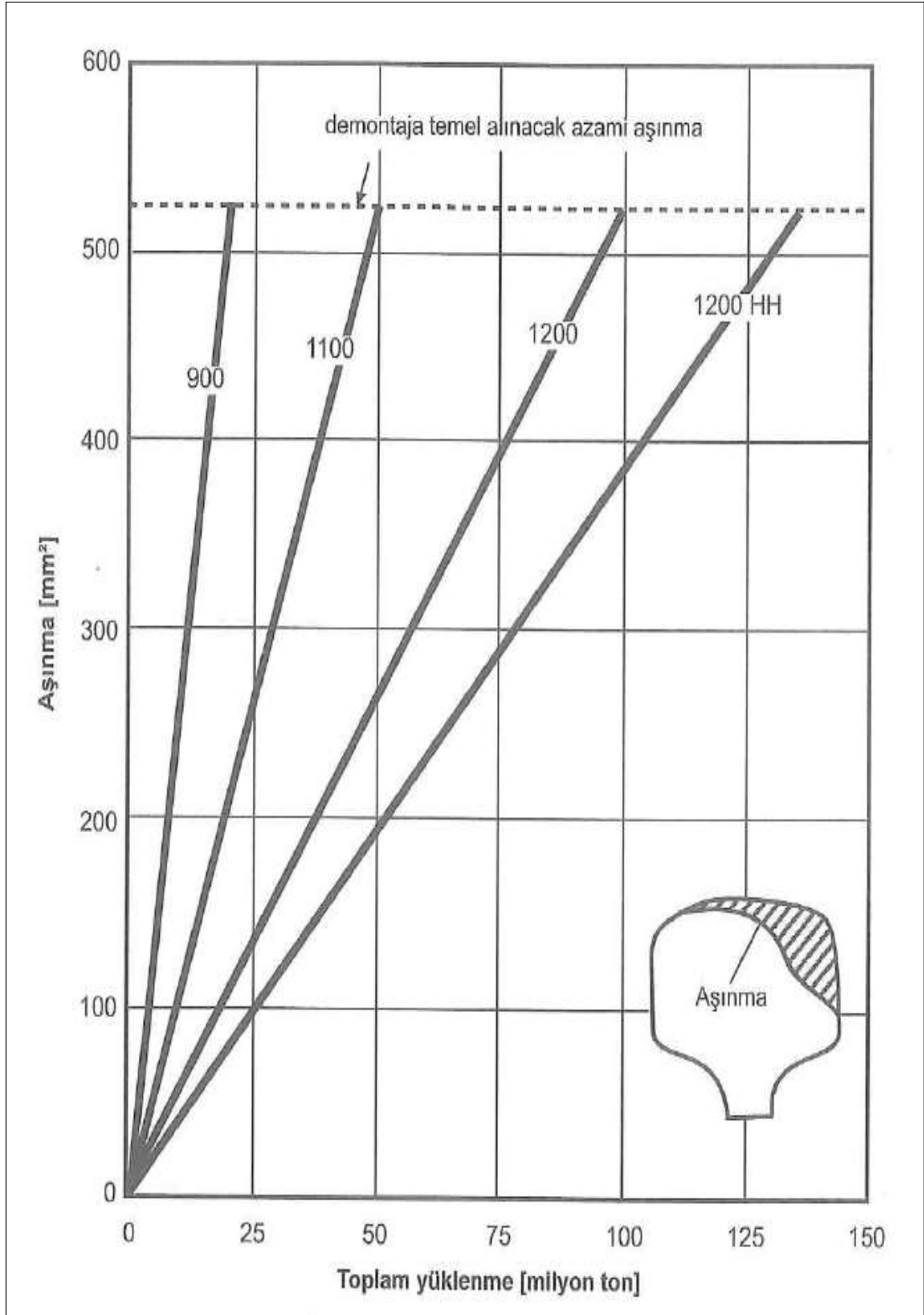
Perlitik doğal sertlikte üretilen demiryolu raylarının aşınma mukavemetini ve dayanıklılığını artırmak, rayların mantar kısımları ayrıca ısıl işlemlere tabi tutulurlar. Bu ısıl işlemlerde iki farklı yöntem uygulanır. Bu yöntemler Off-Line sertleştirme ve İn-Line sertleştirme olarak ikiye ayrılır [4].

Off-Line sertleştirme metodunda ray mantarı 2-6 dakki sürede 850-950 °C sıcaklığa Kadar ısıtılır. Daha sonar ray mantarları su, basınçlı hava vs. soğutma teknikleri ile 650-500 °C sıcaklığa Kadar soğutulurlar. Uygulanan bu teknikteki yüksek hızlı soğutma sonucunda ray mantarında yüksek sertlikte ve yüksek mukavemette perlitik yapı oluşmasını temin eder. Bu yöntemin bazı zorlukları vardır. Bunlar; ray mantarında beklenen sertleştirme derinliği azdır, rayların bu işlemler sonucu yapılarında çekme meydana gelir soğuk haddeleme metodu ile doğrultulmaları gerekmektedir [4].

İN-Line sertleştirme metodunda ise sıcak haddeleme sonrası 800 °C sıcaklıkta ki rayların mantar kısımları bir sertleştirme havuzuna daldırılır. Bu metodta ray mantarı üzerindeki her noktada aynı soğutma durumuna maruz bırakılır. Bu işlemin süresi ise yaklaşık 2 dakikadır. Bu raylar, mantarı sertleştirilmiş raylar (1200 HH) raylar olarak anılmaktadır [4].

2.1.3. Yüksek Alaşımli Raylar

Yüksek alaşımli raylar, gevrek kırılmaya karşı mukavemetli değillerdir ve yüksek kaynak hassasiyetleri barındırırlar. Bu durum sebebiyle rayların kaynaklı birleştirilmesi sonrasında soğutma zamanlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Yüksek alaşımli rayların kimyasal yüksek oranda yapılarında Cr-Mn elemetleri içermektedir.



Şekil 2.1. Farklı kalitedeki rayların 300 metre yarıçaplı kurptaki aşınma davranışlarının karşılaştırılması [4].

2.2. RAYLARIN MARUZ KALDIĞI ETKİLER

2.2.1. Yuvarlanma temas yorulması

Demiryolu tekerleğinin ray üzerindeki yuvarlanma yüzeyi elips biçimindedir. Bu nedenle şehir taşıt tekerlekleri ray yüzeylerinde normal gerilmeler ve yüzey altlarında ise itme gerilmeleri oluşmaktadır. Ray mantarının yüzey altlarında oluşan itme gerilmeleri 6mm derinliğe maksimum değerlerine ulaşmaktadır. Normal gerilmeler 22,5 tonluk dingil yüklerinde 1300 Mpa değerlerine ulaşmaktadır [4]. Seyir esnasında oluşan bu normal ve itme gerilmeleri nedeniyle ray mantarındaki temas yüzeyinde her tekerlek geçişinde şekil değişimi meydana gelmektedir. Ayrıca raylı sistem taşıt tekerleklerinin ivmelenme ve frenleme hareketleri esnasında ray mantarı temas yüzeyinde boyuna (eksenel) kuvvetlerde oluşmaktadır.

Ray-tekerlek temas alanında ki oluşan bu kuvvetler düşük aşındırıcı etki yapmaktadır. Ancak oluşan azami gerilmelere sürekli ray temas alanı maruz kalmakta ve bu da ray temas alanında yorulma zorlanması etkilerinin görülmesine neden olmaktadır. Kurp ve devalerdeki iki noktalı temaslarda seyir kenarlarında yüksek oranda aşınma durumu görülürken, tek noktalı temaslarda ise yorulma zorlanması görülmektedir.

2.2.2. Rayların Mantarlarında Meydana Gelen Çatlaklar

Ray temas yüzeyinde; yüzey yapısına, ray mantarı yüzeyinin sertlik özelliklerine göre yuvarlanma temas yorgunluğu sebebiyle şekil değiştirilmiş bir yapı oluşmaktadır. Bu soğuk şekillenmiş yapı ile bu yapının altında kalan etkilenmemiş malzemeye geçişte büyük oranda gerilim düşmesi meydana gelmektedir. Bu nedenle geçiş alanında çatlak oluşumuna müsait bir alan oluşur. Bu şekilde oluşan çatlaklar kabuklanma olarak isimlendirilirler. Oluşan bu çatlaklar soğuk şekil değiştirilmiş yapının yüzeyine doğru büyüme gösterir. Ve şekil değiştirmiş yapıda kopmalar meydana gelir. Bu tür hatalarla karşılaşmamak için yüksek alaşımlı üretilen ray çelikleri tercih edilmemektedir.

2.2.3. Rayların Seyir Temas yüzeylerinde Oluşan Çatlaklar

Rayların seyir temas alanlarındaki yorulma veya ısıl farklılıktan dolayı oluşan çatlaklar yüksek risk arz etmektedir. Kılcal yüzey çatlakları 2-7 mm arasında meydana gelmektedir [4]. Ray temas alanından belirli yorulma ömür çevrimini aşan tekerlek geçişi sonrasında, ray temas yüzeyindeki çatlakların kritik gevrek kırılma enerjisine ulaştığında ray yüzeyinde kopma meydana gelmektedir. Bu durum pullanma olarak ta tabir edilmektedir.

Ray seyir yüzeylerinde meydana gelen ezilmeler ise yüksek hızlı tren trafiğinin olduğu veya büyük yarıçaplı kurpların olduğu demiryolu hatlarında görülmektedir. Bu kusur ray mantarı yuvarlanma temas yüzeyinde leke şeklinde kendini göstermektedir. Bu ezilme kusurları demiryolu ray-tekerlek çiftlerindeki dinamik etkileşimden dolayı oluşmaktadır.

2.2.4. Kılavuzlama Kuvvetlerinin Etkileri

Raylarda, demiryolu tekerleklerinin yanal yönlendirme kuvvetleri sebebiyle düz hatlarda ve tekerlek bodeninin ray kenarına sürtmesi dolayısıyla eğilme gerilmeleri oluşmaktadır.

2.2.5. Tekerlek üzerindeki düzleşmeler ile oluşan dinamik kuvvetlerin etkisi

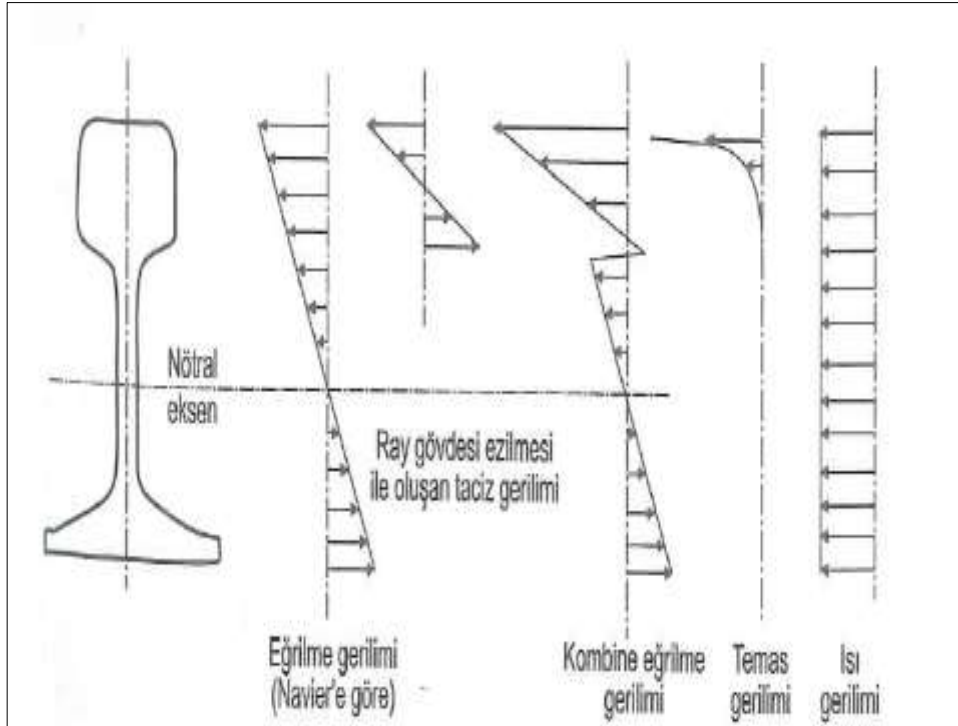
Demiryolu tekerleğinin hareket profile üzerinde meydana gelen yassımlar, frenleme etkisi ile oluşmaktadır. Normal profile tekerleklerin ray üzerindeki seyri esnasında oluşan ray gerilmelerine oranla, düzleşmiş profiledeki tekerleklerin ray üzerindeki hareketinde ray üzerinde 400-800 Mpa ek gerilmeler oluşmaktadır [4]. Bu durum özellikle düşük sıcaklarda ray temas yüzeylerine darbe etkisi yapmakta ve gevrek kırılmaya sebep olmaktadır.

2.2.6. Isı Farkından Dolayı Oluşan Kuvvetler

Yaz ve kış aylarında raylar çok değişik ısı farklılıklarına maruz kalmaktadırlar. Raylar yüksek sıcaklıklarda uzamaya, düşük sıcaklıklarda ise kısalmaya çalışırlar. Conta bağlantılı hatlarda oluşan gerilmeler tolere edilir ancak kaynaklı hatlar bu oluşan uzama ve kısalmaları ememezler ve dolayısı ile aksel bir gerilme oluşur.

2.2.7. Tekerleklerin ivmelenme ve frenleme kuvvetleri ile oluşan zorlanmalar

Demiryolu ray- tekerlek kontağın dolayısı ile raylarda büyük boyuna kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlerin büyük kısmı frenleme esnasında oluşmaktadır. Frenleme esnasında tekerleğin önündeki ray kısmında itme gerilimi, tekerleğin arka kısmında ise çekme gerilimi oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Raylarda oluşan gerilmeler [4].

2.2.8. Rayların üretimi esnasında oluşan gerilmeler

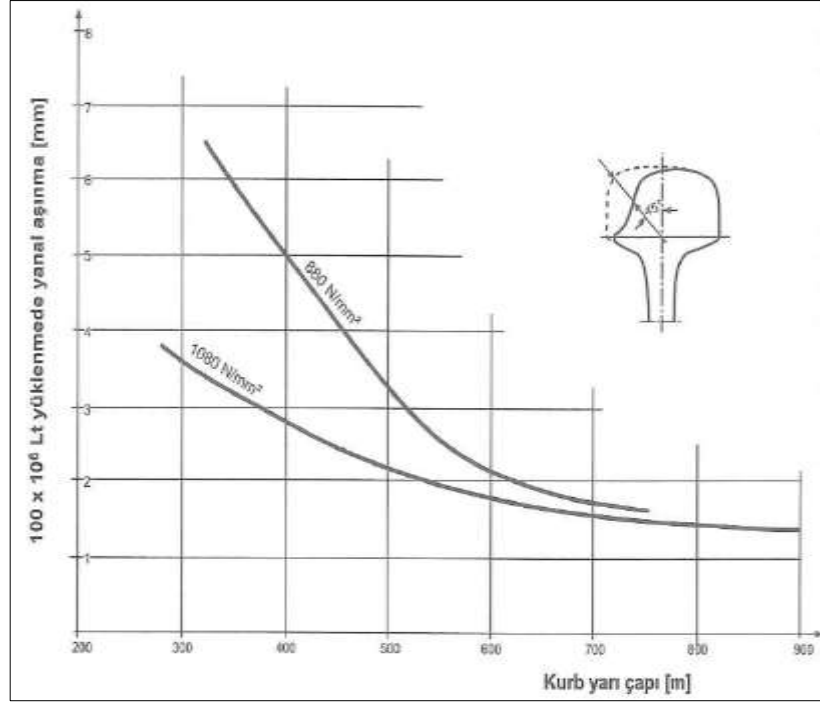
Demiryolu rayları üretim esnasında sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme (doğrultma) işleminden geçerler. Rayların doğrultulması esnasında yuvarlanma yüzeylerinde çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Ayrıca ray gövdesinde 200 Mpa varan itme gerilmeleri de oluşmaktadır [4]. Oluşan bu gerilmeler yuvarlanma temas yorgunluğunu yüksek oranda etkilemektedir.

2.3. DEMİRYOLU RAY-TEKERLEK ÇİFTİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARI

Demiryolu ray-tekerlek çiftinin aşınma durumları mukavemet değerleri ile ters orantılı olarak değişmektedir. Demiryolu taşımacılığında kritik önem arz eden ray-tekerlek kontakta ki aşınma durumları incelendiğinde demiryolu rayı ve demiryolu tekerlerinin dayanım değerlerinin birbirine yaklaşması ile aşınma dereceleri 10able10c inmektedir. Tavlanış raylar ki (1200 HH) kalite raylar, doğal sertlikte bulunan 900A kalite raya göre demiryolu tekerleklerinde yüzey sertliklerinin yüksek olması hasabiyle daha fazla aşınmaya yol açmaktadır. Demiryolu ray-tekerlek seyir temas yüzeyinin yeterli miktarlarda yağlanması ile aşınma payları yüksek ve ağır tonajlı demiryolu trafiğine sahip demiryolu hat bölgelerinde dahilmm/100 milyon ton değerine indirmek mümkün olmaktadır [4].

2.3.1. Kurplardaki Yanal Aşınmaları

Kurp içi raylarda, ray mantarı yüksekliğinde aşınma meydana gelir. Kurp dışı raylarda ise ray eksenine paralel aşınma meydana gelmektedir.



Şekil 2.3. UIC60 Tipi rayların kurplardaki aşınma durumları [4].

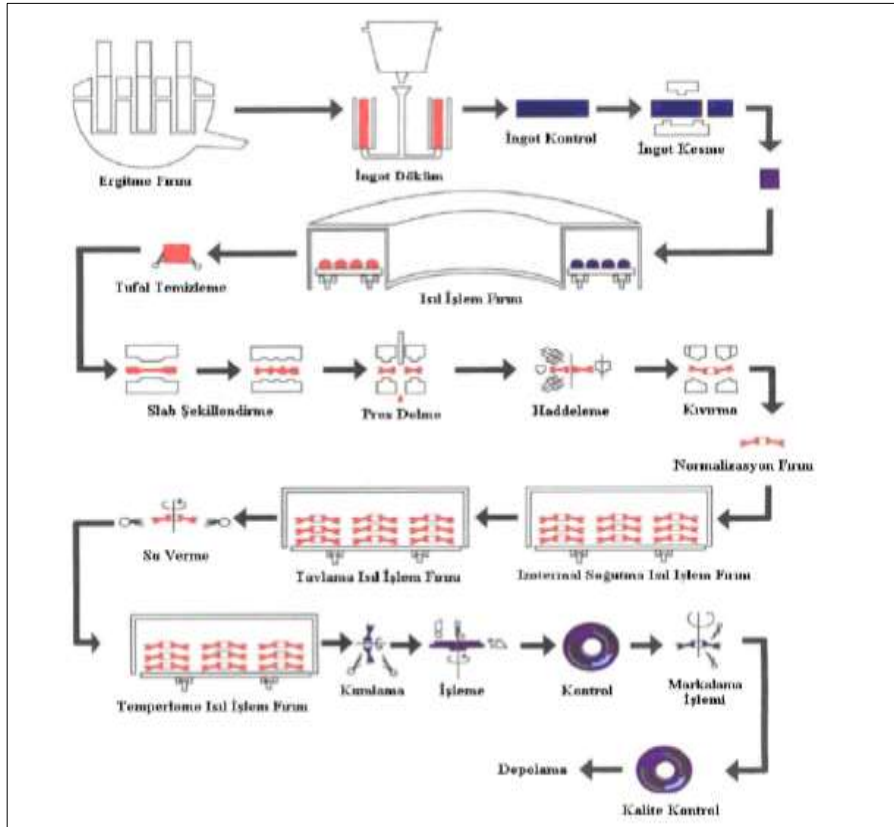
BÖLÜM 3

DEMİRYOLU TEKERLEĞİ VE AŞINMA DURUMU

Demiryolu taşımacılığında seyir konforunu ve bakım maliyetlerini iyileştirmek amacı ile aşınmaya karşı daha dayanıklı tekerlek setlerinin imal edilmesi gerekmektedir. Bunun için ise demiryolu tekerleklerinin aşınma durumlarının incelenmesi gerekmektedir. R8T kalite demiryolu tekerlekleri diğer kalitede imal edilen tekerleklere göre aşınma mukavemetinde üstünlük göstermektedir. Tekerleklerdeki aşınma durumu belirli bir çalışma periyodu sonucu kendini temas yorgunluğu olarak ortaya çıkarmaktadır. Tekerleklerdeki kayma oranının ve yükün artması ile aşınma oranında artış göstermektedir. Ancak bunun yanısıra tekerleklerdeki açılmal hızının artması aşınma miktarını etkilememektedir. Demiryolu ray- tekerlek kontakta ilave yağlama ortamında aşınma miktarlarında azalma meydana gelmektedir. Demiryolu raylarındaki yuvarlanma temas yorgunluğu görülmesi ile ray mantarı yüzeylerinde malzeme kopmaları meydana gelmektedir. Bu durum sonucunda ise tekerleklerde aşınma miktarı da artış göstermektedir. Tekerlek aşınması sonucunda tekerlek yuvarlanma temas yüzeylerinde Fe_2O_3 tabakası oluşmaktadır. Tekerleklerdeki aşınmalar sonucunda aşınma yüzeylerinin altındaki tabaka yüksek bir tahribat kalmamaktadır. Bu durum ise tekerleklerin belirli aşınma periyotlarında temas yüzeyleri tornalanarak tekrar kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Tekerleklerdeki kayma oranının artması ile büyük çatlaklar görülebilmektedir. Bu çatlaklardan bir kısmı aşınma yüzeyine paralel olmaktan çıkıp malzeme kopmasına sebep olmaktadır. Tekerleklerde yüksek oranda aşınma sonucunda çatlama ve parçalanmadan kaynaklı kütle azalması meydana gelmektedir. Tekerlek malzemesi yüzeyindeki kayma gerilmeleri arttıkça malzeme yüzeyinde pullanma ve kütle kaybının artmasına sebep olur. Tekerlek yüzeyindeki kayma gerilmeleri %15 oranına geldiğinde aşınma hızla artmaktadır. Tekerlek ray kontakta tekerleklerdeki sıcaklık artışı sebepleri; tekerleklerin dış ortama bağlı olarak değişen vücut sıcaklıkları, tekerlek ve ray yüzeylerindeki hareketin sağlanabilmesi için gerekli olan sürtünme kuvvetinden dolayı oluşan artık ısı ve dış

ortamın sıcaklığı. Bu sıcaklık durumlarına göre malzemelerdeki aşınma oranları değişmektedir. Ray ve tekerleklerdeki aşınma durumlarının incelenebilmesi için en uygun yöntem ikiz disk testinin yapılmasıdır. R8T demiryolu tekerleğinin aşınma dayanımı 900A kalite raya göre zayıftır.

Tren tekerlekleri düşük alaşımli karbonlu çelikten imal edilirler. Demiryolu tekerleklerinin farklı bölgeleri servis sırasında farklı gerilmelere maruz kalmaktadırlar. Tekerlek gövdesinde yorulma mukavemeti aranırken temas yüzeyinde aşınma dayanımı aranmaktadır. Ancak demiryolu tekerleğinin gövde kısmındaki yorulma dayanımının artması temas yüzeyindeki aşınma dayanımının düşmesine sebep olmaktadır. Demiryolu tekerlekleri döküm veya dövme yöntemi ile imal edilirler. Ancak yüksek oranda dövme yöntemi ile imal edilirler.



Şekil 3.1. Demiryolu tekerleğinin üretim prosesi [5].

Çizelge 3.1 Farklı tipteki tekerlek malzemelerinin kimyasal bileşimleri [5].

Kimyasal Bileşim	D sınıfı (tipik)	R7 Sınıfı (maks)	R8 Sınıfı (maks)
C	0,61	0,52	0,56
Si	0,33	0,4	0,4
Mn	0,7	0,8	0,8
P	0,027	0,04	0,04
S	0,022	0,04	0,04
Cr	0,3	0,3	0,3
Cu		0,3	0,3
Mo	0,05	0,08	0,08
Ni	0,2	0,3	0,3
V		0,05	0,05
Cr+Mo+Ni		0,6	0,6

Demiryolu tekerlek imaltındaki tekerlek malzemesi içerisindeki elementler etkileri şu şekilde açıklanabilir. Karbon elementi çeliğin çekme ve akma mukavemetini artırmakla birlikte aşınma dayanımını azaltmaktadır. Demiryolu tekerlek imalatında karbon elementi %0,4-0,6 oranında kullanılmaktadır. Mangan elementi tekerleğin kaynak edilebilme ve sertleştirilebilme özelliğini arttırmaktadır. Tekerlek imalatında %0,6-0,9 oranında kullanılmaktadır. Silisyum tekerleğinin akma, çekme ve elastikiyet özelliğinin artırılması amacı ile kullanılmaktadır. Tekerlek imalatında %0,3-0,5 oranında kullanılmaktadır. Fosfor demiryolu tekerleğinin talaşlı işlenebilirlik özelliğinin iyileştirilmesi amacı ile %0,002 oranında kullanılmaktadır. Krom elementi tekerleğin temel dayanımının artırılması amacı ile %0,2-0,4 oranında kullanılmaktadır. Nikel elementi demiryolu tekerleğinin darbe tokluğunu arttırmak amacı ile kullanılmaktadır. Tekerlek üretiminde molibden elementi aşınma dayanımını arttırmak için %0,05 oranında kullanılmaktadır. Bakır elementi tekerleğinin korozif direncini arttırmak amacıyla %0,3 oranında kullanılmaktadır. Bu alaşım elementleri oranıyla üretilen demiryolu tekerleğindeki amaç ısıya ve aşınmaya dayanıklı demiryolu tekerleğinin üretilmesidir [5].

Çizelge 3.2. Farklı tiplerdeki demiryolu tekerleklerinin mekanik özellikleri [5].

Tekerlek Malzeme Sınıfı	Çekme Gerilmesi (Mpa)	Minimum Elongasyon (%)	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	

Demiryolu hattında seyir halinde hareket eden taşıtın tekerlekleri tarafından uygulanan dinamik yük hatta titreşimler meydana getirmektedir. Demiryolu tekerleğinin taşıdığı darbe yükü static yük değerinden fazladır. Tekerlekte meydana gelen bu darbe yükü seyir yüzeylerindeki frenleme ve ivmelenme esnasında oluşan düzleşmeler, temas yüzeyindeki aşınmalar sonucu etkisini göstermektedirler. Dinamik darbe yükleri demiryolu raylarında çatlak ve gevrek kırılma olasılığını arttırmaktadır. Dinamik darbe yüklerinin etkisi ile tekerleklerde ısınmalar meydana gelmektedir. Demiryolu ray-tekerlek etkileşiminde ray ve tekerleklerdeki aşınma durumları seyir konforunu etkilemektedir. Bu sebeple ray ve tekerlek aşınmasını azaltmak için özellikle kurp dönüşlerinde boden yağlama mekanizması geliştirilmiştir. Bodan yağlama işlemi neticesinde kurplardaki tekerlek aşınmasının azaldığı gözlemlenmiştir. Bodan yağlama işleminde ise tekerlek setleri için önemli olan mevcut aşınma olan yerlerde hidro-basınçlandırma olayının gerçekleşmesidir. Hidro-basınçlandırma olayı tekerlek üzerinde mevcut bulunan çatlakların içerisine bodan yağlama yağlarının girmesi ile hızla çatlak büyümesi olarak kendini gösterir. Bu olay sonucunda ilerleyen çatlaklar hızla büyüyerek tekerlek üzerinde pullanma yapmaktadır. Hidro-basınçlandırma olayının yaşanmaması için aşınan demiryolu tekerleklerinin belirli periyotlarda tornalama işleminden geçirilerek servise çıkarılması gerekmektedir.

Demiryollarında tekerlek ve ray kaynaklı aşınma durumları taşıt ve hat bakım maliyetleri açısından kritik önem arz etmektedir. Taşıt tekerleğinde meydana gelen aşınmalar, demiryolu taşıtının hareket dengesini bozmakta ve hatta taşıtın deray olmasına neden olmaktadır. Tekerlek frenleme ve ivmelenme esnasında oluşan

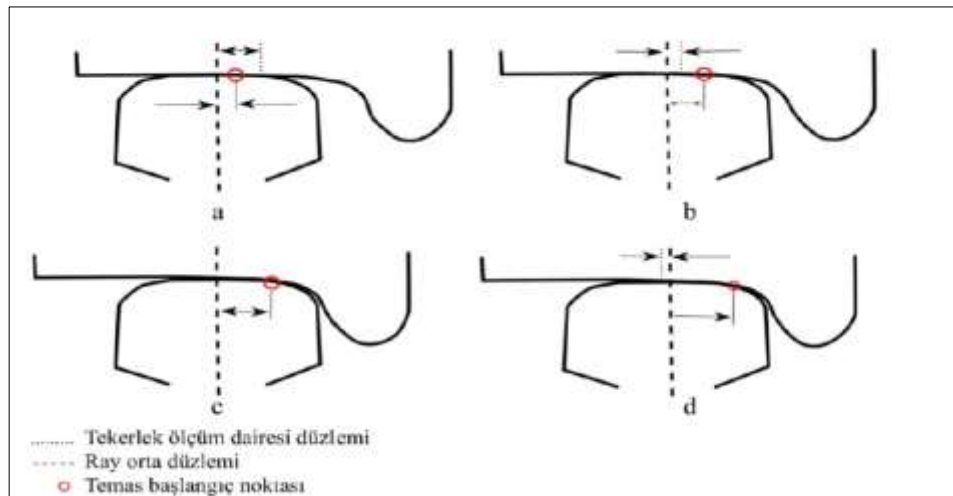
kaymadan ve hareket için gerekli sürtünme kuvvetinden dolayı aşınmaktadır. Bu aşınma davranışını ray kaliteside etkilemektedir. Tekerlek ve ray arasındaki sürtünme kuvvetlerinin başlıca sebepleri; dar yarıçaplı kurplar, aracın frenleme ve ivmelenme durumları, ray ve tekerleklerdeki profil düzensizliğidir. Tekerleklerdeki kayma gerilmeleri teğetsel sürtünme kuvveti sebebiyle oluşur. Bu durumda aşınma miktarını negative olarak etkilemektedir. Tekerlekteki aşınma derinliği yapı profiline simetrik olarak dağılmaktadır. Frenleme nedeniyle taşıttaki tüm tekerlekler aynı sürtünme kuvveti ile karşılaşmaktadır. Ancak tekerlekteki seyir yüzeyi ile boden kısmının karşılaştığı sürtünme kuvvetleri farklılık göstermektedir. Normal düz hatlarda seyir yüzeyindeki sürtünme kuvveti fazla iken virajlarda boden kısmındaki sürtünme kuvveti fazla olmaktadır.

Ray ve tekerlek aşınma miktarlarının azaltılması amacı ile düz ve seyir güvenliğinin sağlandığı hatlarda sürtünme kuvvetini azaltmak için ray yağlama sistemleri kullanılmaktadır. Ancak frenleme ve taşıttın raydan çıkma olasılığı yüksek olan yerlerde ray yağlama sistemleri kullanılmamaktadır. Tekerleklerdeki temas açısı ve yuvarlanma yarıçapı temas bölgesinin konumuna bağlıdır. Yüksek temas basıncı ile uygunsuz temas bölgesi konumu nedeniyle tekerleklerdeki aşınma miktarları artmaktadır. Tekerlek ve ray yüzeylerinde meydana gelen aşınmalar ile paralel olarak hat ve taşıtt üzerindeki titreşim miktarıda artış göstermektedir. Bu durum neticesinde seyir kalitesi ve taşıtt bojisindeki birincil ve ikincil süspansiyon sistemelerinin tamir ve bakım maliyetleride artmaktadır.

BÖLÜM 4

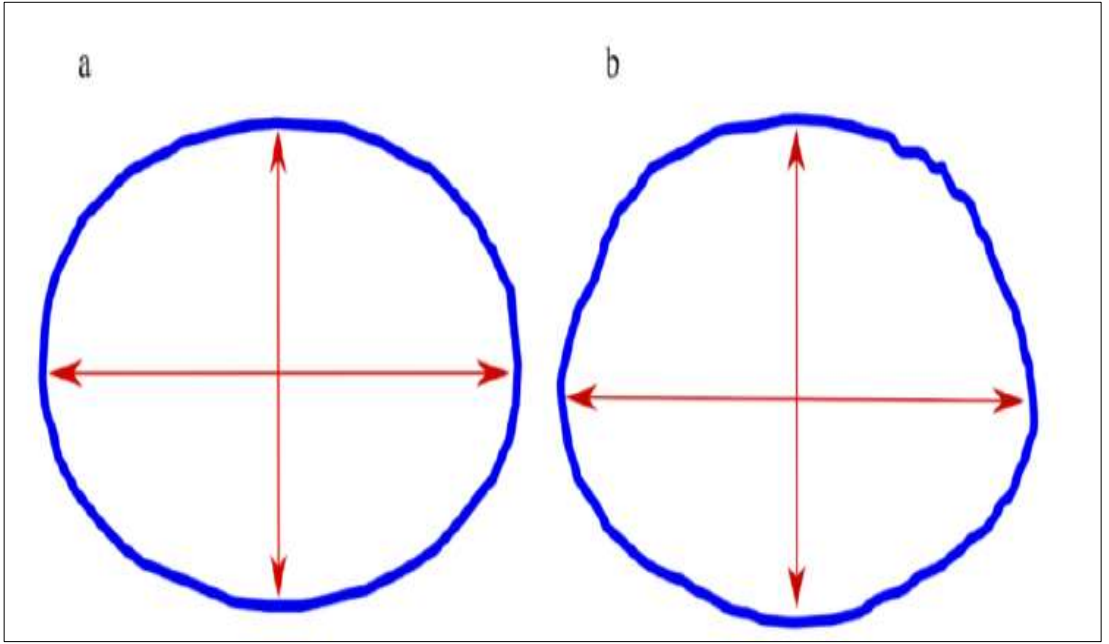
DEMİRYOLU RAY-TEKERLEK TEMAS MEKANİĞİ

Raylı system araçları normal lastikli araçlardan farklı olarak çelik tekerlek ve çelik ray üzerinde hareket etmektedir. Demiryolu çelik tekerleğinin çelik ray üzerindeki hareketi sonucunda kritik öneme sahip temas yüzeyi oluşmaktadır. Bu ortaya çıkan temas yüzeyindeki gerilmeler raylı system araçlarının dinamik performanslarını ve ray-tekerlek aşınma problemlerini doğurmaktadır. Raylı sistem araçları seyir durumunda iken tekerlek takımları yanal ekseninde stabil olarak kalmamaktadır. Özellikle frenleme ve ivmelenme durumunda taşıt tekerlekleri ray üzerinde yanal yönde hareket etmekte ve temas yüzeyleri değişmektedir. Bu sebeple demiryolu ray ve tekerlek kontak durumları tüm servis koşulları için değerlendirilmelidir. Taşıt tekerleğinin yanal eksenindeki hareketini tekerlek profile dışındaki büyük çaplı flanş (boden) engellemekte ve genellikle aşınmalar boden ile temas yüzeyi arasındaki bölgede meydana gelmektedir. Tekerleğinin profile farklı yarıçaplardaki eğrilerin birleşiminden oluşmaktadır. Tekerleğin boden kısmının da ray ile temas etmesiyle tekerlek ve ray yüzeyinde birden çok temas yüzeyi oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Tekerlek-ray kontakındaki farklı temas yüzeyleri [6].

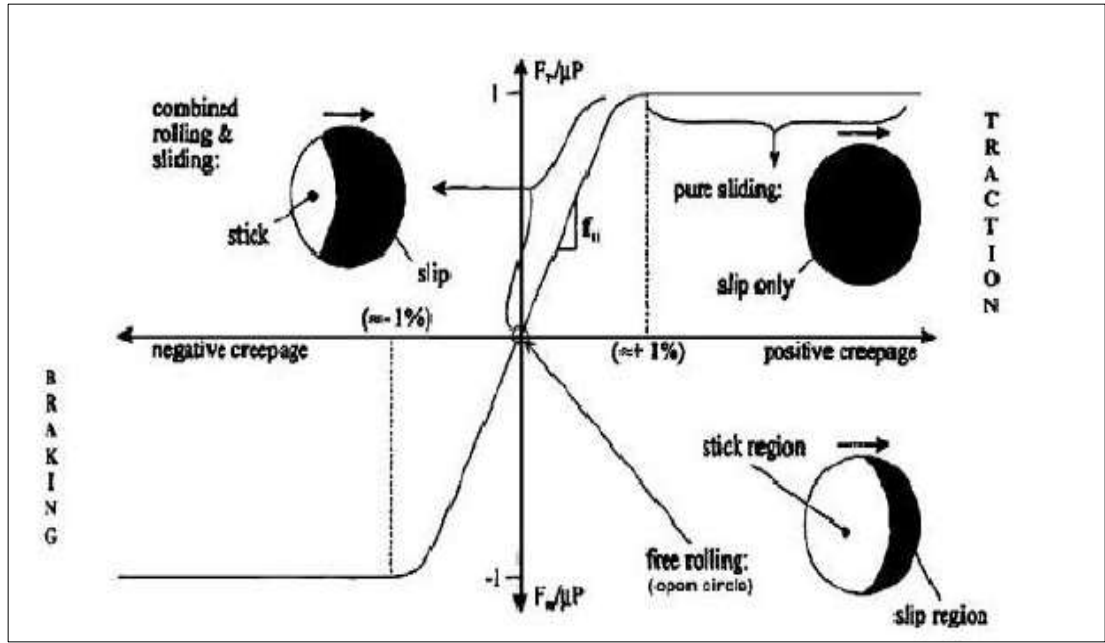
Demiryolu ray-tekerlek kontaktağında temas yüzeyinde oluşan gerilmeler ray ve tekerlek malzemelerinin elastic deformasyon sınırını aştığında ray ve tekerleklerde kalıcı deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu durumda ray ve tekerlek profillerinde aşınma meydana gelip, ray ve tekerlek profillerinde bozulmalar oluşmaktadır. Kalıcı şekil değişiminin olduğu ray ve tekerleklerin temas yüzeyindeki maksimum basınç değeri düşmektedir. Ray ve tekerleklerdeki aşınma sonucunda ray ve tekerlek temas alanında değişimler meydana gelmektedir.



Şekil 4.2. Aşınmamış (a) ve aşınmış (b) ray ve tekerleklerdeki temas alanları [6].

Yatay eksenindeki temas sürtünme kuvveti ile değişmektedir. Ray üzerindeki su, gres, yaprak vb. Koşullarda ray ve tekerlek arasındaki sürtünme kuvveti değişmekte dolayısı ile temas koşulları da değişmektedir. Dikey eksenindeki temas baskı kuvveti ray tekerlek temas alanındaki basınç dağılımından etkilenmemektedir. Temas mekaniğinde sürtünmenin az olduğu bölgeden yüksek olduğu bölgeye geçişte daha yüksek aşınma miktarı ve kalıcı deformasyonlar görülmektedir. Bunun sebebi ise temas bölgesindeki kayma ve tutunma alanının değişimi ile paralel olarak deformasyonların artmasıdır. Demiryolu ray ve tekerlekleri arasındaki temas mekaniği yuvarlanmalı ve kaymalı temas mekaniği olarak isimlendirilmektedir. Tekerleklerde frenlenme ve ivmelenme torkları arttığında tekerleklerde ve rayların yuvarlanma temas yüzeyinde kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Oluşan bu kayma ile taşıt tekerleğinin çevresinin hızı ile

dorsal hızında farklılıklar meydana getirmektedir. Kayma tekerleğinin açılmal hızı ile raylı sistem taşıtının hızı arasındaki farkın fazla olması ile meydana gelir ve taşıt tekerleği üzerinde kalıcı olmayan deformasyonlar oluşturur. Bu hız farkının fazla olması ile de tekerlek üzerindeki kalıcı olmayan deformasyon yerini aşınmaya bırakmaktadır. Taşıt tekerleği için istenmeyen bir durumdur. Kaymanın fazla olması ile profilinde bozulma olan tekerlekler ise ray üzerinde kalıcı aşınma ve çatlamalara yol açmaktadır. Ray ve tekerlek arasındaki yuvarlanmalı temasın asıl oluşma nedeni tekerlek ve ray arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı oluşan yapışmadır. Yapışmanın mahiyeti tekerleklerdeki teğetsel kuvvet ile ray temas alanındaki normal kuvvet ile değişmektedir. Ray ve tekerlek temas yüzeyindeki kayma durumunda yapışma durumu yüksek değer alır ve sürtünme katsayısına eşit olur.



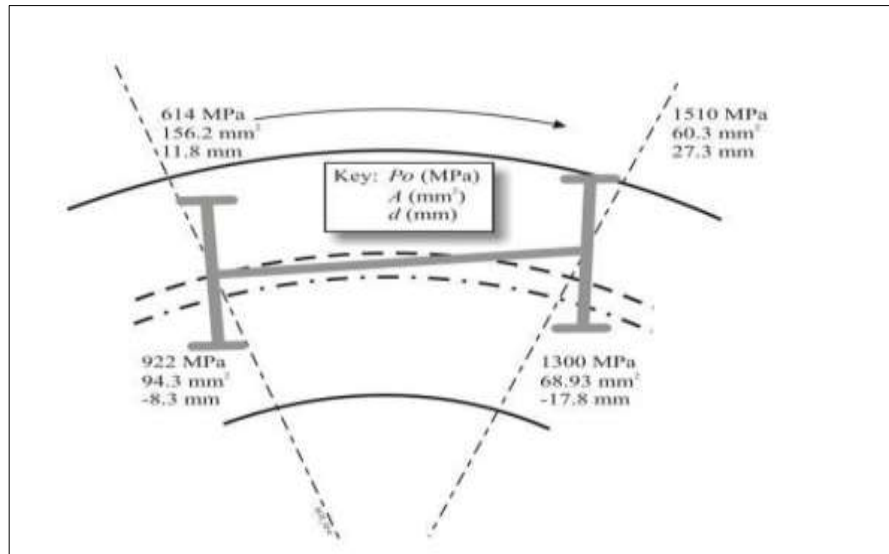
Şekil 4.3. Ray tekerlek temasında oluşan yapışma ve kayma bölgeleri [5].

Ray ve tekerlekteki yuvarlanmalı ve kaymalı temas yorulması gelen dik ve normal yük bileşenleri sonucu malzemede akma oluşur. Bu yüklerin büyüklüğü ve konumu temas alanının durumunu belirlemektedir. Temas alanının durumu ise o malzemenin temas deformasyonunu belirlemektedir. Tekerlek ve ray arasındaki temas durumu esas olarak Hertz ve Kalker teorilerine göre incelenmektedir.

Hertz teorisi dairesel kesitli ve iki bileşenli malzemelerinin belirli bir temas baskı kuvveti altında oluşan kalıcı deformasyonları incelenmektedir. Hertz teorisi incelenirken şu kabuller yapılır; malzemeler homojen yapıdadır, temas alanında normal gerilmeler vardır ve kayma gerilmeleri ihmal edilir, temas kuvveti temas alanının bütününde eşit olarak Kabul edilir.

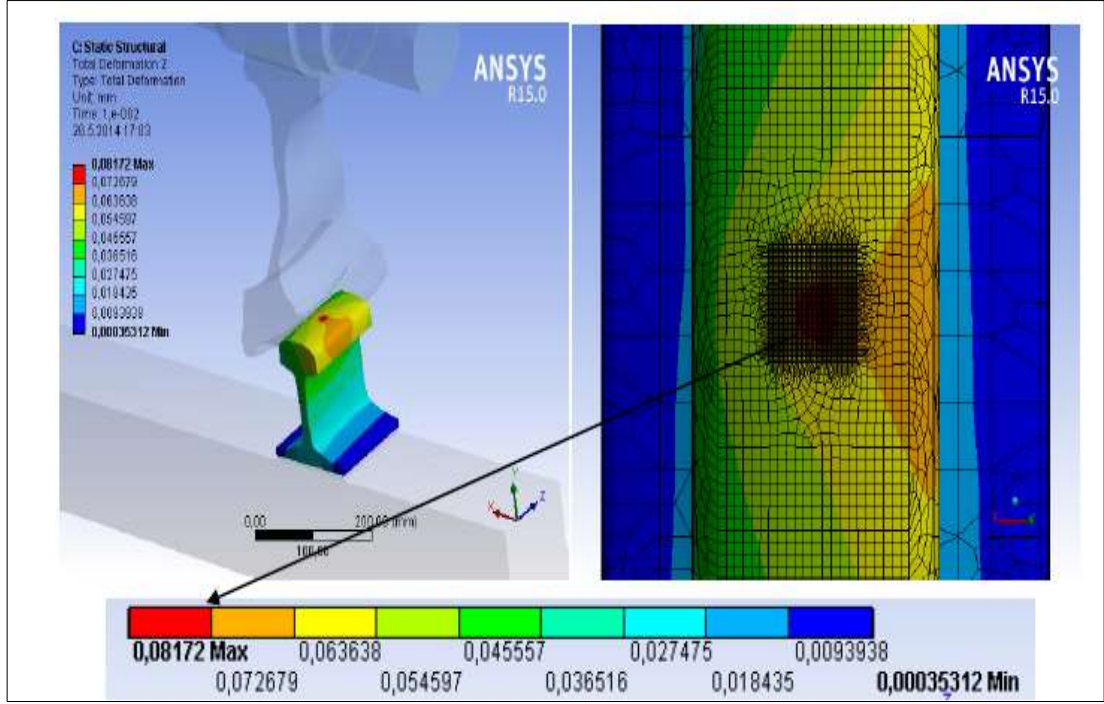
Kalker metodu ise üç boyutlu gövdelerin yuvarlanmalı temas durumunu ele almaktadır. Temas alanındaki teğetsel kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır [5].

Ray ve tekerlek temas alanındaki kalıcı şekil değişimleri yuvarlanmalı temas sorunu neticesinde oluşmaktadır. Ve temas alanlarında kayma ve yapışma meydana gelmektedir.

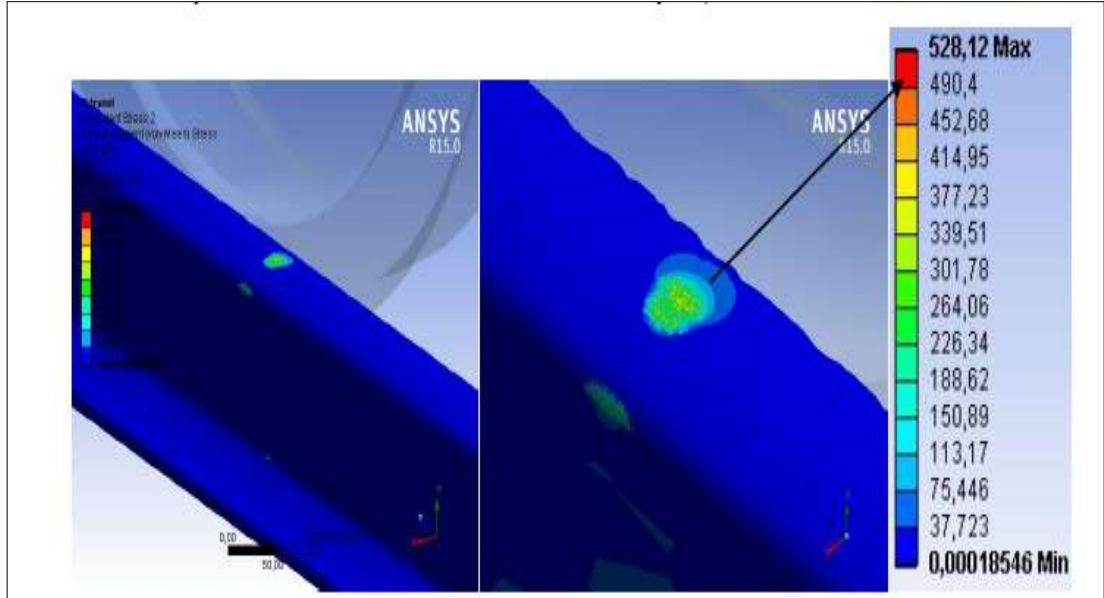


Şekil 4.4. Kurplardaki temas basınçları [5].

EROĞLU [5] tarafından ray ve tekerlek temasının ANSYS ortamında 100000 N temas baskı kuvveti altında yapılan analizlere göre temas alanındaki deformasyonlar ve oluşan gerilmeler Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. da verilmiştir.



Şekil 4.5. Temas bölgesindeki deformasyonların dağılımı [5].



Şekil 4.6. Temas bölgesindeki gerilmelerin dağılımı [5].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. İKİZ DİSK TEST CİHAZININ TASARIMI

Tez kapsamında, demiryolu çelik tekeri ile demiryolu çelik rayı etkileşimi ve diğer birbiri üzerinde ve birbirleri ile çizgisel veya noktasal kontak halinde çalışan farklı endüstriyel malzemelerin sürtünmeli, yuvarlanmalı ve kaymalı temas aşınmasına bağlı yorulma dayanımlarının ve yüzey aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi, farklı demiryolu ray – tekerlek etkileşimlerin çekiş kuvveti verilerine etkisi, ray ve tekerlek aşınma verileri, yüzey ve yüzey altı çatlak analizleri, sürtünme katsayısı ve sertlik, aşınma oranı ve yüzey hasarları, aşınma kalıntıları, ray ve tekerleklerin aşınmasını engellemek için yapılan yüzey modifikasyonlarının test edilmesi ve değerlendirilmesi gibi durumların incelenebilmesi için düşünülen aktif olarak piyasada bulunmayan aşınma, güç ve enerji, titreşim analizi , çalışma ömür çerimi analizi yapılabilen ikiz disk test cihazının modellenmesi yapılmıştır.

Endüstrinin gelişmesiyle beraber kalite kontrol ve test faaliyetleri büyük önem arz eder hale gelmiştir. Geleneksel aşınma testleri demiryolu ray ve tekerlek aşınmalarını gerçek anlamda ifade edememektedir. Çünkü, demiryollarında hareket mekaniği çelik tekerleğinin belirli bir sürtünme profili altında çelik ray üzerinde yuvarlanması prensibine göre çalışmaktadır. Bu durumda yeni imal edilen veya yüzey modifikasyonu desteği yapılan ray ve tekerleklerin gerçek servis koşulunda test edilememesi problemini ortaya çıkarmaktadır. Proje önerisi kapsamında tasarlanan ikiz disk test cihazı demiryolu ray ve tekerlek ikilisinin hareket profilini ve servis koşullarında karşılaşılabilecek etkileşimleri tam olarak modelleyerek gerçek anlamda kalite kontrol ve test faaliyetlerinin gerçekleşmesine olanak sağlayacaktır. İkiz disk test cihazında yapılan testlerde sadece ray ve tekerleklerin aşınma durumları

incelenmeyip titreşim profilleri de çıkartılarak sistem içindeki başka hasarlara sebep olma durumları da incelenebilecektir.

İkiz disk test cihazında demiryolu ray ve tekerlek aşınma testlerin yanında, endüstride birbiri üzerinde temaslı ve yuvarlanarak veya kayarak hareket eden malzemelerin aşınma durumlarının incelenmesi, farklı tribolojik durumlarda ve yağlama koşullarında aşınma durumlarının belirlenmesi, diğer durumlarla karşılaştırılması ve aşınmaların minimuma indirilmesi hususunda farklı yağlama durumlarının belirlenmesi, yüzey ve yüzey altı çatlak analizleri, yüzey hasarlarının belirlenmesi, aşınmayı azaltmak amacıyla yapılan yüzey modifikasyonlarının verimin test edilmesi hususun da çalışmalar yapılabilir. Bu da proje önerisi kapsamında sunulan ikiz disk test cihazın geniş bir spektrumda kullanılacağı ve geleneksel aşınma testleri gibi literatürde yerini alabileceğini göstermektedir.

İkiz disk test cihazında sadece kuvvet bağı altında çalışan malzemelerin testleri değil şekil bağı altında çalışan malzemelerinde testleri yapılabilir. Örneğin dişli ve çarklar gibi birbirlerine şekil bağı ile bağlı olan malzemelerin yüzey ve yüzey altı hasarları incelenebilecektir. Ayrıca kuvvet bağı ya da şekil bağı altında çalışan malzemelerin gerçek servis koşullarında hasarsız çalışabilecekleri maksimum çevrim sayısı ya da servis halinde sistemde olan dalgalanmalardaki durumları da incelenebilecektir.

Demiryolu tekerlek – ray kontaklarında araya bazı ilave maddelerde girmektedir. Bunlar; yapraklar, su, boden yağlamada kullanılan yağlar (gres), kum, yağlayıcılar, sürtünme düzenleyiciler olarak sıralanabilir. Bu durumların gerçek koşullara en yakın şekilde ikiz disk test cihazı ile modellenerek; Ray ve tekerlek aşınma oranları, aşınma yüzey görünümleri, ilave maddelerin ray aşınması ile sürtünme aderans kuvveti arasındaki ilişkisinin saptanması demiryolu ray- tekerlek kontaklarının sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bunun yanı sıra boden tırmanma olayının da test ortamında uygun pozisyonda modellenerek bu olayın ray veya tekerlekte meydana getirdiği aşınmaların ölçülmesi ray veya tekerleğin hangi noktalarında baskı ve hasar oluşturacağını saptanabilecek olması bu yöntemin önemini arttırmaktadır. İkiz disk test cihazı ile esas olarak demiryolu ray-tekerlek

çiftinin farklı temas konfigürasyonlarda ki kontakların da malzemelerin sürtünmeli, yuvarlanmalı veya kaymalı temas aşınmasına bağlı yüzey aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi, yüzey ve yüzey altı hasarlar analizlerinin yapılması, farklı ray-tekerlek kontaklarında oluşan sürtünme kuvvetlerinin belirlenmesi, sürtünmeye harcan enerji kayıplarının belirlenmesi, demiryolu tekerinin ray üzerindeki yuvarlanmalı ve/veya kaymalı hareketi esnasında sürtünme ve temas dinamiği kaynaklı oluşan ve tekerlek aksında meydana gelen tork dalgalanmalarının analiz edilmesi, tekerlek ile ray arasında gerçek servis koşullarını yansıtacak şekilde ve farklı parametrelerde kalite kontrol faaliyetlerinin yapılması amaçlanmaktadır.

İkiz disk test cihazı tasarım gayesi nedeniyle demiryolu ray-tekerlek etkileşimini modellemiştir. Ancak çalışma sistemi olarak bakıldığında farklı tip malzemelerde ve sistemlerde de triboloji, dayanım, dinamik gibi birçok alanlarda araştırma yapılmasını olağan kılmaktadır. Demiryolu ray-tekerlek etkileşimleri haricinde; makine endüstride birbiri üzerinde temaslı ve yuvarlanarak veya kayarak hareket eden malzemelerin farklı ortam ve koşullarda sürtünmeli, yuvarlanmalı veya kaymalı temas aşınmasına bağlı yüzey aşınma karakteristiklerinin belirlenmesi, yüzey ve yüzey altı hasarların tespit edilmesi, farklı malzeme kontaklarında oluşan sürtünme kuvvetlerinin belirlenmesi, sürtünmeye harcan enerji kayıplarının belirlenmesi , malzeme aşınması sonucu oluşan yüzey düzensizlikleri nedeniyle sistemde oluşan titreşimlerin modüllerinin analiz edilmesi, farklı tribolojik durumlarda ve yağlama koşullarında aşınma durumlarının belirlenmesi, diğer durumlarla karşılaştırılması ve aşınmaların minimuma indirilmesi hususunda farklı yağlama durumlarının belirlenmesi, kuvvet bağı veya şekil bağı altında kontak halinde çalışan malzemelerin dinamik, dayanım, kuvvet aktarımı gibi çeşitli alanlarda araştırma ve inceleme yapılmasına olanak sağlamaktadır.

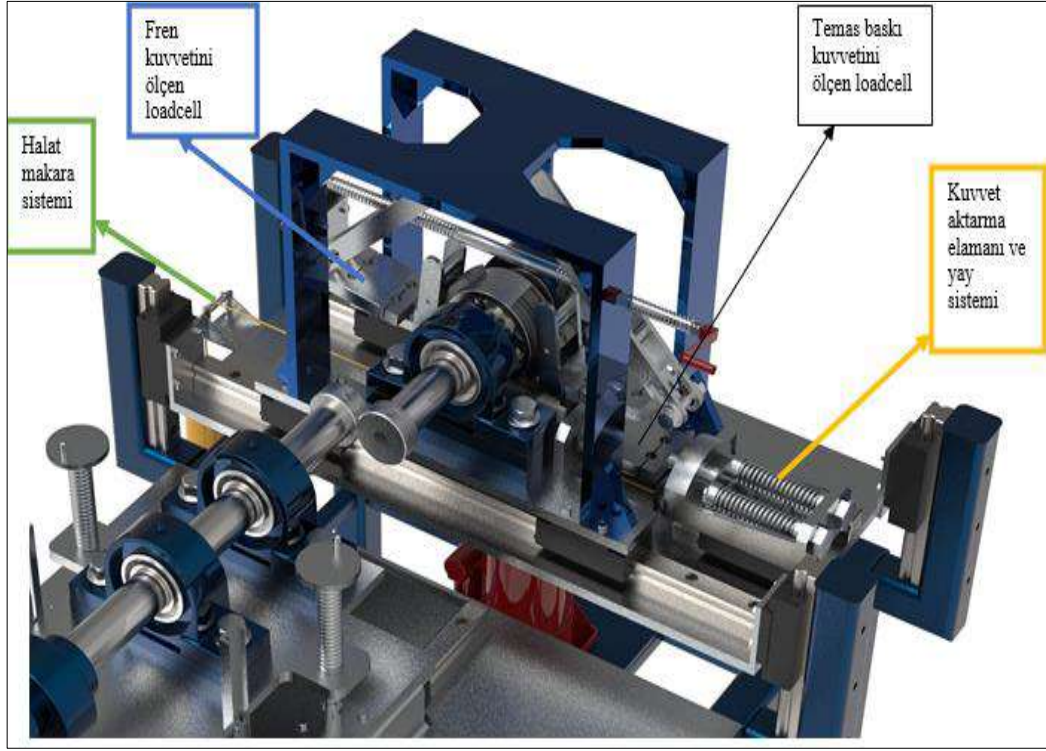
5.1.1. İkiz Disk Test Cihazının Çalışma Prensibi

Deney numunelerinin sisteme bağlandığı iki adet mil bulunmaktadır ve deney numunesinin mile bağlantısı kamalı bir bağlantıdır. Millerin yatakladığı (her mil iki noktadan yataklanmıştır) dört adet yataklı rulman kullanılmıştır. Bu millerden sadece bir tanesi tahriklidir. Diğer mil avaredir. Tahrikli mil kaplin vasıtası ile 28 Mn torka sahip step motara bağlanmaktadır. Step motorun devir kontrolü motor sürücüsü

tarafından farklı devirlerde ayarlanabilmektedir. Avare olan milde iki farklı şekilde tasarlanmış olan fren sistemi mevcuttur. Fren sisteminde avare mile kasnak geçirilmiş ve bu kasnağa da güç vidasından tahrik alan fren pabuçları ile baskı yapılmaktadır. Motor ve fren sistemi olan iki farklı tabla bulunmaktadır. Bu tablalar sayesinde tahrikli ve avare olan mil farklı eksenlerde hareket etmektedir. Bu tablalarında hareketi lineer ray ve kızak sistemiyle sağlanmaktadır. Ayrıca tahrikli milin olduğu tabla hassas mafsal ve dişli sistem sayesinde farklı eksenlerde de hareket özgürlüğüne kavuşmaktadır. Bu saydığım sistemler ile iki deney numunesinin hem çizgisel hem de farklı açı ve pozisyonlarda noktasal teması mümkün olmaktadır. Deney numunelerinin birbirine baskı yapabilmesi için halat makara sistemi kullanılmaktadır. Millerin oluşturduğu baskı kuvveti ve fren baslı kuvveti de loadcell sayesinde hassas bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu loadceller sayesinde sürtünme katsayısı da tespit edilecektir. Ayrıca millerdeki devir düşüşleri de takometre ile ölçülebilecektir. Tüm bu sistemler bir ayak üzerine otutturularak kompakt bir şekilde modellenmiştir ve tasarlanmıştır.



Şekil 5.1. Tasarlanan ikiz disk test cihazının Render görüntüsü-1.



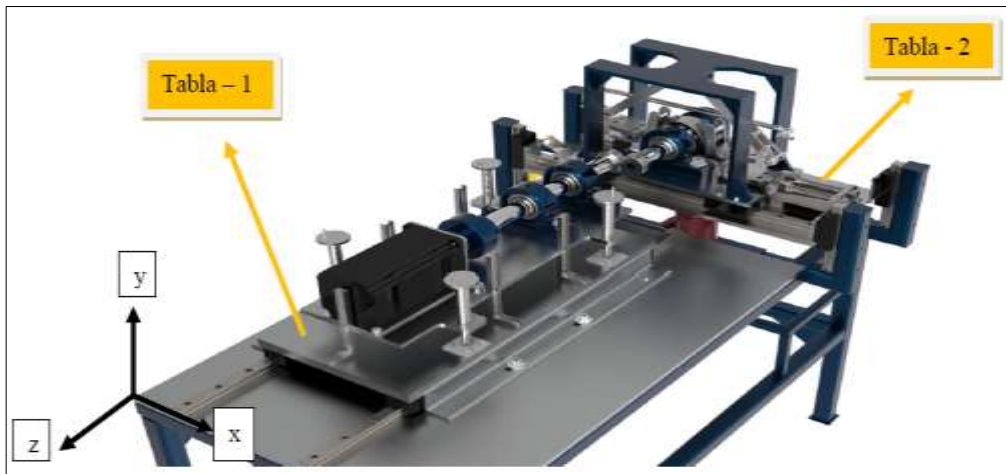
Şekil 5.2. Tasarlanan ikiz disk test cihazının Render görüntüsü-2.

ikiz disk test cihazında deney numunelerinin sisteme bağlandığı millerden bir tanesi tahriklidir. Diğer mil ise avaredir. Tahrikli olan mile hareket 28 Nm torka sahip step motor tarafından sağlanmaktadır. Step motor ile mil arasındaki bağlantı kaplin vasıtasıyla sağlanmaktadır. Her mil iki noktadan yataklı rulmanlar vasıtası ile yataklanmıştır. Mil çapları ANSYS ortamında yapılan analizler doğrultusunda 35 mm olarak belirlenmiştir. Tahrikli milin bulunduğu mekanizma hassas mafsallı vidalı miller ve emniyet çubukları ile donatılmıştır. Bu sayede farklı boyutlardaki deney numunelerinin sisteme farklı açı ve pozisyonlarda bağlanmasına olanak sağlanmıştır. Ayrıca test sırasında sistemde oluşan tork, devir ve açısal hız dalgalanmaları bu mil üzerine yerleştirilecek takometre ile ölçülecektir.

Avare olan millin bağlandığı tablaya farklı şekilde tasarlanmış fren sistemi eklenmiştir. Bu eklenen fren sisteminin amaçları şu şekilde açıklanabilir. Numuneler arasındaki sürtünme faktörünü tespit edilmesi, örneğin dişli ve çarklar gibi moment aktaran sistemlerin testlerinde sistemin çalışması için gereken optimal güç fren sistemi tarafından teste dahil edilecek ve bu şekilde gerçek servis koşullarına en yakın test

ortamı sağlanmış olacaktır ve demiryolu aderans ve çekiş kuvvetinin tespit edilmesi olarak sıralanabilir. Fren sisteminin çalışma prensibini açıklayacak olursak; tahriksiz milin ortasın kasnak geçirilmiştir. Bu kasnağa da fren baskı kuvvetini uygulayan iki adet fren pabucu bulunmaktadır. Fren pabuçlarına baskı, fren tijlerini sıkıştıran ve manuel olarak tahrik edilen ters diş açılmış güç vidası yardımıyla sağlanmaktadır. Fren baskı kuvveti, fren kolu ile fren pabucu arasındaki bağlantıyı sağlayan loadcell tarafından ölçülmektedir.

Deney numunelerinin birbirlerine uyguladıkları temas baskı kuvveti makara halat sistemine asılan yük vasıtası ile uygulanmaktadır. Halat makara sistemi sayesinde fren sistemini de üzerinde bulunan tabla lineer ray kızak üzerinde hareket ettirilmektedir. Halatın sisteme, temas kuvvetini aktaran lineer ray kızak sistemi sayesinde doğrusal şekilde hareket serbestliği kazanan kuvvet aktarım elemanı vasıtası ile bağlanmıştır. Kuvvet aktarım elemanını içerişine dahil edilen ve halattan gelen kuvveti deney numunelerine aktaran iki adet yay ve sönüm elemanı (damper) mevcuttur. Bu sayede deney numunelerin yüzey aşınmalarından, deney numunelerine arasına atılan farklı materyallerden, farklı koşullarda oluşan kontaklar sonucu sistemde oluşan titreşimlerin analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Deney numuneleri arasındaki baskı kuvveti ve deney numunelerinin birbirlerine uyguladıkları reaksiyon geri tepme kuvveti kuvvet aktarım elemanı ile tahriksiz milin bulunduğu tablanın arasına yerleştirilen loadcell vasıtası ile ölçülmektedir. Bu loadcell den alınan veriler ile sürtünme katsayısı da belirlenecektir.



Şekil 5.3. Test cihazındaki hareket mekanizması.

Deneysel numunelerin bağlandığı millerin bağlı bulunduğu Tabla – 1 ve Tabla – 2'nin farklı boyutlardaki deneysel numunelerinin test edilmesi ve deneysel numunelerinin farklı pozisyonlarda test edilebilmesi amacıyla tasarlanan farklı eksenlerdeki hareket serbestliklerini şu şekilde açıklayabiliriz. Tahrikli milin bulunduğu Tabla -1'in z eksenindeki hareketi lineer ray kızak sistemi ile sağlanmaktadır. Sisteme eklenen dört adet güç vidası ile sistemin y keseninde hareket etmesi sağlanmıştır. Güç vidalarını altında bulunan hassas mafsallar sayesinde Tabla – 1 y-x ve y-z eksenlerinde hareket özgürlüğü kazanmıştır. Gerektiğinde Tabla – 1'in y-x ve y-z eksenindeki hareket özgürlüğünü kısıtlamak için açılan kanal üzerinde hareket eden emniyet çubukları kullanılmaktadır. Tabla – 1'in z eksenindeki hareket özgürlüğü dört adet civata ile kısıtlanmaktadır. Tabla – 1 iki parçalı yapısı ve iki parçanın orta noktalarından mil ve yatak sistemi ile bağlanmış olması sayesinde z-x ekseninde çevrilerek açılabilir olarak da testlerin yapılabilmesi mümkündür. Tahriksiz milin bulunduğu Tabla – 2'nin y eksenindeki hareketi hidrolik krikonun (hidrolik piston) sayesinde sağlanmaktadır. Tabla – 2'nin x eksenindeki hareketi de lineer ray kızak sistemi ile sağlanmaktadır. Ayrıca fren sistemi ve deneysel numunelerine temas baskı kuvveti uygulayan kuvvet aktarma elemanı da bu 28able üzerindedir. Yapılan bu şekilde ki tasarım sayesinde deneysel numunelerinin farklı açılarda çizgisel veya noktasal teması mümkün olmaktadır. Demiryolu ray tekerlek ilişkilerinin ve farklı birbiri üzerinde yuvarlanarak veya kayarak hareket eden malzemelerin testlerin servis koşullarına en yakın durumlarla test edilmesi tasarlanmış olduğumuz ikiz disk test cihazı sayesinde mümkün olmaktadır.

Kullanıcı tarafından HDMI üzerinden deneysel numunesi, ilave malzemeler (yağlayıcılar, kum, talaş+kum karışımı vb.), çevrim sayısı, step motor devir bilgisi gibi bilgiler tanımlanarak test başlatılacaktır. Step motor devri PLC(Kontrolcü) tarafından gönderilen sinyaller ile motor sürücü vasıtası ile ayarlanacak. Temas baskı kuvveti loadcell ile ölçülecektir. Loadcell x ekseninde oluşan reaksiyon kuvvetini ölçecek, yüzey düzensizliğinden dolayı oluşan titreşim ve dalgalanmalar loadcell tarafından algılanacaktır. Loadcellden gelen sinyaller PLC tarafından anlık olarak kayıt altına alınıp istenen formatta tablo ve grafik şeklinde veri alınabilecektir. Sürtünme kuvveti mahiyetinin ölçülmesi amacıyla mekanik modellemesi yapılan fren sistemindeki fren kuvveti yine loadcell tarafından ölçülecek ve PLC tarafından anlık olarak kayıt edilip,

istenen format ve birimde verileri tablo ve grafik şeklinde verebilecektir. Bu sistemde avare mil üzerine yerleştirilecek tekerlekli enkoder ile ilk hareket zamanı (ilk harekete hangi çevrim ve baskı kuvvetinde ulaştığı, hareket bilgisi, devir bilgileri alınacak ve PLC tarafında istenilen formatta bilgiye ulaşılabilecektir. (İstenen formattaki bilgiler için PLC programlanacaktır). Çevrim – temas baskı kuvveti – deforme gibi döngüler PLC tarafından değerlendirilecek ve total bilgilere ulaşılabilecektir. Örneğin deforme hangi çevrimde oluştu, sürtünme kuvveti hesaplanırken ilk hareket hangi çevrimde ve hangi kuvvette oluştuğu bilgileri PLC den alınacaktır. Deney numunelerinin yüzey deformelerinden kaynaklı kuvvet dalgalanmaları göz önünde tutularak farklı matematiksel model ve hareket denklemleri oluşturularak konfor hakkında yorumlama yapılabilecektir.

Test cihazındaki motor devri ise aşağıda verilen metot ile belirlenmiştir;

1000 mm çapındaki, 200 km/h hızdaki demiryolu tekerleğin açısal hızının hesaplanması

Demiryolu tekerleğinin hızı : $(200\text{km/h}) \cdot (1000\text{m/km}) / (3600\text{h/s}) = 55.555 \text{ m/s}$

Periyot: $T = (2\pi r) / (v) = (2 \cdot \pi \cdot 0,5) / (55.555) = 0.565 \text{ s}$

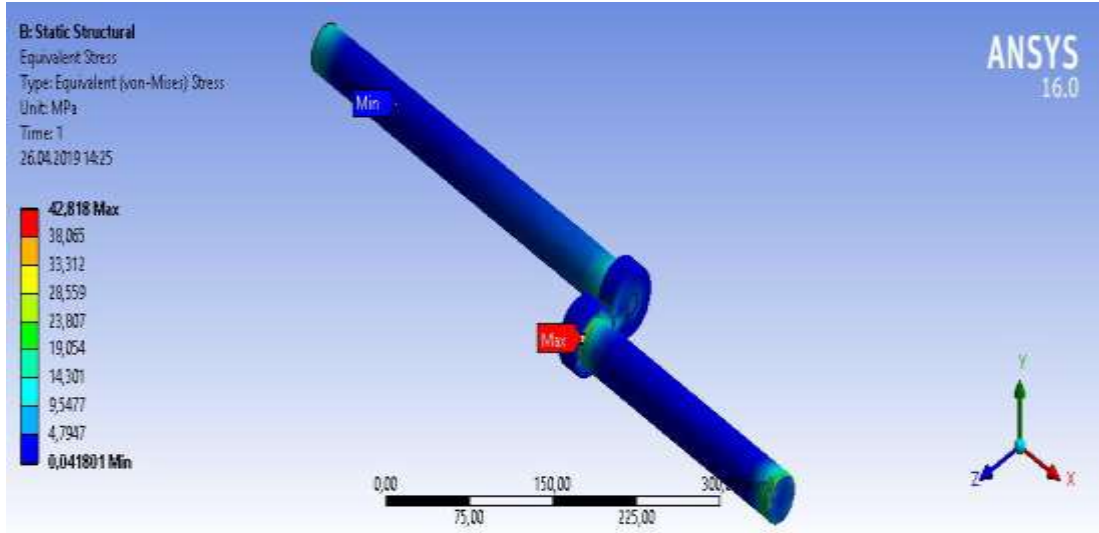
Frekans: $f = (1) / (T) = (1) / (0.565) = 17,699 \text{ s}^{-1}$

Açısal hız: $w = 2\pi f = 2 \cdot \pi \cdot (17,699) = 111,206 \text{ rad/s}$

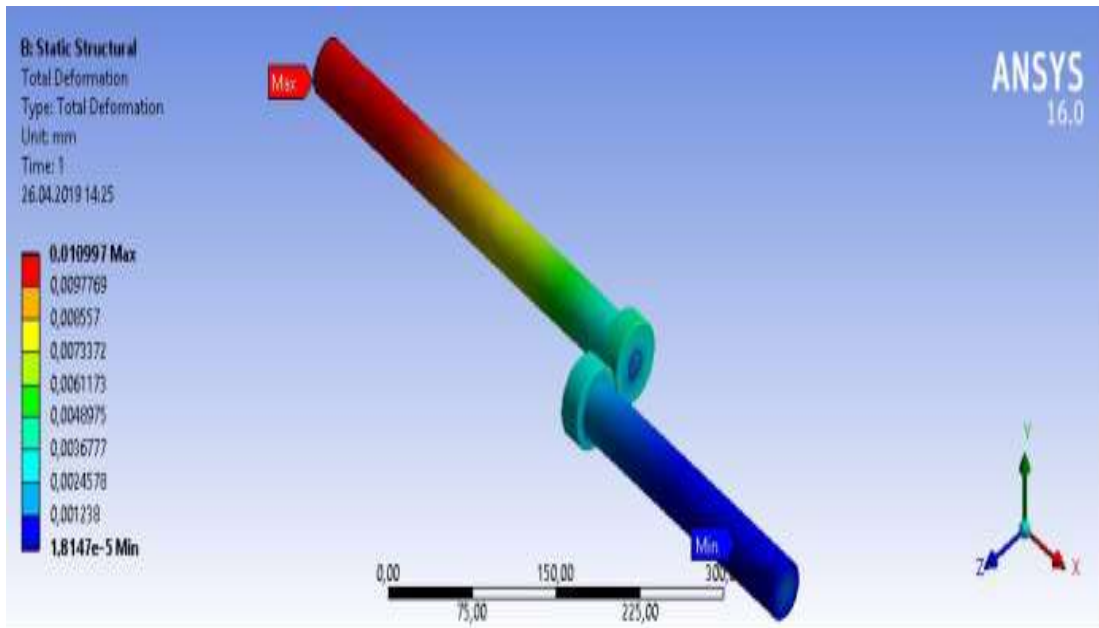
Motor ve test devirlerinin belirlenmesi

$w = 2\pi n / 60 \quad n = (60 \cdot w) / (2 \cdot \pi) = (60 \cdot 111,206) / (2 \cdot \pi) = 1061,939 \text{ d/d}$

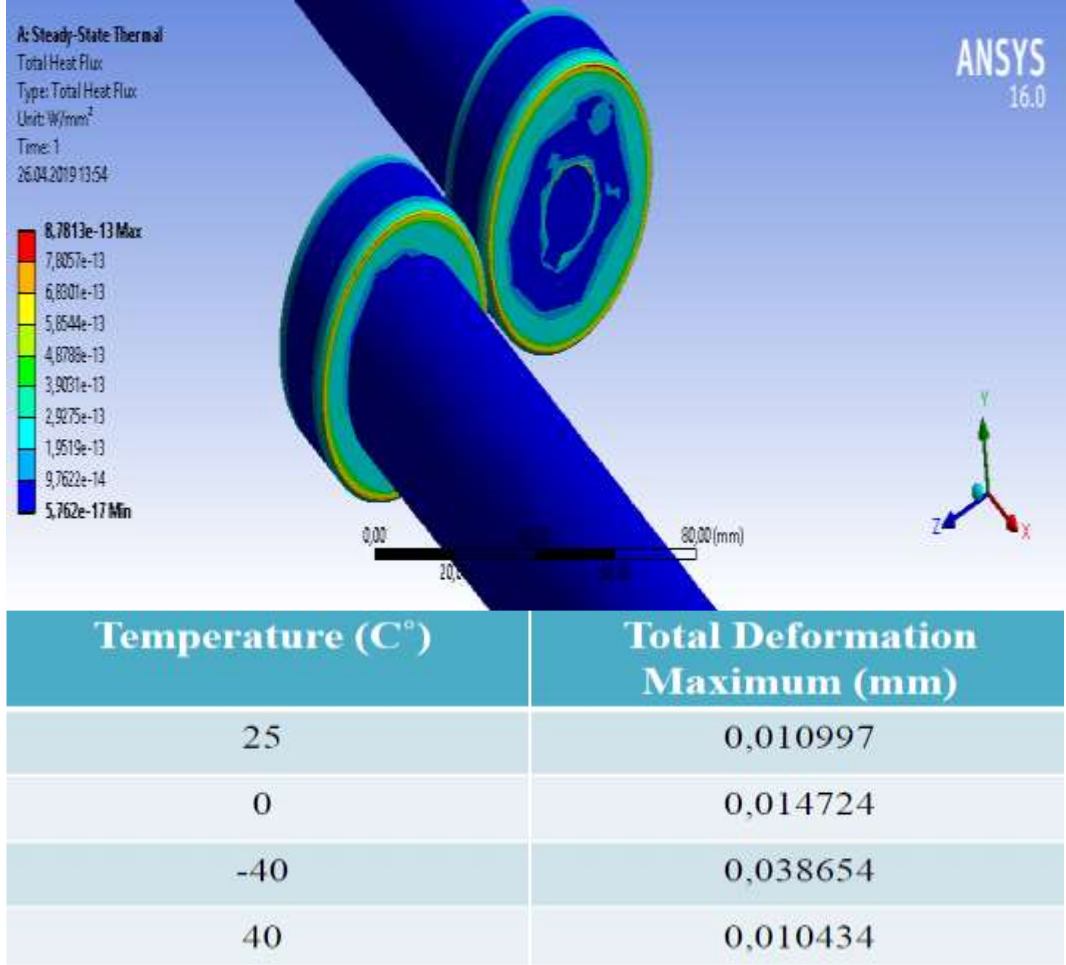
İkiz disk test cihazının tahrik millerinin ve deney numunelerinin analizleri ANSYS ortamında yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4. Deney numuneleri ve tahrik millerinde oluşan gerilmeler.



Şekil 5.5. Deney numunelerinde ve tahrik millerinde oluşan toplam deformasyonlar.



Şekil 5.6. Malzemelerdeki sıcaklığa bağlı oluşan deformasyonlar.

5.2. DENEY NUMUNELERİ

Literatürdeki çalışmalarda, test sırasında kullanılacak olan diskler (deney numuneleri) silindirik biçimde, R8T demiryolu taşıt tekerleğinden ve UIC60 900A ve R350HT kalite demiryolu rayından 10mm kontak iz genişliği ile 40mm çapta geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak çıkartılmıştır. Temas yüzeyleri 1µm hassasiyette yüzey pürüzlülüğünü sağlanacak şekilde işlenmiştir. Deney numunelerinin ikiz disk test cihazı ile olan bağlantısını sağlamak için R8T demiryolu taşıt tekerleğinden ve UIC60 900A kalite raydan 40mm çapta işlenerek çıkartılan deney numunelerine kama yuvası açılmıştır.



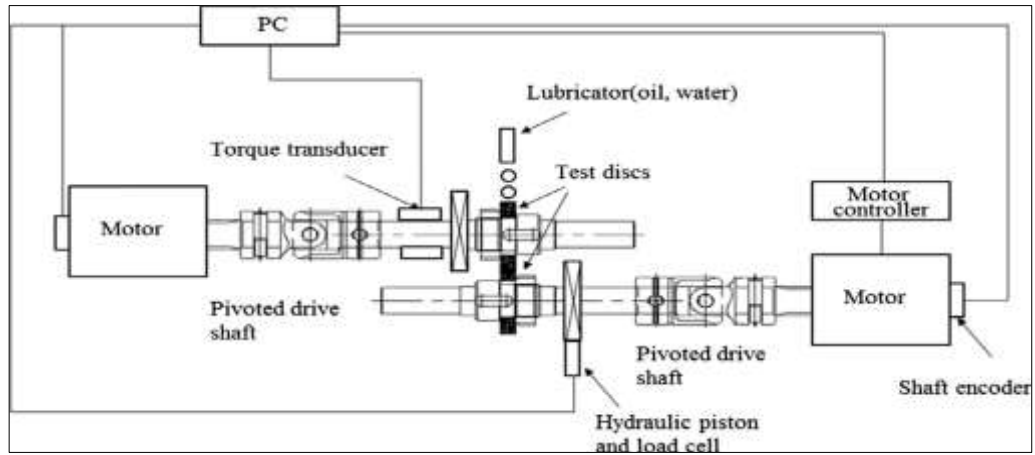
Şekil 5.7. Deney numunelerin hazırlanması [8].

5.3. DENEY KOŞULLARI

Literatür çalışmalarda, İkiz disk testi Sheffield University Rolling Sliding (SUROS) yuvarlanma kayma aşınma cihazı ile yapılmıştır. SUROS ikiz disk test cihazı AC motorlu Colchester Mascot torna tezgâhı ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Şaft sensörleri ile millerin dönme hızları ve devir sayıları sürekli olarak izlenmektedir. Millerden birinin üzerine yerleştirilen tork dönüştürücü sayesinde sistemdeki tork dalgalanmalarını sürekli olarak kayıt altında tutar. Test numuneleri arasındaki temas baskı kuvveti hidrolik piston sayesinde sağlanmaktadır. Deney numuneleri bağımsız iki motor tarafından kontrollü hızlarla çalıştırılmaktadır. Hidrolik pistonun ile sistem arsına yerleştirilen yük hücresi sayesinde temas baskı kuvveti sürekli olarak denetlenir. Deney numunelerinin birbirini üzerindeki kayma davranışları AC motorun dönüş hızının değiştirilmesi ile düzenlenmektedir. Veri depolama ve veri alma işlemleri gerekli programlar sayesinde istenen bilgilere dönüştürülerek bilgisayarda toplanmaktadır. Tekerlek diski tahrik edici disk olarak, ray diski de fren diski olarak kullanılmaktadır [3].

R8T demiryolu tekerleğinden çıkartılan deney numunesi tahrikli edici, UIC60 900A ve R350HT kalite raydan çıkartılan deney numuneleri ise frenleme görevini üstlenecek şekilde modellenmiştir. Bu şekilde yapılan modelleme sonucu ray üzerinde hızlanan bir demiryolu taşıt tekerleği, gerçek servis koşullarına optimum düzeyde yaklaşılarak modellenmiş olacaktır. İkiz disk test cihazı ile yapılan bütün deneylerde cihazın tahrikli şaftlarının nominal devri 400 rpm, maksimum temas basıncı ise 1500 Mpa

olarak ayarlanmıştır. Yapılan çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk işlem olarak temel ölçümler yapılmıştır, ikinci aşama olarak ise test sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Hidro – basınçlandırmanın (hidro-basınçlandırılma durumu için su için değerlendirilmiştir.) çatlak ilerlemesi ile sonuçlanması için ray malzemesi 4000 çevrime kadar tabii tutulmuştur. Test numuneleri başlangıçta 4000 çevrime kadar kuru ortam koşullarında çalıştırılmış ve 4000 çevrim ile 21000 çevrim arası sulu ortam koşullarında çalıştırılmıştır. Test sırasında ortama çatlak derinliği yaklaşımının aksine çatlakların oluşması için gereken çevrim sayısı yaklaşımı ve çatlak tespiti için de girdap akımı sistemi kullanılmıştır. Bu yaklaşımın kullanılmasının sebebi, yalnızca RCF ömrü yerine çatlak frekansı, derinliği, uzunluğunun doğrudan tespit edilmesinin mümkün olmasıdır. Test numunelerine uygulanan yağlama koşulları Network Rail standartlarına uygun olarak seçilmiştir. Test numunelerine temas ettirilen yağlayıcılar 0.05gr/500devir oranında, su ise 1damla/sn oranında uygulanmıştır [1].



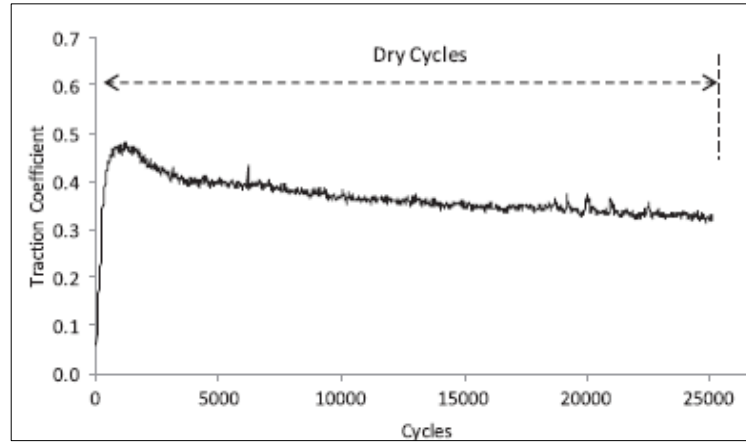
Şekil 5.8. SUROS test düzeneği [8].

BÖLÜM 6

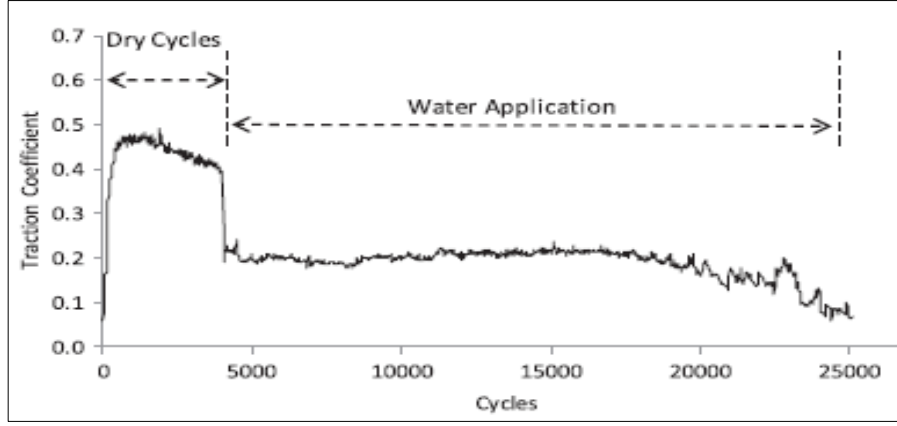
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. ÇEKİŞ KUVVETİ VERİLERİ

Litaratürdeki çalışmalar incelenip değerlendirildiğinde, Raylı sistem araçlarının çekiş performansı, ray ve tekerlek arasında sürtünme kuvveti ile doğru orantılıdır. Testler sırasında numuneler arasındaki sürtünme kuvveti devamlı olarak kayıt altına alınmıştır. Çekiş katsayısı verileri 8000 ve 15000 çevrim arasında ki ortalama çekiş kuvveti dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde tekerlek ve ray arasındaki sürtünme kuvvetinin artması ile çekiş performansının da iyileştiği saptanmıştır.



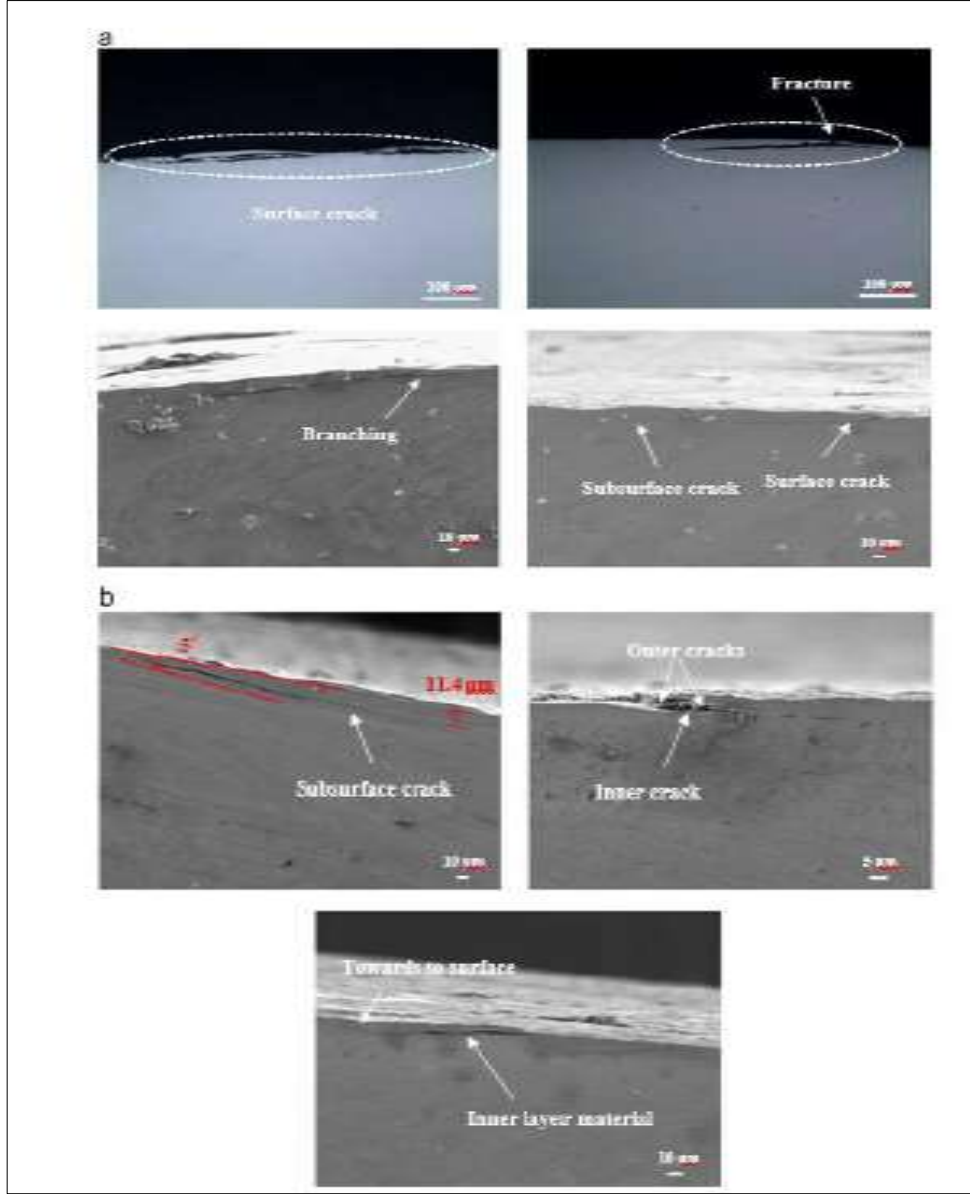
Şekil 6.1. Kuru temas koşullarındaki oluşan çekiş katsayısı [1].



Şekil 6.2. Sulu koşullarındaki çekiş katsayısı (1500Mpa, %1 sürünme,400rpm) [1].

6.2. AŞINMA ORANI VE YÜZEY HASARI

Litaratür incelendiğinde, ray malzemesinden çıkartılan test disklerinin aşınma oranı kayma oranının artması ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum demiryolu tekerlek malzemesinden çıkartılan test diski içinde benzerlik göstermektedir. Ray tekerlek kontaklarında araya giren üçüncü cisim malzemelerinden gres için hafif aşınma görülmüştür. Test sonrası ray malzemesinden çıkartılan disk incelendiğinde yüzey tabakasında oluşan kopmalar ile birlikte yüzey oksidasyonu belirtileri de görülmüştür. Buradan çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde malzeme yüzeyinde oksidasyon tabakası oluştuğu ve sonrasında malzeme yüzeyinden koptuğu görülmüştür. Kaymanın %20 oranında yükseltilmesi durumunda, hasarlı yüzeylerde ciddi plastik deformasyon akışı gözlenmiştir. Bunun sebebi temas sıcaklığının artmasından dolayı, ray malzemesinin yüzeyindeki akma gerilmesinin azalmasıdır. Yüzey çatlakları teğetsel kuvvetin artmasıyla kendini göstermektedir. Tüm bu sonuçların neticesinde, ray ve tekerlek disklerinde meydana gelen aşınma durumların hafif oksidasyon aşınması ve yüzey çatlakları kaynaklı ağır yorulama aşınması olduğu tespit edilmiştir.

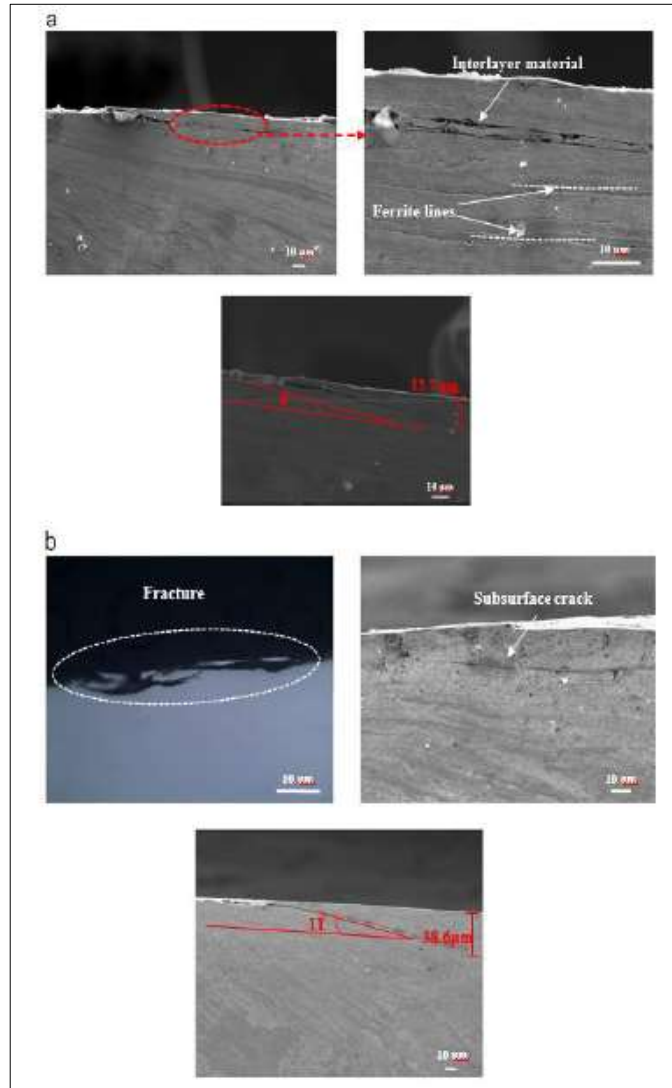


Şekil 6.3. Malzemelerde %2,38 kaymada oluşan çatlaklar a) ray b) tekerlek [7].

6.3. YÜZEY ALTI HASAR ANALİZİ

Tekerlek diskinde oluşan çatlakların yüzeye paralel olarak ilerlediği görülmektedir. Ray diskinde oluşan çatlakların ise yüzeye doğru genişlediği görülmektedir. Ray ve tekerlek disklerinde %0,91'den daha fazla kayma durumunda yorulma kaynaklı çatlaklar oluşmaktadır. Yapılan incelemeler sonucu ray numunesi üzerinde çok yapıllı çatlakların oluştuğu, tekerlek diskinde oluşan çatlakların ise kırılması sonucu tekerlek yüzeyinden parça soyulması meydana geldiği görülmektedir. Ray diskinde oluşan çatlakların açısı 5°'dir. Çatlak derinliği ise 13μm'ye ulaşmaktadır. Teğetsel kuvvet ve

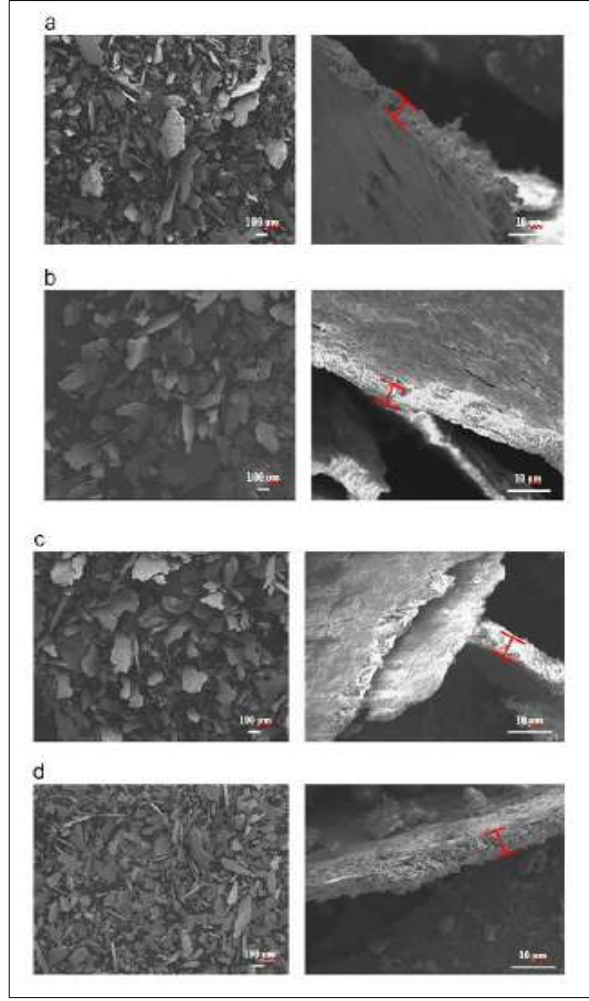
plastik deformasyon arttıkça çatlakların derinliği ve açısı artmaktadır. Ray diskindeki çatlak açısı büyüktür çünkü plastik akış derinlik yönünde uzamaktadır. Demiryolu makas bölgelerinde oluşan çatlaklar normal düz hatlara göre daha fazla kendini göstermektedir. Malzeme de oluşan kalama da şu şekilde açıklanabilir. Yüzeyde başlayan çatlak, iç tarafa doğru ilerledikçe büyür ve dallanmaya başlar. Ray ve tekerlek malzemelerin mikroyapılarının deformasyonları nedeniyle plastik deformasyon hattı ilerler. Çatlak dalları yüzeye ulaştınca yüzey tabakası soyulur ve dökülür.



Şekil 6.4. Malzemelerde oluşan yüzey ve yüzay altı hasarlar [7].

6.4. AŞINMA KALINTILARI

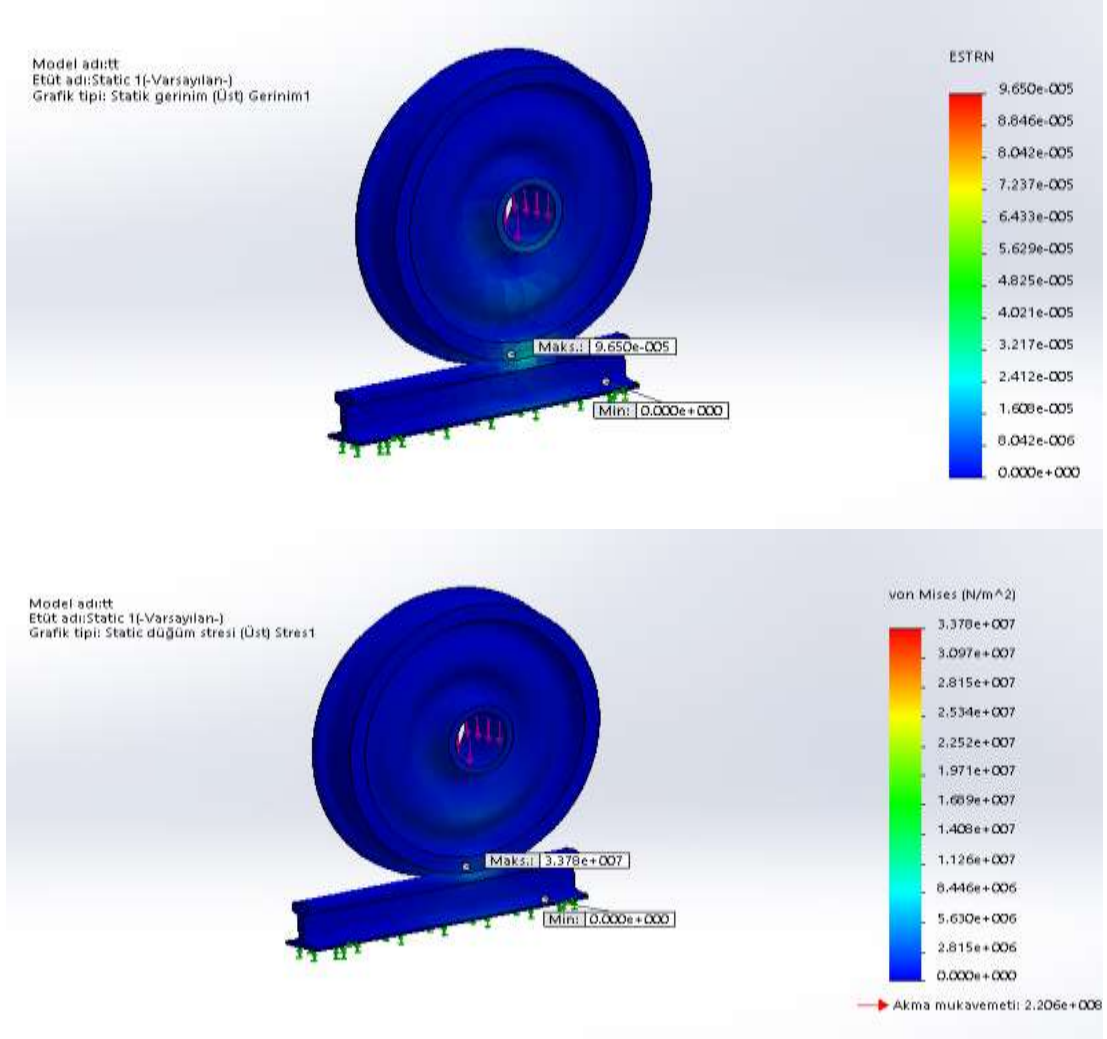
Aşınma kalıntıları oluşma sebebi, ray ve tekerlek disklerin de oluşan aşınma kaynaklı hasarlarıdır. Aşınma sonucu malzeme yüzeyinde görülen kalıntılar metalik yapı esaslı kalıntılardır. Aşınma kalıntıları yüzey yapıları düzgündür ve boyut kalınlık gibi hacimsel özellikleri çok az farklılık göstermektedir. Aşınma kalıntılarının ana bileşiminin demir oksit (Fe_2O_3) olduğu görülmektedir. Düşük kayma oranı koşulunda oksidasyon aşınması baskındır. Bu durumda yüksek oksit içerikliyi ve düşük demir içerikliyi durumu mevcut olmaktadır. Sürtünme katsayısı kayma oranının artması ile artış göstermektedir. Bunun sebebi kayma oranı arttıkça, kayma bölgesi genişerek sürtünme katsayısının artmasına sebep olmaktadır. Ray diskinin sertliği deneyden önce tekerlek diskinin sertliğinden yüksektir. Test sonrası yapılan ölçümler sonucu her iki diskinde sertliği artış göstermiştir. Kayma oranı arttıkça tekerlek ve ray malzemelerinin yüzey sertliği artmaktadır. Kayma oranı malzemelerin plastik deformasyon davranışları ile de yakından ilgilidir. Düşük kayma oranlarında plastik deformasyon davranışı zayıftır. Kayma oranı arttıkça malzemelerin plastik deformasyon davranışları belirgin ölçüde artmaktadır. Yüzey altı sertliğinin düşük kayma koşullarında yüzey sertliğinden daha yüksek olduğu dikkat çekmiştir.



Şekil 6.5. Aşınma kalıntıları [7].

6.5. RAY-TEKERLEK KONTAK ANALİZİ

Demiryolu ray-tekelek takımının kontak halindeki çalışma durumuna göre sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve sonucu aşağıda paylaşılmıştır.



Şekil 6.6. Analiz sonucu.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada, ray tekerlek etkileşiminde ray ve tekerleklerde meydana gelen hasarlar incelenmiş ve şu sonuçlar çıkarılmıştır.

Malzemelerdeki kayma oranı arttıkça sürtünme katsayısı (çekiş katsayısı) ve aşınma hacmi artmaktadır. Test numunelerinin aşınma mekanizmaları hafif aşınmadan kaymanın artması ile şiddetli aşınmaya dönüşmüştür.

Ray ve tekerlek malzemelerin de farklı kayma oranlarında farklı hasarlar meydana gelmiştir. Kayma oranının artması ile oksidasyon aşınması, adezyon aşınması ve malzemenin yorulmasından kaynaklı oluşan aşınma değerleri artmaktadır.

Aşınma sonucu malzeme yüzeylerinde oluşan aşınma kalıntılarının büyük bir kısmını Fe₂O₃ (Demir oksit) oluşturmaktadır.

Kuru ortam koşullarında ki ray tekerlek kontakları sonucu malzemelerde oluşan hasarlar ile kontaklara dahil olan üçüncü cisim malzemelerinin oluşan hasarlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kuru ortam koşulları karşılaştırılırsa su ve gres koşullarının aşınması için kuru ortam koşullarına göre daha yüksek enerji gerekmektedir. Malzemelerde kayma oranı arttıkça aşınma hasarları da artmaktadır.

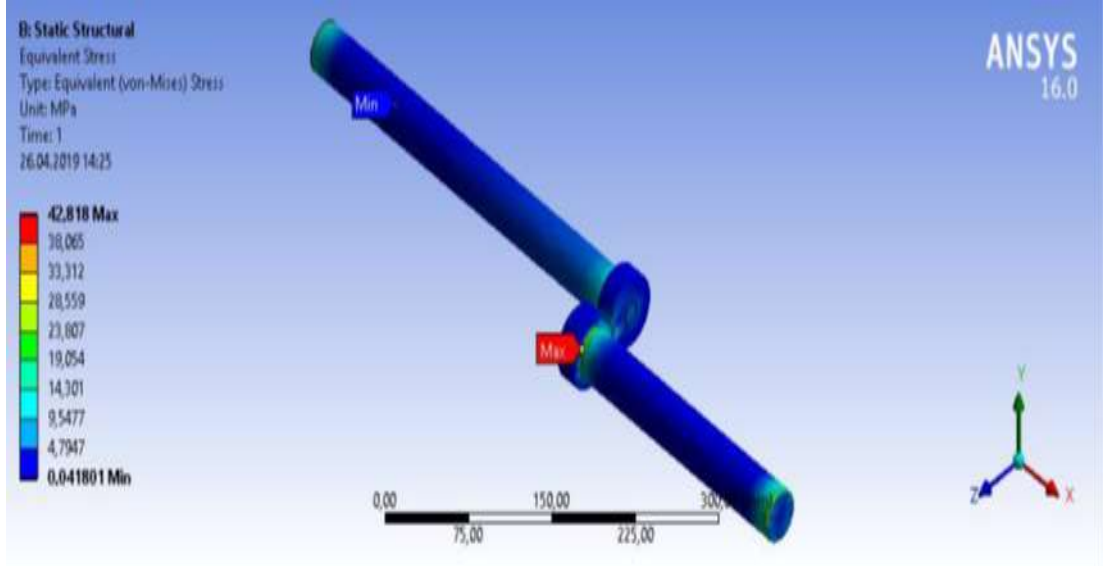
RCF hasarı olan bölgeye sıvı malzeme enjekte olduğunda hidro- basınçlandırma sebebi hızlı çatlak büyümesi oluşmaktadır.

KAYNAKLAR

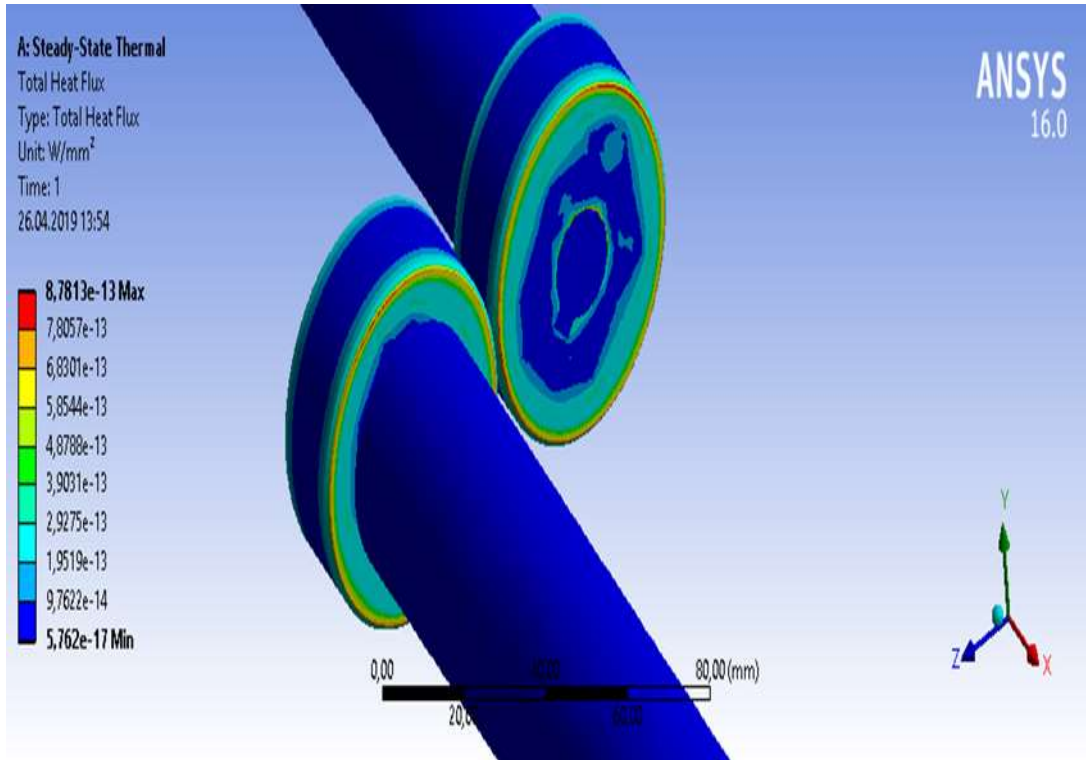
1. Hardwick, C, Lewis, R., Stock, R., “The effects of friction management materials on rail with pre-existing rcf surface damage”, *Wear*, 384-385, 50-60 (2017).
2. Hardwick. C, Lewis.R, Eadie D.T. 2014 “Wheel and rail Wear – understanding the affects of water and grease”, *Wear*, 314, 198-204 (2014).
3. Jiang, W. J, Liu, C, He, C. G, Guo.J, Wang, W. J, Liu, Q. Y., “Investigation on impact wear and damage mechanism of railway rail weld joint and rail materials”, *Wear*, 376-377, 1938-1946 (2017).
4. Dr. Bernhard Lichtberger., “Demiryolu Cep Kitabı.”, Hamburg, 20010 (2011).
5. Eroğlu., “Raylı sistemlerde ray ve teker arasındaki temas analizinin ANSYS ortamında incelenmesi”, Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana bilim dalı*, Karabük (2014).
6. Özdemir, Y., “Ray-Tekerlek temasında temas parametrelerinin incelenmesi”, *Demiryolu Mühendisliği*, 11, 1-13 (2020).
7. Ma, L., He, C.G., “Study on wear and rolling contact fatigue behaviors of wheel/rail materials under different slip ratioconditions”, *Depermant of mechanical Engineernig Zhejiang University*, China (2015).
8. Jung-Won, S., Hyun-Kyu, J., Seok-Jin, K., Dong-Hyeong, L., “Rolling contact fatigue and wear of two different rail steels under rolling–sliding contact”, *International Journal of Fatigue*, 83, 184-194 (2016).
9. Galas, R., Omasta, M., Krupka, I., Hartl, M., “Laboratory investigation of ability of oil-based friction modifiers to control adhesion at wheel-rail interface”, *Wear*, 368-369 (2016).
10. Zhou, Y., Peng, J. F., Wang, W. J., Jin, X. S., Zhu, M. H., “Slippage effect on rolling contact wear and damage behavior of pearlitic steels”, *Wear*, 362-363 (2016).

EK AÇIKLAMALAR A.

ANALİZ SONUÇLARI



Şekil Ek A.1. Deney numunelerinde oluşan gerilmeler



Şekil Ek A.2. Deney numunelerinin termal analizi

ÖZGEÇMİŞ

İsmail ŞEN ilk öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Nevzat Ayaz Anadolu Öğretmen Lisesinden mezun oldu. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Raylı Sistemler Mühendisliği Programı'nda öğrenime başlayıp 2019 yılında 3,60 ortalama ile mezun oldu. 2019 yılında yine Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında KOLİN GRUP ve ÇAMSAN ORDU A.Ş. ortaklığıyla Kastamonu da kurulan KOLÇAM A.Ş. OKAL Sunta tesisinde teknik işlerden sorumlu mühendis olarak göreve başladı ve hale görevine devam etmektedir.