

**PERLİTİK RAY ÇELİKLERİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ABRASİV
AŞINMAYA ETKİSİ**

Yelda IŞIK

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Aralık 2013

KABUL:

Yelda IŞIK tarafından hazırlanan "PERLİTİK RAY ÇELİKLERİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ABRASİV AŞINMAYA ETKİSİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
03/12/2013

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK (BEÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatmagül KOLTUK (BEÜ)

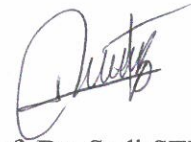


Üye : Yrd. Doç. Dr. Gülhan ÇAKMAK (BEÜ)



ONAY:

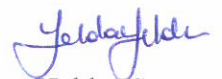
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./..../2013



Prof. Dr. Şadi ŞEN

Fen Bilimleri 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.”


Yelda IŞIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PERLİTİK RAY ÇELİKLERİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ABRASİV AŞINMAYA ETKİSİ

Yelda IŞIK

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK

Aralık 2013, 79 sayfa

Demiryolu raylarındaki aşınmanın azaltılması, ray çeliğinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri ile birlikte rayın yüzey pürüzlülüğüne de bağlıdır. Bu tezde, Türkiye’de şehirlerarası tren hatlarında kullanılan R260 perlitik çelik numuneler, 10°C/dak hızla 800°C sıcaklığa çıkarılıp bu sıcaklıkta 15 dakika ostenitleme işlemine tabii tutulmuştur. Ostenitleme işleminden sonra numunelere, 550°, 525° ve 500°C sıcaklıklar için 5 dakika fırında tutma ve havada soğutma şeklinde ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işlemi sonucu farklı lamellerarası mesafeye sahip çeliklerin sertlik değişimleri ve mikroyapıları incelenmiştir. Daha sonra, 3 farklı taş ile taşlama işlemi yapılarak farklı yüzey pürüzlülüğündeki numunelerin kuru koşullar altında aşınma davranışı ball-disk aşınma cihazında 10 N yük altında 100, 200 ve 400 m uzunluğundaki yollarda incelenmiştir. Aşındırıcı olarak, ray numunesinden yaklaşık olarak 4 kat daha sert olan abrasiv sentetik ruby ball kullanılmıştır. Farklı mikroyapı ve farklı mekanik özelliklere sahip numunelerin abrasiv aşınma davranışları, yüzey pürüzlülüğü ile birlikte değerlendirilmiş ve karşılaştırılarak irdelenmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Kelimeler: Perlitik ray çeliği, Abrasiv aşınma, Lamellerarası mesafe, Yüzey pürüzlülüğü

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ABRASIVE WEAR EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS IN THE PEARLITIC RAIL STEELS

Yelda ISIK

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Science

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Handan BAYCIK

December 2013, 79 pages

A reduction of wear on rails depends on the rail steel microstructure and mechanical properties and also rail surface roughness. In this study, R260 pearlitic rail steel samples used in intercity railway lines is austenitized for 15 minutes at 800°C by increasing temperature with a rate of 10°C/min. After austenitization, heat treatment is applied on samples at 3 different temperatures; those are 550, 525 and 500°C by means of waiting at 5 minutes in oven and cooling open air. Then, changes in hardness and the microstructure of steels with different interlamellar spacing are examined. Then, the wear behavior of different samples with 3 different surface roughness of grinding are examined by using ball-disc wear apparatus under dry conditions and on 10 N load with the length of 100, 200 and 400 m. As an abrasive, a synthetic ruby ball which is about four times harder than the rail samples is used. The abrasive wear behaviour of samples with different microstructure and mechanical properties are evaluated and compared with the surface roughness.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Pearlitic rail steel, Abrasive wear, Interlamellar spacing, Surface roughness

Science Code: 625.02.05

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın her aőamasında desteğini ve katkılarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Do. Dr. Handan BAYCIK'a, Yrd. Doç. Dr. Fatmagül KOLTUK'a ve deney çalıőmalarımnda yardımını esirgemeyen Araő. Gör. Sudi KALAMAN'a teşekkür ederim.

Çalıőmamda bana mali destek sağlayan Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (BAP Proje No: 2012-17-10-02) teşekkür ederim.

Eğitim ve çalışma hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
BÖLÜM 3 SÜRTÜNME VE AŞINMA.....	11
3.1 SÜRTÜNME	11
3.1.1 Statik Sürtünme	11
3.1.2 Maksimum Statik Sürtünme	11
3.1.3 Dinamik Sürtünme	12
3.1.4 Kuru Sürtünme	12
3.1.5 Sıvı Sürtünme	13
3.1.6 Sınır Sürtünmesi	13
3.2 AŞINMA	13
3.2.1 Aşınma Çeşitleri	14
3.2.1.1 Adhesiv Aşınma	14
3.2.1.2 Abrasiv Aşınma	15
3.2.1.3 Korozif Aşınma	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.4 Yorulma Aşınması	17
3.2.1.5 Öğütmeli Aşınma	17
3.2.1.6 Erozyon Aşınması	18
3.2.1.7 Yuvarlanma Aşınması	18
3.2.1.8 Difüzyon Aşınması	19
3.2.1.9 Termal Aşınma	19
3.2.2 Aşınma Deneyleri ve Ölçme Metotları	19
3.2.2.1 Pin-Disk Deney Metodu	19
3.2.2.2 Pin-Belt Deney Metodu	20
3.2.2.3 Ball-Disk Deney Metodu	21
3.2.2.4 Pin-Drum Deney Metodu	21
3.2.2.5 Ağırlık Farkı Metodu	22
3.2.2.6 Kalınlık Ölçme Metodu	22
3.2.2.7 İz Alanı Karşılaştırma Metodu	23
3.2.2.8 Radyoizotoplar ile Ölçme Metodu	23
BÖLÜM 4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	25
4.1 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ PARAMETRELERİ	25
4.1.1 Ortalama Çizgi Sistemi	26
4.1.2 Zarf Sistemi	27
4.1.3 Profil Sapmalarının Aritmetik Ortalaması	28
4.1.4 Maksimum Tepe-Dip Yüksekliği	30
4.1.5 Geometrik Ortalama Değer	31
4.1.6 Profil Maksimum Tepe Yüksekliği	31
4.1.7 Profil Düzensizliklerinin On Nokta Yüksekliği	31
4.2 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇME METOTLARI	32
4.2.1 Dokunma Metodu	32
4.2.2 Mekanik Çalışma Metodu	32
4.2.3 Hidrolik Metot	32

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2.4 Pnömatik Metot	33
4.2.5 Replika Metodu	33
4.2.6 Yüzey Dinamometresi Metodu	33
4.2.7 X Işını Metodu	33
4.2.8 Optik Mikroskop Metodu	33
4.2.9 Kesit Alma Metodu	33
4.2.10 Karşılaştırma Mikroskobu Metodu	34
4.2.11 Işık Yansıması (İnterferometri) Metodu	34
4.2.12 İzleyici Uçlu Cihazlar Metodu	34
4.2.13 Elektro-Fiber-Optik Sistem Metodu	34
4.2.14 Işık Bantlı Mikroskop Metodu	35
4.2.15 Yaylı Tip Profilometreler Metodu	35
4.2.16 Elektrikle Çalışan Profilometreler Metodu	35
BÖLÜM 5 RAYLAR	37
5.1 RAY ÇELİKLERİ ve MİKROYAPISI	37
5.2 PERLİTİK DÖNÜŞÜM	39
5.3 RAYLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ	40
5.4 RAYLARIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	40
5.5 RAYLARIN AŞINMASI	42
5.6 RAYLARIN TAŞLANMASI	46
BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
6.1 DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER	49
6.2 NUMUNE HAZIRLANMASI	49
6.3 ISIL İŞLEM	50
6.4 MİKROYAPI İNCELEMELERİ	51
6.5 LAMELLERARASI MESAFE ÖLÇÜMÜ	52

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
6.6 SERTLİK ÖLÇÜMLERİ	52
6.7 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ	53
6.8 AŞINMA DENEYLERİ	53
BÖLÜM 7 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	57
7.1 MİKROYAPI VE LAMELLERARASI MESAFE ÖLÇÜM SONUÇLARI	57
7.2 SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI	60
7.3 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ SONUÇLARI	61
7.4 AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	61
BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
BİBLİYOGRAFYA	77
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Kuru sürtünme modeli	12
3.2	Adhesiv aşınmada kaynak oluşumu	15
3.3	Abrasiv aşınmanın şematik gösterimi, a) iki cisimli abrasiv aşınma, b) üç cisimli abrasiv aşınma	16
3.4	Korozif aşınma	17
3.5	Öğütmeli aşınma	18
3.6	Erozyon aşınması	19
3.7	Pin-disk aşınma cihazı şematik gösterimi	20
3.8	Pin-belt deney metodunun şematik gösterimi	20
3.9	Ball-disk deney metodunun şematik gösterimi	21
3.10	Pin-drum deney metodunun şematik gösterimi	21
4.1	Yüzey kalitesi için sayısal değerlerin tanımı ve gösterimi	26
4.2	Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi	27
4.3	Zarf eğrisinin elde edilişi	28
4.4	Ortalama zarf eğrisi	28
4.5	Alanlarla R_a 'nın gösterimi	29
4.6	Tepe-dip yüksekliği aynı olan yüzey örnekleri	31
4.7	On nokta yükseklik hesabı için ortalama ölçümler	32
5.1	Perlitik mikroyapının fotoğrafı	37
5.2	Beynitik mikroyapı a) Sementit ferrit çubukları arasında, b) Sementit ferrit çubukları üzerinde	38
5.3	Raylarda görülen dalgalı aşınma	42
5.4	Raylarda görülen yuvarlanma-kayma aşınması	43
5.5	Ray abrasiv aşınma hasarı	44
5.6	Sertliğin perlitik yapıdaki lamellerarası mesafe ile değişimi	45
5.7	Farklı temas basınçlarında lamellerarası mesafenin aşınma oranına etkisi	45
5.8	Farklı temas basınçlarında aşınma oranının sertliğe etkisi	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.9 Ray taşlama araçları ile taşlama	48
5.10 Elle ray profili taşlama	48
6.1 8 mm dekarbürizasyon tabakası ve numunelerin alındığı 10 mm kalınlığındaki tabaka	50
6.2 500°, 525° ve 550°C için sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi	50
6.3 Metkon IMM 901 marka optik mikroskop ve Clemex görüntü analiz cihazı	51
6.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	52
6.5 Lamellerarası mesafe ölçümü	52
6.6 Yüzey profilometre cihazı	53
6.7 Tribotechnic marka aşınma cihazı	54
6.8 Aşınmanın şematik olarak gösterimi	54
7.1 R260 ray çeliği mikroyapısı (x100 ve x400)	57
7.2 500°C'de (T500) ısıtılmış ray çeliğinin mikroyapısı (x100 ve x400)	57
7.3 525°C'de (T525) ısıtılmış ray çeliğinin mikroyapısı (x100 ve x400)	58
7.4 550°C'de (T550) ısıtılmış ray çeliğinin mikroyapısı (x100 ve x400)	58
7.5 Isıtılmış uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin SEM görüntüleri (x2000)	59
7.6 Lamellerarası mesafenin sıcaklıkla değişimi	60
7.7 Isıtılmış görmemiş M sertlikteki taşla taşlanan numunenin 100 m kayma mesafesindeki aşınma iz alanı ölçümlerinden biri	61
7.8 Taşlamanın aşınma iz alanına etkisi (Kayma mesafesi 100 m)	62
7.9 Farklı taşlarla taşlanan ısıtılmış görmemiş numunenin (N) aşınma iz alanları (Kayma mesafesi 100 m)	62
7.10 Lamellerarası mesafenin ve yüzey pürüzlülüğünün aşınma iz alanına etkisi (Kayma mesafesi 100m)	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
4.1	İşleme yöntemlerine göre pürüzlülük değerleri (R_a)	30
6.1	Deneysel çalışmada kullanılan R260 ray çeliğinin kimyasal bileşimi	49
6.2	Taşılama taşlarının özellikleri	53
7.1	a) Yüzey pürüzlülüğü ve kayma mesafesinin aşınma iz alanına etkisi, b) Yüzey pürüzlülüğü ve kayma mesafesinin aşınma oranına etkisi	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Aşınma izinin alanı
C	: Karbon
d	: Cismin Yoğunluğu
D	: İz derinliği
F	: Kuvvet
Fe ₃ C	: Sementit
F _n	: Normal kuvvet
F _s	: Statik sürtünme kuvveti
g	: Gram
G	: Ağırlık kaybı
GPa	: Gigapascal
HB	: Brinell
HV	: Vickers
kg	: Kilogram
K	: Kelvin
kV	: Kilovolt
L	: İz genişliği
m	: Metre
M	: Yükleme ağırlığı
MGT	: Milyon gross ton
mm	: Milimetre
N	: Newton
nm	: Nanometre
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
s	: Saniye
S	: Aşınma yolu
V	: Vanadyum

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

Wa	: Aşınma oranı
μm	: Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$: Sanigrat derece
μ	: Sürtünme katsayısı
α	: Ferrit
γ	: Ostenit

KISALTMALAR

ASM	: American Society for Materials
CEN	: European Committee for Standardization
EDXRF	: Energy Dispersive X-Ray Fluorescence
EN	: European Norms
FAST	: Facility for Accelerated Servicing Testing
ISO	: International Organization for Standardization
SEM	: Scanning Electron Microscope
TS	: Türk Standardı
UIC	: International Union of Railways

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde karayollarında trafik yoğunluğu, meydana gelen kazalar ve havayolları ulaşımının pahalılığı demiryolu kullanımının önemini arttırmıştır. Ulaşımdaki öneminin artmasıyla demiryolu üst yapı malzemelerinden raylardaki sorunların daha geniş irdelenmesi gerekmiştir. Demiryollarında artan yük ve hızlar nedeniyle en sık karşılaşılan problemlerden biri aşınmadır.

Trafik yük ve hızına bağlı olarak demiryollarında değişik raylar kullanılır. Ray üretimi sırasında sıcak haddelemeden çıkan raylar havada, suda veya ızgara üzerinde soğutulur. Bu soğutmaların sonucunda farklı mikroyapılarda raylar elde edilir ve ray çeliklerinin mikroyapısı da aşınma davranışını etkilemektedir. Geleneksel ray çeliği olarak tercih edilen perlitik çeliklerin lamellerarası mesafesi; sertlik, akma dayanımı, çekme dayanımı, kesit daralması, süneklik ve darbe dayanımı değerlerini etkilediği gibi aşınma oranını da kuvvetli bir şekilde değiştirmektedir. Ayrıca, ray yüzey pürüzlülüğünün artması sürtünmeyi, dolayısıyla aşınmayı artırmaktadır.

Raylarda meydana gelen aşınmalar, perlitik çeliklerde lamellerarası mesafesinin ısı işlem ile değiştirilmesi, lamellerarası mesafe ve aşınma ilişkisi çeşitli araştırmacılar tarafından irdelenmiştir. Lamellerarası mesafenin azalmasıyla sertliğin arttığı, sertliğin artmasıyla aşınma dayanımının arttığı bilinmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de şehirlerarası tren hatlarında kullanılan 60 kg/m’lik (R260) perlitik ray çeliği kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi ve mikroyapıları incelenen numuneler ostenitleme işleminden sonra farklı sıcaklıklarda sabit süre ile tutularak farklı lamellerarası mesafeye sahip çelikler elde edilmiştir. Bu çeliklerin lamellerarası mesafesi ve sertlikleri ölçülmüştür. Daha sonra farklı taşıma taşları ile değişik yüzey pürüzlülüklerine sahip numunelerin ball-disk aşındırma cihazında sentetik rubby ball aşındırıcılar kullanarak kuru ortamda ve farklı yollar için aşınma oranları saptanıp irdelenmiştir.

Bu irdemelerin sonucunda, aşınma sonucu oluşan kazaların önlenmesi, işletmenin durması, tamirat, bakım, yeni ray alınması gibi maliyet artırıcı faktörlerin en düşük seviyeye indirilmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Sıcak haddelemeden çıkan rayların sıcaklığı yaklaşık 900°C'dir. Haddeden çıkan raylar havada, suda, yağda veya ızgara üzerinde oda sıcaklığına kadar soğutulur (Ringsberg and Lindbäck 2003, Srimani et al. 2005, Kalaycıoğlu 2006, Sahay et al. 2009, Herian and Aniolek 2010 ve 2011). Soğuma sırasında soğuma hızına bağlı olarak farklı mikroyapıda raylar elde edilir. Trafik yük ve hızına bağlı olarak demiryollarında genellikle perlitik ve beynitik yapıya sahip çelikler ray olarak tercih edilir (Bhadeshia 1999, Singh et al. 2001, Zhang et al. 2007, Sahay et al. 2009, Sladojevic et al. 2010, Cvetkovski et al. 2010, BS EN 13674-1 2011).

Ferritik-perlitik çeliklerin özellikleri, perlit içerisinde bulunan ferrit ve sementitin lamellerarası mesafesi ile değişmektedir. Lamellerarası mesafe azaldıkça sertlik ve akma dayanımındaki artışın yanı sıra aşınma dayanımı da artmaktadır (Buono et al. 1997, Yokoyama 2002, Kenderian et al. 2003, Byeon and Kwun 2004, ASM International 2005, Sahay et al. 2009, Sladojevic et al. 2010, Herian and Aniolek 2008, 2010 ve 2011). Yapılan birçok araştırmada, ostenitlenen numunelere çeşitli dönüşümler uygulanarak farklı lamellerarası mesafeye sahip numuneler elde edilmiştir (Gomes et al. 1997, Modi et al. 2003, Herian and Aniolek 2008, Sahay et al. 2009).

Gomes et al. (1997), %0,76C içeren ray çeliği numunelerine 1050°C ve 1150°C'de ostenitleme ve 640°, 610° ve 560°C sıcaklıklar için tuz banyosunda izotermik dönüşüm uygulamıştır. 1050°C'de ostenitleme ve 640°, 610° ve 560°C sıcaklıklarda dönüşüm uygulanan numunelerde lamellerarası mesafe sırası ile 275 µm, 203 µm ve 163 µm; 1150°C'de ostenitleme ve 640°, 610° ve 560°C sıcaklıklarda dönüşüm uygulanan numunelerde lamellerarası mesafe sırası ile 353 µm, 291 µm ve 225 µm olarak bulunmuştur. Ostenitleme ve dönüşüm sıcaklığı arttıkça lamellerarası mesafenin de arttığı iddia edilmiştir.

Elwazri et al. (2005), %0,91 karbon içeren çelik numunelerini 1,5°C/s ile 900°, 1000°, 1100° ve 1200°C'ye yeniden ostenitlemiş ve bu sıcaklıklarda 20 dakika bekletmiştir. Numuneler tuz banyosuna alınıp ostenit dönüşüm için 550°, 580° ve 620°C'de 10 dakika bekletilmiştir. Yeniden ostenitleme sıcaklığı ve dönüşüm sıcaklığı arttıkça lamellerarası mesafenin de arttığı ifade edilmiştir.

Zhang ve Enomoto (2009) çalışmalarında %0,82 karbonlu perlitik çeliğin lamellerarası mesafesindeki değişimi araştırmıştır. Çelikten alınan numuneler argon gazı altında 1100°C'de 10 dakika ostenitlenmiş ve izotermal dönüşüm için tuz banyosunda 700°C ve 680°C'de 2 saat tutulmuştur. Ardından buzlu suda soğutulmuştur. Sonuç olarak, 700°C'de izotermal dönüşüme uğrayan numunelerin lamellerarası mesafesi 680°C'de izotermal dönüşüme uğrayan numunelerin lamellerarası mesafesinden daha büyük olduğu ifade edilmiştir.

Xu et al. (2008), %0,8-0,82 karbonlu 82B çubuk şeklindeki çeliği 100°C/s hızla 870°C'ye çıkarıp bu sıcaklıkta 15 dakika bekletmeden sonra aynı hızla 675°, 650°, 625°, 600°, 575°, 555°, 525°, 515°C'ye kadar soğutma ve yine aynı hızla oda sıcaklığına soğutma işlemlerini uygulamıştır. Lamellerarası mesafe sırası ile 0,191 µm, 0,177 µm, 0,163 µm, 0,153 µm, 0,143 µm, 0,136 µm, 0,127 µm ve 0,126 µm olarak ölçülmüştür. Lamellerarası mesafenin dönüşüm sıcaklığı azaldıkça azaldığı iddia edilmiştir.

Nam et al. (2000) karbon oranı %0,81 olan çelik numunelerinin bir kısmına 1173K'de 15 dakika ostenitleme işlemi ve tuz banyosunda 843K ve 883K'e dönüşüm uygulamıştır. Çelikten alınan diğer numunelere 1273K'de 15 dakika ostenitleme işlemi ve 843K'e tuz banyosunda dönüşüm uygulamıştır. En küçük lamellerarası mesafe, 1173K'den 843K'e olan dönüşümde 0,125 µm olarak elde edilmiştir. Ostenitleme sıcaklığı ve dönüşüm sıcaklığı arttıkça lamellerarası mesafenin ve sementit kalınlığının arttığı iddia edilmiştir.

Caballero et al. (2000), %0,76 karbon içeren numunelere 1000°C'de 5 dakika ostenitleme; 675°C'de 45 dakika, 650°C'de 10 dakika ve 525°C'de 60 dakika izotermik dönüşüm işlemi ve He gazı üflenerek hızlı soğutma ile oda sıcaklığına dönüşüm uygulanmıştır. SEM ölçümleri sonucunda lamellerarası mesafe sırası ile 0,195±0,030 µm, 0,085±0,010 µm, 0,098±0,010 µm olarak bulunmuştur. En küçük lamellerarası mesafenin 650°C'de hızlı yapılan izotermik dönüşüm ile elde edildiği belirtilmiştir.

Wu ve Bhadeshia (2012), yaptıkları çalışmada %0,78C olan çelik numuneleri vakumlu fırında 1200°C’de 48 saat homojenleştirme işleminden sonra kaba ve ince perlitik yapı elde edebilmek için oda sıcaklığına kadar 24 saatlik periyotlarda soğumaya bırakmıştır. Numuneler 10°C/s hızla 1000°C’ye ısıtılarak bu sıcaklıkta 10 dakika ostenitlenmiştir. Ostenitleme işleminin ardından 0,02°C/s ile 2°C/s arasında değişen sürekli soğuma ile oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuma hızı 0,1°C/s’nin altına indiğinde perlitik yapı oluşmuştur, hız 0,02°C/s olduğunda tamamen perlitik bir yapı elde edilmiştir. Lamellerarası mesafe 44-96 nm arasında ölçülmüştür. Soğuma hızı arttıkça lamellerarası mesafenin azaldığı, sertliğin arttığı ifade edilmiştir.

Lee ve Polycarpou (2005), perlitik ray mikroyapısındaki sementit lamellerin ince olmasının sertlik değerini arttırdığını ifade etmişlerdir. Yapılan ball-disk aşınma deneylerinin sonucunda daha yumuşak olan perlitik çeliklerin daha sert olan beynitik çeliklere göre daha düşük aşınma gösterdiği görülmüştür.

Lamellerarası mesafe, alaşım elamanlarının (örneğin, karbon) ve termomekanik işlemlerin bir fonksiyonudur. Hernandez et al. (2011), yaptıkları deneysel çalışmada, lamellerarası mesafesi 50-400 nm olan yüksek karbonlu ve yüksek dayanımlı premium (yüksek kaliteli) raylar kullanmıştır. Lamellerarası mesafenin fazla olduğu raylar 100 HB sertliğe sahip iken mesafe azaldığında sertlik 240 HB’e yükselmiştir. Çalışmada, eski ray çelikleri ile premium raylar arasında literatürde doğrudan karşılaştırma yapan deneysel sonuçlar bulunmadığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, mikroyapı ve sertlikteki farklılıklara bakıldığında, literatürde premium çeliklerin daha iyi aşınma performansı gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, ball-disk metodu kullanılarak incelenen çeliklerde, deformasyon sertleşmesi ve çatlama eğiliminin karakteristik olduğu ifade edilmiştir. Önceki çalışmalarda, pin-disk, ikili disk, nano-iz deneylerinin yapılırken daha az süre ve güç gerektiren ve daha basit bir yöntem olan ball-disk yönteminin deformasyon sertleşmesi ve çatlama eğiliminin incelemesi için yeterli olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak da, ball-disk sonuçlarının FAST (Facility for Accelerated Servicing Testing) ile uyumlu olduğu belirtilmiştir. FAST yöntemi ile laboratuvar ortamında ray performansı belirlenmektedir.

Yokoyama et al. (2002), perlitik ray çelikleri üzerinde yapılan deneylerde lamellerarası mesafenin azalmasıyla ya da tane boyutunun küçültülmesiyle aşınmaya ve hasara karşı dayanımın arttığını ifade etmiştir.

Modi et al. (2003), yüksek karbonlu çeliklerin lamellerarası mesafelerinin mekanik özelliklere etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, karbon oranı %0,65 olan ray çeliği numunelerine 1073, 1123, 1173, 1223 ve 1273K sıcaklıklarında birer saat ostenitleme işlemi uygulanmıştır. Ostenitleme sonucunda lamellerarası mesafenin 1073K'de 545 nm, 1123K'de 625 nm, 1173K'de 710 nm, 1223K'de 730 nm ve 1273K'de 785 nm olduğu gözlemlenmiştir. Böylece lamellerarası mesafenin ostenitleme sıcaklığı arttıkça arttığı bulunmuştur. Yapılan pin-disk aşınma deneylerinde lamellerarası mesafe azaltıldığında aşınma oranının azaldığı saptanmıştır. Ayrıca akma dayanımı ve sertliğin arttığı, sünekliğin ise azaldığı belirlenmiştir.

Herian ve Aniolek (2008), %0,74C oranlı R260 perlitik ray çeliğine, 800°C'de ostenitleme, 15°C/s soğuma hızı ile 620°, 570°, 550° ve 520°C sıcaklıklara soğutma, bu sıcaklıklarda 300 saniye fırında bekletme ve oda sıcaklığına soğutma uygulamıştır. SEM incelemelerinde, 32 perlit kolonisi saptanmıştır. Yapılan çalışmada, sıcak haddeleme sonrası mikroyapının perlitik ve ortalama lamellerarası mesafenin 0,278 µm, sertliğin 274 HB olduğu ifade edilmiştir. Isıl işlem sonrası lamellerarası mesafenin daha az ve sementit lamellerinin daha ince olduğu belirtilmiştir. 620°C için ortalama lamellerarası mesafe 0,173 µm iken sertlik 301 HB'e yükselmiştir. 570°C için 0,141 µm ve 325 HB; 550°C için 0,131 µm ve 338 HB; 520°C için 0,119 µm ve 350 HB değerleri ölçülmüştür. En yüksek sertlik ve en küçük lamellerarası mesafe 520°C sıcaklığı için saptanmıştır. Sonuç olarak, perlitik mikroyapıda, 0,12-0,13 µm lamellerarası mesafenin 340-350 HB sertliği verdiği ve bunun sıcak haddeleme sonrası yapılan sabit sıcaklıkta soğutma ile sağlandığı ifade edilmiştir. Böyle bir yapının 800°C'de ostenitleme, 20-30°C/s soğuma hızı ile 520-550°C'de sabit sıcaklıkta soğutma ile elde edileceği ifade edilmiştir.

Çakmak ve Yalçın (2005), T.C.D.D. (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları) tarafından kullanılan ray çeliğinin kuru yuvarlanma-kayma aşınma davranışını incelemiştir. 40 mm çapında ve 10 mm genişliğinde, rayın mantar kısmından hazırlanan numune, paslanmaz çelik rulmana karşı 50 N ve 75 N yükler altında 0,55 m/s hızda aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Her 50.000 çevrimde aşınma kaybı ölçülmüştür. 900A perlitik ray çeliğine yapılan kuru yuvarlanma-kayma aşınma deneyleri sonucunda, düşük çevrimlerde, düşük yükler için aşınma hızının arttığını, belirli bir çevrim sayısından sonra ise yükün aşınma hızına çok bariz bir etkisinin olmadığını iddia etmişlerdir.

Hernandez et al. (2007), 6 ray üreticisi tarafından üretilen perlitik ve beynitik ray çeliklerini FAST ve ball-disk yöntemi ile aşındırmıştır. Her iki yöntemde de, yüksek temas basınçlarında beynitik rayların perlitik raylar kadar performans göstermediği saptanmıştır. Ayrıca, ball-disk deneylerinin aşınma performansı hakkında bir ön izlenim vereceği ifade edilmiştir.

Hernandez et al. (2011), 22°C’de, %40 nem altında, numunelere 2,5 GPa Hertz temas basıncı (10 N normal kuvvete eşdeğer) uygulayarak 50, 100, 300, 600 ve 1000 çevrim için ball-disk aşınma deneyleri yapmıştır. Deneylerde aşındırıcı olarak 1.6 mm çapında, 1570-1800 HV sertliğinde sentetik ruby ball kullanılmıştır. Bu aşındırıcıların test edilen ray çeliklerinden 4 kat daha sert olduğu ve aşınmadıkları için tercih edildiği ifade edilmiştir. 2005 yılında üretilen raylardaki perlit kolonisinin, 2011 yılında üretilen raylardan %30 daha küçük olduğu, lamellerarası mesafesinin %12,5 daha ince olduğu ve en iyi aşınma performansını gösterdiği ifade edilmiştir.

Chang (2005), deneysel çalışmasında 4 aşım ile çalışmıştır. Numuneler 900°C’de 30 dakika ostenitlenmiş, sonra numunelere farklı su verme işlemleri yapılmıştır. A ve B aşımalarına (%0,49C) izotermal dönüşüm için 5°C tuz banyosunda su verilmiş ve beynit izotermal dönüşüm için beklenmiştir. C aşımına (%0,22C) ostenitlemeden sonra kaynar suda su verilmiştir. D aşımını (%0,27C) ise havada soğutulmuştur. Aşınma sırasında ostenitin martenzite dönüşümü, sertliğin %50 artırılması ve aşınma dayanımının artırılmasının etkili bir yolu olarak kabul edilmiştir.

Shariff et al. (2013) yaptıkları çalışmada, %0,67 karbonlu perlitik, %0,51 karbonlu ferritik-perlitik ve %0,14 karbonlu beynitik yapıda üç farklı ray çeliği üzerinde 50N yükte, 200 rpm hızda, 0,5 µm yüzey pürüzlülüğünde, tungsten karbür aşındırıcı ile yapılan ball-disk kuru aşınma deneyinde beynitik ray çeliğinde en yüksek, perlitik ray çeliğinde en düşük aşınma oranı gözlemlenmiştir.

Lee ve Polycarpou (2011), ray çeliklerinin aşınma davranışlarını inceledikleri makalede, ball-disk aşınma deneyinin yalnızca aşınma performansını değil, aynı zamanda çatlama eğilimini de belirlediğini ifade etmiştir. Çalışmalarında, J6 beynitik ve geleneksel perlitik ray çeliğinin aşınma davranışını belirlemek için ball-disk (saf kayma-mikroskala) mikroaşınma (iz-scratch) deneylerini uygulamışlardır. İz aparatı olarak uç kısmı 1 µm olan 60° konik elmas kullanılmıştır. Orijinal ve ağır yük (500 MGT) altında kullanılmış olan farklı özelliklere sahip

Çelikler incelenmiştir. Orijinal perlitik ray çeliklerinin orijinal beynitik ray çeliklerine göre ağır yük altında tersine daha kötü aşınma performansı gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Alias (1986), yol geometrisinin dalgalı aşınma nedeniyle bozulduğu kesimlerde uygulanan taşlama ile yapılması gereken bakım masraflarında %30 ile %50 oranında tasarruf yapılabileceğini belirtmiştir.

Zhong et al. (2011) %0,79 karbonlu U75V ve %0,74 karbonlu U71Mn ray çeliklerinde farklı yüklemelerde ve farklı hızlarda yaptıkları aşınma deneylerinde karbon oranı artıkça sertliğin arttığını, sertlik artıkça aşınma oranının azaldığını, plastik deformasyon tabakasının incelendiğini gözlemlemişlerdir.

Lee ve Polycarpou (2005), araştırmalarında perlitik ve geliştirilmiş beynitik ray çeliklerinin aşınma davranışını irdelemiştir. Ball-disk aşınma deneyinde, aşındırıcı olarak 1,59 mm çapında, 1570-1800 HV sertliğinde sentetik ruby ball kullanıldığı zaman Hertz temas basıncının 2,5 GPa olduğu ifade edilmiştir. Bu değer, yaklaşık 1,8 GPa olan gerçek ray-tekerlek temas basıncından daha yüksek bir değerdir. Karbon eliği aşındırıcı kullanıldığında ise Hertz temas basıncı 1,3 GPa'dır. Aynı zamanda, sertliği daha az olan karbon çeliğinin ray çeliği numuneleri ile birlikte aşınma göstermesinden dolayı çalışmada, aşındırıcı olarak sentetik ruby ball tercih edildiği belirtilmiştir. Ayrıca, yeni ray malzemelerinin performansını geliştirmede belirleyici bir yöntem olan ball-disk aşınma deneyleri tavsiye edilmiştir. Deneyler, 100 rpm hız (~0,053 m/s) ve sabit 10 N normal yük altında yapılmıştır. Ray eliği olarak J6 beynitik (%0,26C) ve geleneksel perlitik (%0,79C) elik kullanılmıştır. Geleneksel ray çelikleri, daha ince lamel yapısı ve bundan kaynaklanan artan sertlik değerlerini içeren premium ray ile perlitik yapıya sahiptir. Deney sonuçları, daha yüksek sertlik değerlerine sahip beynitik ray çeliklerinin ise aşınma dayanımlarının perlitik ray çeliklerinden daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Rc makrosertlik ölçümlerinin gerilme birikimi nedeniyle sertlik değerilerini saptamak için uygun olmadığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, mikrosertlik (Vickers) lmlerinin gerçekten sertlik değerlerini saptamak için kullanılabileceği belirtilmiştir. Son olarak da, pahalı saha testleri yerine deformasyon sertleşmesine uğrayan ray çeliklerinin aşınma performansının ball-disk deneyleri ile sentetik ruby ball kullanılarak yapılabileceği ifade edilmiştir.

Schastlivtsev et al. (2001), çalışmalarında %0,8C'lu U8 çeliğini 1050°C'de ostenitleyip tuz banyosunda 500°C'ye ulaşana kadar 1 dakika süreyle tutmuştur. Bu durumda sertlik 440 HV olarak ölçülmüştür. Tuz banyosundan alınan numunelerin 650°C'de 5 dakika bekletildikten sonraki sertliği 360 HV'e düşmüştür. Yapılan deneyler sonucu aşınma dayanımının sertlik ile orantılı olarak azaldığı iddia edilmiştir.

Baumann et al. (1997), düşük karbonlu perlitik çelik (UIC 860 V) üzerinde yaptıkları çalışmada, raylarda sertliğin ve mekanik dayanımın, tane büyüklüğünün azaltılmasına bağlı olarak arttığını gözlemlemiştir. Dayanımın ve sertliğin artırılmasıyla aşınmaya karşı dayanımın da arttığı görülmüştür.

Ueda et al. (2002), perlitik çelikler üzerinde yaptıkları 700.000, 500.000, 300.000 ve 100.000 çevrimlik yuvarlanma aşınması deneylerinde çeliğin yüzey sertliğinin karbon oranıyla arttığını ve yüzey sertliği arttıkça aşınmaya karşı dayanımın geliştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Zapata et al. (2011), %0,668C'lu AISI 1070 çeliğine 870°C'de 1 saat ostenitleme işleminin ardından 410° ve 380°C'de tuz banyosunda izotermal dönüşüm uygulamıştır. Numuneler tuz banyosunda 3 dakika bekletildikten sonra çalkalanmış yağ içinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Isıl işlem sonrası 410°C'de dönüşüm uygulanan numunede kaba perlit, 380°C'de dönüşüm uygulanan numunede ince perlit oluştuğu; sertliğin 410°C'de dönüşüm uygulanan numunede daha az olduğu ölçülmüştür. Disk-disk aşınma cihazında yapılan aşınma deneylerinde sertliği az olan numunenin daha çok aşındığı ifade edilmiştir.

Başkonusu ve Tekin (2012), R260 ve R350HT ray çeliklerinin mantarlarından alınan numunelere 950°C'de 45 dakika ostenitleme işlemi uygulamıştır. Ostenitleme işleminden sonra havada soğutma ve 600°C'de 30 dakika izotermal dönüşüm ve suda soğutma uygulanarak iki farklı ısıl işlem uygulanmıştır. 600°C'de izotermal dönüşüm uygulanmış rayda sıkı dizili perlit içyapısı elde edildiği ve bu işlem sonucu elde edilen sertliğin havada soğutulan raya göre daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Olofsson ve Telliskivi (2003), UIC 900A ve UIC 1100A ray çeliklerine uygulanan kayma, yuvarlanma-kayma deneylerinde aşınmanın kayma hızı ile doğrudan bir ilişkide olduğunu ve kayma hızı arttıkça aşınma oranının arttığını ifade etmiştir. Ayrıca, yağlanmış ve yağlanmamış çelik numuneleri arasında yaptıkları karşılaştırmada yağlanan numunelerde

daha düşük aşınma oranına ulaşılmıştır. Yağlanmış numunelerde aşınma nedeniyle oluşan olukların, yağlanmamış numunelerde oluşan oluklara göre daha küçük olduğu ve yağlanmamış numunelerde pekleşmenin daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Standartlara göre ray çeliklerinde maksimum yüzey pürüzlülüğü için R_a değeri 10 μm olarak alınır (BS EN 13231-3 2012). Bu değer ile metal aşınması ve yüzey pürüzlülüğü arasında doğrudan bir ilişki bulunduğu, fakat yüzey pürüzlülüğünün etkisi hakkında bilimsel bir çalışma bulunmadığı Lundmark et al. (2006) tarafından ifade edilmiştir.

Cordier ve Fodiman (2000), gürültüde en büyük etkinin yüzey pürüzlülüğü olduğunu ifade etmiş ve yüzey pürüzlülüğü için yapılan çalışmalarda standartların önemini de vurgulamıştır.

Yüzey pürüzlülüğü titreşime neden olmakta ve gürültü ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, ray aşınmasını artırmaktadır (Cordier and Fodiman 2000, Kapoor et al. 2002, Berggren et al. 2008, Hunt 2008). Düşük bir sürtünme bile yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip çeliklerde erken yüzey aşınmalarında önemli rol oynamaktadır (Alwahdia 2009). Bundan dolayı raylara taşlama yapılmaktadır.

Franklin et al. (2008), farklı ray çeliği mikroyapılarının farklı aşınma ve yorulma dayanımı verdiğini ifade etmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün yüzeye yaklaşık 50 μm mesafede yüksek gerilmeye ve bu bölgede en büyük plastik deformasyona neden olduğu belirtilmiştir.

Chen ve Ishida (2006), tekrarlanan tren yükleri ile raylarda meydana gelen yorulma ve aşınma sebebiyle oluşan yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için en uygun yolun ray taşlaması olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kapoor et al. (2002), ray yüzey tabakasında birkaç mikron kalınlığında birçok plastik deformasyon olmasına rağmen ray temas iz ölçüsünün birkaç milimetre olduğuna dikkat çekmiştir. İkili disk kullanılarak ray-tekerlek teması sağlanan deneylerde, iki yüzey de taşlanmış ve parlatılmıştır. 100.000 çevrim, 10 μm yüzey pürüzlülüğüne sahip perlitik ray ve tekerlek çeliği numuneleri sulu ortamda aşınmaya tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, ray yüzeylerinde meydana gelen ince plastik deformasyonun muhtemel sebebinin yüzey pürüzlülüğü olduğu ifade edilmiştir.

BÖLÜM 3

SÜRTÜNME VE AŞINMA

3.1 SÜRTÜNME

Genel olarak sürtünme, birbirine göre izafi hareket eden temas halindeki iki yüzeyin temas noktalarında harekete karşı oluşan dirençtir (BS ISO 4378-2 2009).

Temas halindeki hareketli makine elemanları arasında sürtünmenin istendiği ve istenmediği durumlar vardır. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenen bir olaydır. Bunların dışında, bütün izafi hareket yapan yüzeylerde enerji kaybına sebep olduğundan sürtünmenin azaltılması gerekir (Karabaşoğlu 2008).

İzafi harekete göre BS ISO 4378-2:2009 standardında sürtünme statik, maksimum statik ve dinamik sürtünme olarak sınıflandırılmıştır.

3.1.1 Statik Sürtünme

İzafi hareket başlamadan önce artan dış kuvvetle temas halindeki iki cismin yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünmedir. Sürtünme oldukça yavaş kayma hızında oluşur (BS ISO 4378-2 2009).

3.1.2 Maksimum Statik Sürtünme

İzafi hareket başlamadan hemen önce yavaş yavaş artan dış kuvvet altında temas halindeki iki cismin yüzeyleri arasında meydana gelen sürtünmedir (BS ISO 4378-2 2009). Uygulanan dış kuvvet belli bir değeri aşarsa iki yüzey birbiri üzerinden kaymaya başlar ve statik sürtünme dinamik sürtünmeye dönüşür.

3.1.3 Dinamik Sürtünme

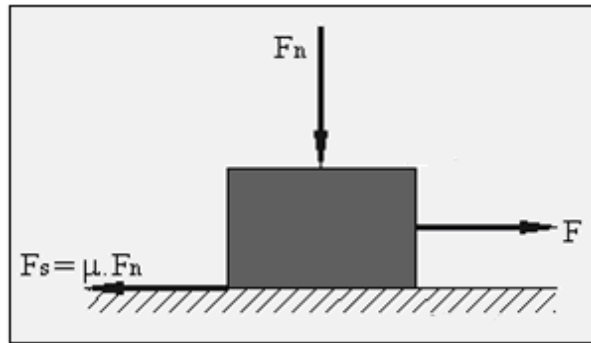
İzafi hareket yapan iki cisim arasındaki sürtünmedir (BS ISO 4378-2 2009).

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde bulunması veya bulunmaması bakımından sürtünme kuru, sıvı ve sınır sürtünmesi olarak üç halde incelenir (Apay 2007, Karabaşoğlu 2008, BS ISO 4378-2 2009, Kayabaşı 2011).

3.1.4 Kuru Sürtünme

Temas eden veya birbirini etkileyen iki yüzey arasında yağlayıcı olmadan meydana gelen sürtünmedir.

Yabancı maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer şartlarındaki sürtünme halidir (Karabaşoğlu 2008). Buna göre izafi hareket yapan ve normal bir kuvvetin (F_n) etkisi altında bulunan iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı $F_s = \mu \cdot F_n$ değerinde bir sürtünme kuvveti oluşur. Burada μ sürtünme katsayısını, F_n cisme uygulanan normal kuvveti ifade etmektedir (Soydaş 2006). Şekil 3.1’de kuru sürtünme modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Kuru sürtünme modeli (Kayabaşı 2011).

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bir cisme F kuvveti uygulandığında iki durum ortaya çıkabilir:

- $F_n > F$ durumunda cisimler birbiri üzerinde kaymaz. Ancak hareket olanağı olduğundan yüzeyler arasında statik sürtünme denilen bir direnç meydana gelir.
- $F_s \leq F$ durumunda ise F kuvvetinin etkisi altında yüzeyler birbiri üzerinde kayar. Bu durumda yüzeyler arasındaki sürtünme dinamik sürtünme olarak adlandırılır. Aşınma, sıcaklık artışı ve enerji kaybı gibi olaylar dinamik sürtünme halinde ortaya çıkar (Kayabaşı 2011).

3.1.5 Sıvı Sürtünme

İzafi hareket yapan veya birbirini etkileyen iki yüzey arasında yağlayıcı varlığında meydana gelen sürtünmedir (BS ISO 4378-2 2009).

Sürtünme doğrudan doğruya yağlama yağının tabakaları arasında olur. Cismin hareketine karşı koyan direnç kuvveti yağ tabakaları arasındaki kayma gerilmesine bağlıdır (Karabaşoğlu 2008, Kayabaşı 2011).

3.1.6 Sınır Sürtünmesi

Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşmadığı durumlarda sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme halinde, sürtünme katsayısı genel olarak 0,02 ile 0,1 arasında değişir (Karabaşoğlu 2008).

3.2 AŞINMA

En genel anlamda aşınma, birbiriyle temas halinde olan elemanlar arasında sürtünme nedeni ile oluşan malzeme kaybı ve istenmeyen yüzey değişikliğidir (Karaoğlu 2006, BS ISO 4378-2 2009).

Başka bir deyişle aşınma, birbiri ile kayma, yuvarlanma veya çarpma hareketi yapan iki yüzeyden birinde veya her ikisinde de yüzey hasarı oluşması veya yüzeyden malzeme uzaklaşmasıdır (Çelikyürek 2006).

Bir aşınma sisteminde; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurlarıdır ve bu unsurların oluşturduğu sistem "Tribolojik Sistem" olarak isimlendirilir.

Aşınma, hareketli makine parçalarının ömürlerini, performanslarını azaltan ve bu parçaların bozulmasına neden olan çok önemli bir faktördür. Ekonomik açıdan aşınmanın neden olduğu kayıplar ve hasarlar çok büyük olmaktadır. Ayrıca aşınma; yağlayıcı, sıcaklık, yük, hız,

mikroyapı, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir (Apay 2007, Urun 2008, Büyükkelleci 2008).

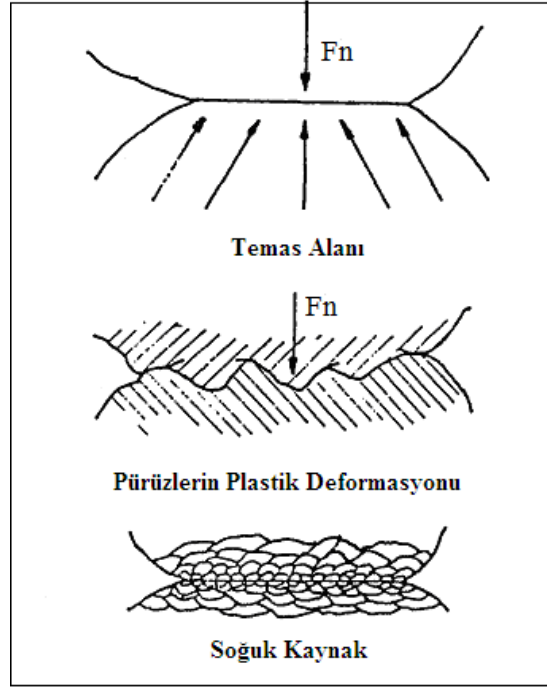
3.2.1 Aşınma Çeşitleri

Endüstriyel uygulamalara bağlı olarak birçok araştırmada farklı aşınma sınıflandırılmaları yapılmıştır (Çelikyürek 2006, Soydaş 2006, Apay 2007, Büyükkelleci 2008, Karabaşoğlu 2008). Genel olarak aşınma çeşitleri; adhesiv, abrasiv, korozif, yorulma, öğütmeli, erozyon, yuvarlanma ve difüzyon aşınması olarak verilmektedir. BS ISO 4378-2:2009 standardına göre ise aşınma çeşitleri; adhesiv, abrasiv, erozyon, korozif, yorulma, termal, difüzyon aşınması olarak verilmiştir.

3.2.1.1 Adhesiv Aşınma

Malzemelerin yüzeyinde yapışma ve parça koparma şeklinde meydana gelen aşınmadır (BS ISO 4378-2 2009).

Birbiriyle temas halinde bulunan metaller, yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşirler. Çok düzgün yüzeylerde bile bu durum söz konusudur. Herhangi bir yükleme durumunda, pürüz tepelerinde meydana gelen gerilme sonucu plastik deformasyon oluşur. Malzemenin deforme edilebilirliği kolay ise temas alanı artarak bütün yüzeye dağılır. Bu durumda yüzeylerde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakalar parçalanarak, malzeme moleküllerinin direkt temas etmelerine olanak verir. Böylece temas noktalarında soğuk kaynak bölgeleri oluşur. Malzemelerin yüksek sıcaklıktan dolayı birbirleri ile bağ oluşturması sonucu meydana gelen bu kaynak bölgeler izafi hareket durumunda, sürtünme kuvvetinin etkisi ile kırılarak yüzeyler arasına taşınır. Bu şekilde meydana gelen malzeme kaybına adhesiv aşınma denir (Apay 2007). Şekil 3.2’de adhesiv aşınmada oluşan deformasyon ve kaynama görülmektedir.



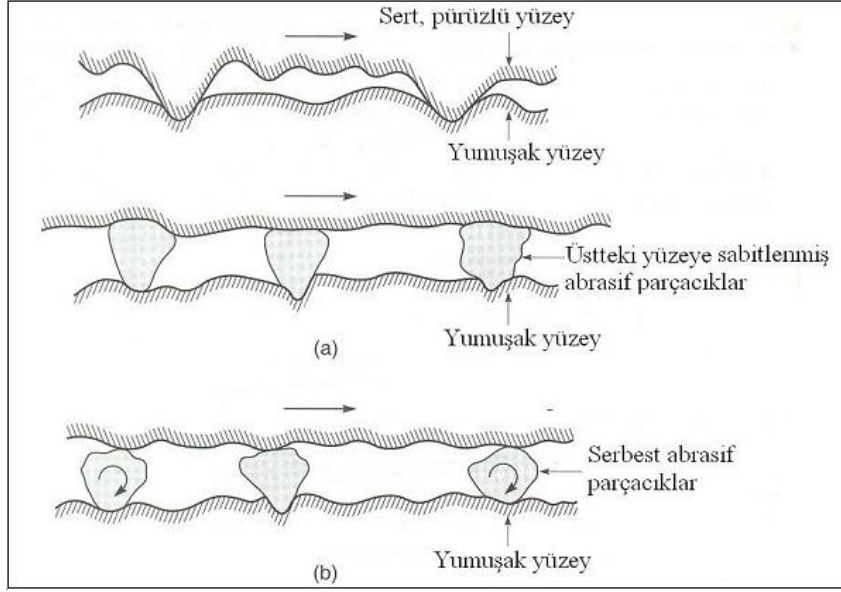
Şekil 3.2 Adhesiv aşınmada kaynak oluşumu (Oğuz 1993 ve Eryürek 1993, Sevim'den değiştirilerek 1997).

3.2.1.2 Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, uygulanan kuvvet ve hareketin etkisi ile sürtünen iki cisimden daha sert olan cismin pürüzleri veya tanecikleri ile diğer cismin yüzeyini çizerek malzeme kaybına neden olan olaydır (Önder 1995, BS ISO 4378-2 2009).

Bir başka deyişle, sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasardır (Apay 2007).

Abrasiv aşınma genellikle iki durumda incelenir. İlk durumda, sürtünen iki malzemedен daha sert olanın yüzeyindeki pürüzleri ile daha yumuşak olan malzeme yüzeyini çizerek tahrip etmesi ile oluşan aşınmaya “iki cisimli abrasiv aşınma” denmektedir. Bu aşınmaya öğütme, kesme ve talaşlı imalat gibi makine çalışmaları örnek gösterilebilir. İkinci durumda, sürtünen yüzeyler arasında yuvarlanan sert taneciklerin yüzeyleri çizerek tahrip etmesi ile meydana gelen aşınmaya “üç cisimli abrasiv aşınma” denmektedir. Örnek olarak parlatma işlemi gösterilebilir (Önder 1995, Çelikyürek 2006). Şekil 3.3'te abrasiv aşınma gösterilmektedir.

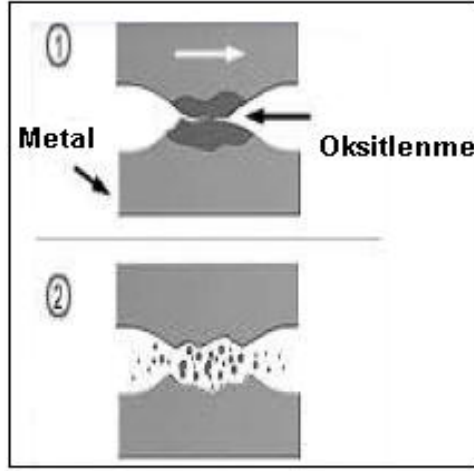


Şekil 3.3 Abrasiv aşınmanın şematik gösterimi, a) iki cisimli abrasiv aşınma, b) üç cisimli abrasiv aşınma (Bhushan 1999, Çelikyürek'ten 2006).

Bir malzemenin diğer bir malzeme tarafından önemli ölçüde abrasiv aşınmaya tabii tutulabilmesi için, ikinci malzemedен çok daha yumuşak olması gerekir. Bu sebeple abrasiv aşınmayı minimuma indirmek için aşınmaya uğrayan malzemenin diğer malzemeye göre daha sert olması istenir (Apay 2007).

3.2.1.3 Korozif Aşınma

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozif etkilere de uğrarsa buna "korozif aşınma" denir. Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleri ile birlikte meydana gelebilir. Yüzeye sıkıca yapışan filmler oluşturan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını önler. Fakat film kırılğan ve yüzeye gevşek ise aşınma büyük miktarda hızlanır. Çünkü sürtünme hareketi sırasında filmler çatlar ve yerinden kopar (Domke 1987, Korkut'tan 1997). Şekil 3.4'te korozif aşınma görülmektedir.



Şekil 3.4 Korozif aşınma (Ay 2012).

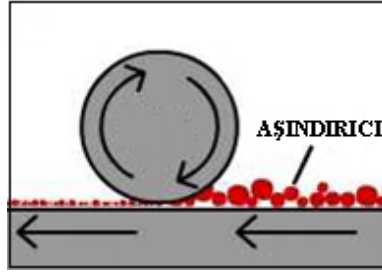
3.2.1.4 Yorulma Aşınması

Sürtünen yüzeylerde tekrarlanan yük ile yüzeyde oluşan yorulma çatlaklarının ilerlemesi ile meydana gelen aşınmadır (BS ISO 4378-2 2009).

Makine parçalarında tekrarlanan yüklerden veya titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle, yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu mikroçatlaklar zamanla yüzeye doğru ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden parçaların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya “yorulma aşınması” denir. Yorulma aşınması yuvarlama hareketi yapan rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizması gibi yüzeylerde oluşur (Büyükkelleci 2008).

3.2.1.5 Öğütmeli Aşınma

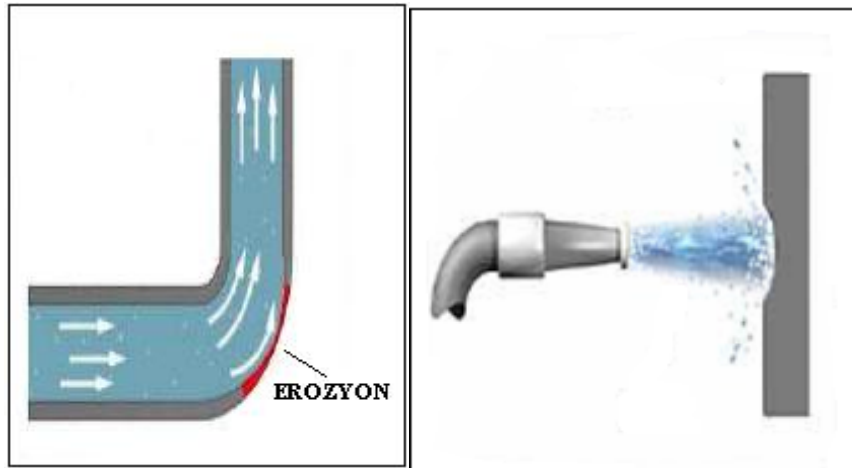
Yüksek basınç altındaki partiküller ile metal yüzeyin düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda metal yüzeyinden parçacıkların kesilip çok sayıda ufak çizikler açılarak kopartılması sonucu meydana gelir. Şekil 3.5'te öğütmeli aşınma görülmektedir.



Şekil 3.5 Ögütmeli aşınma (Ay 2012).

3.2.1.6 Erozyon Aşınması

Katı bir yüzeyde hareket eden sıvı taneciklerinin ya da katı cisim nispeten hareket ederken buhar kabarcıkları halindeki sıvının yüzeye yakın bölgelerde basıncı düşürerek sıcaklığı yükseltip çökmeler meydana getirmesi sonucu oluşan aşınmadır (BS ISO 4378-2 2009). Şekil 3.6'da erozyon aşınmasına örnekler görülmektedir.



Şekil 3.6 Erozyon aşınması (Ay 2012).

3.2.1.7 Yuvarlanma Aşınması

Bu tür aşınma birbiri üzerinde yuvarlanarak hareket eden malzemelerde oluşan aşınmadır. Yuvarlanma esnasında aşınma tek bir malzemede oluşabileceği gibi her iki malzemede de değişen miktarlarda oluşabilir. Yüzeylerin yağlanıp, yağlanmamasının yuvarlanma aşınmasının oluşmasında çok büyük önemi vardır (Varol 1994).

3.2.1.8 Difüzyon Aşınması

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında sürtünmeden dolayı oluşan sıcaklık artışı kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket difüzyona neden olur. Sürtünme esnasında, uygulanan kuvvetle yüzeylerin teması sağlanarak malzeme yüzeylerinde gerilme yığılmaları ve sıcaklığın artışı ile birlikte, temas noktalarında akma ve sürünme başlar. Bunun sonucunda temas noktaları plastik şekil değiştirmeye maruz kalarak temas alanları artar. Böylece yüzeyler arasında atom alışverişi meydana gelerek, dayanımı düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka sürtünmeden ve bağıl hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya “difüzyon aşınması” denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgahlarında görülür (Büyükkelleci 2008).

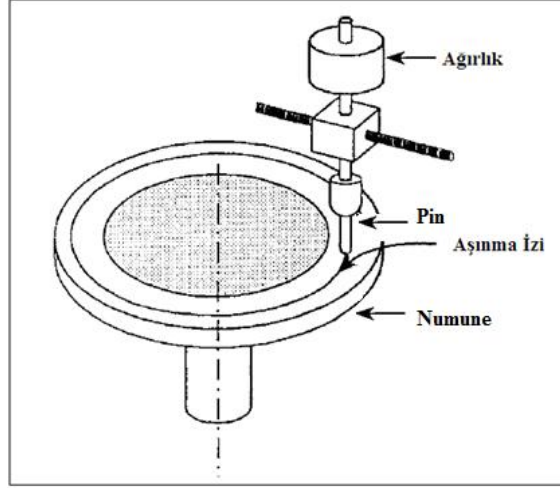
3.2.1.9 Termal Aşınma

Sürtünen bölgenin ısı ile çevrilmesi sonucu yapıda yumuşama ve erime şeklinde meydana gelen aşınmadır (BS ISO 4378-2 2009).

3.2.2 Aşınma Deneyleri ve Ölçme Metotları

3.2.2.1 Pin-Disk Deney Metodu

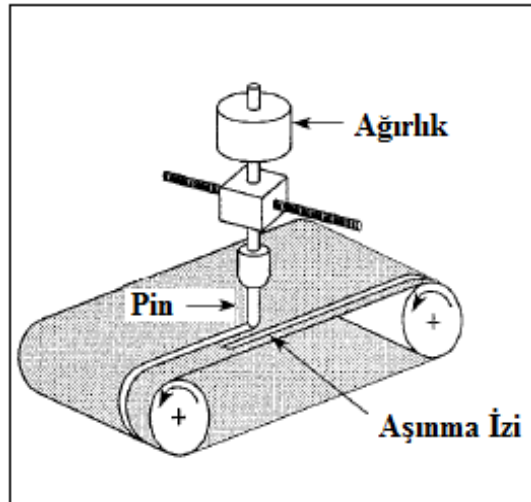
Pin-disk (disk üzerinde pin) metodunda deneyde kullanılan yatay döner disk üzerinde sabit duran pin, diske uygulanan yük yardımı ile aşınma işlemini gerçekleştirir. Bazı durumlarda düzlem sabit ve çubuk hareketlidir. Pin, bir bilye, yarım küre uçlu bir ilave veya düz uçlu bir silindir olabilir. Bu test tekniği kullanılarak kuru ve yağ kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları incelenebilmektedir (Soydan ve Ulukan 2003, Karaoğlu'dan 2006, ASTM-G132-96 2007). Şekil 3.7'de pin-disk aşınma deney metodu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Pin-disk aşınma cihazı şematik gösterimi (ASTM-G132-96 2007'den değiştirilerek).

3.2.2.2 Pin-Belt Deney Metodu

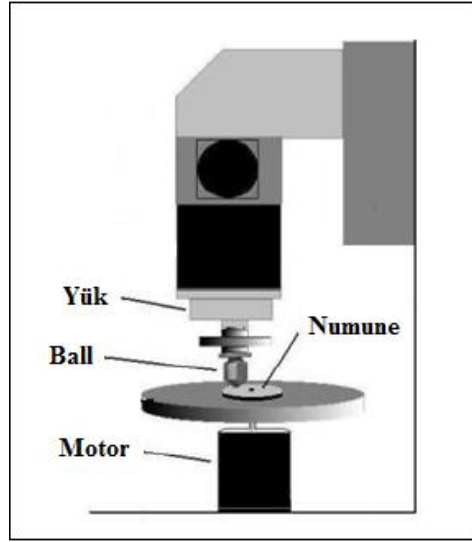
Bu sistem (levha-kayış) iki geniş silindir ve bu silindirlerin üzerinden geçen eğilebilir özelliğine sahip bir kayıştan meydana gelir. Silindirlere bir tanesi hız ayarlı olup, silindirin devri değiştirilmek suretiyle kayışın hızı değiştirilebilmektedir. Deneyde aşındırıcı sağlayacak yüzey, kayışın bir yüzüne zımpara kağıdı yapıştırılması veya bir aşındırıcı örtülmesi ile sağlanır. Deneyde kullanılacak olan test numunesi bir hidrolik silindir vasıtasıyla itilmek suretiyle kayış üzerine bastırılarak bir normal yük meydana getirilir (Karaoğlu 2006, ASTM-G132-96 2007, Karabaşoğlu 2008). Şekil 3.8'de levha-kayış deney metodu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Pin-belt deney metodunun şematik gösterimi (ASTM-G132-96 2007'den değiştirilerek).

3.2.2.3 Ball-Disk Deney Metodu

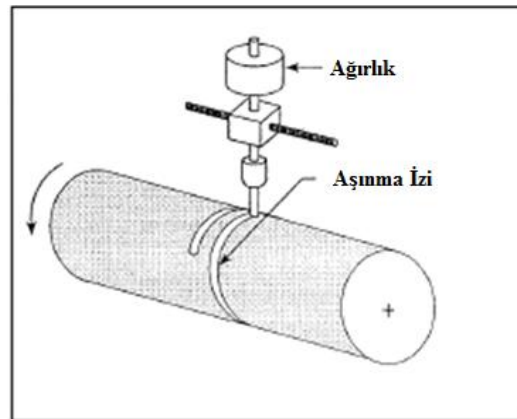
Ball-disk deneyinde (disk üzerinde aşındırıcı) numune yüzeyine bir küre temas ettirilmesi ile aşınma gerçekleştirilir. Motordan alınan dairesel hareket ile numunenin kendi ekseninde dönmesi sağlanır. Şekil 3.9’da ball-disk deney metodu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Ball-disk deney metodunun şematik gösterimi (Karabaşoğlu 2008’den değiştirilerek).

3.2.2.4 Pin-Drum Deney Metodu

Bu deney metodu (silindir üzerinde çubuk) pin-disk deneyine benzemektedir. Numune silindir şeklinde olup Şekil 3.10’da gösterildiği gibi dairesel hareket etmektedir (ASTM-G132-96 2007).



Şekil 3.10 Pin-drum deney metodunun şematik gösterimi (ASTM-G132-96 2007’den değiştirilerek).

3.2.2.5 Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesinde olması nedeniyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınmaması, bu yöntemin dezavantajıdır (Soydaş 2006).

Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} g hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi ile yapılır. Aşınma miktarı gram ve miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek de bulunabilir (Soydaş 2006). Ağırlık farkı metodu ile aşınma oranını ölçmede kullanılan bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$W_a = \frac{G}{dMS} (\text{mm}^3/\text{Nm}) \quad (3.1)$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı (mm^3/Nm),

G : Ağırlık kaybı (mg),

M : Yükleme ağırlığı (N),

S : Aşınma yolu (m),

d : Cismin yoğunluğu (g/mm^3) olarak verilmiştir.

3.2.2.6 Kalınlık Ölçme Metodu

Aşınma esnasında meydana gelecek boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karşılaştırılması ile elde edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık, hassas ölçme aletleri ile $1 \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülebilir (Soydaş 2006, Büyükkelleci 2008).

3.2.2.7 İz Alanı Karşılaştırma Metodu

Aşındırıcı kullanılarak deney numunesi üzerinde iz oluşturulur. Oluşturulan izin profili yüzey profilometre cihazı ile en az beş ölçüm yapılarak tespit edilir. İz profili bilgisayara aktarılarak izin alanı hesaplanır. Her numunede aşınma deneyindeki koşullar eşit olduğu için, iz profilinden hesaplanan aşınma iz alanı, malzemenin aşınan miktarının bir ölçüsü olarak alınır (Kayabaşı 2011).

$$A = \frac{\pi LD}{4} \text{ (}\mu\text{m}^2\text{)} \quad (3.2)$$

Burada;

A : Aşınma izinin alanı (μm^2),

L : İz genişliği (μm),

D : İz derinliği (μm) olarak tanımlanmıştır.

3.2.2.8 Radyoizotoplar ile Ölçme Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlarıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle özel problemlerin çözümü dışında yaygın bir yöntem değildir (Büyükkelleci 2008, Karabaşoğlu 2008).

BÖLÜM 4

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Makine elemanlarından seri üretim yapılırken aynı dizayna sahip tüm parçaların birbirine eş fiziksel yapıda olması, beraber çalışacak parçaların da küçük toleranslar dahilinde birbirlerine uymaları istenir. Yüzeyler ilk bakışta pürüzsüz gözükebilir ancak imalat sırasında üretim şeklinin ve üretim koşullarının etkisiyle yüzeyde pürüzler meydana gelir.

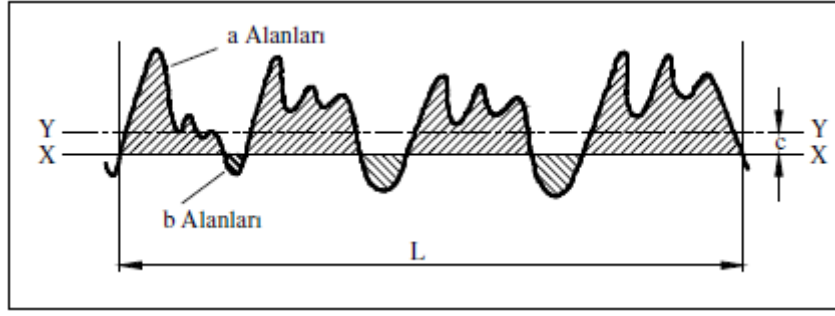
Pürüzlülük; makine parçalarının performansını etkileyen, parça yüzeyinde imalat sırasında oluşan, gözle görülemeyecek kadar küçük yüzey düzgünlükleridir.

Yüzeylerde meydana gelen pürüzler genellikle üretim yöntemleri nedeniyle oluşmaktadır. Taşlama, tornalama, delme, frezeleme, vargelleme ve planyalama gibi işlemler yüzeylerde farklı oranlarda pürüzlülüğe sebep olur. Hassas işlenmiş, pürüzsüz olarak nitelendirilen malzemeler, mikroskopta incelendiğinde yüzeylerinde girinti ve çıkıntılar görülür. İki malzeme birbirine temas ettiğinde temas noktaları bu girinti ve çıkıntılar yani pürüzlerdir. Bu durumda, yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin birbirlerine temas ettiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Bu şekilde bir zorlama ile pürüzler, yüzeyde hasar oluşumuna sebep olur.

Pürüzleri azaltılmış bir yüzeyde, yorulma ve aşınma dayanımı artar; sürtünme ve korozyon gibi olumsuz etkiler azalır.

4.1 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ PARAMETRELERİ

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde genel olarak ‘ortalama çizgi’ ve ‘zarf sistemi’ yöntemlerinden biri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde hesaplamalar ‘değerlendirme uzunluğu (L)’ adı verilen bir aralıkta yapılmaktadır. Değerlendirme uzunluğu içinde, yüzeyde oluşan girinti ve çıkıntıların alan bakımından eşitlendiği yerden geçen doğruya ‘ortalama eksen’ denir. Yüzey



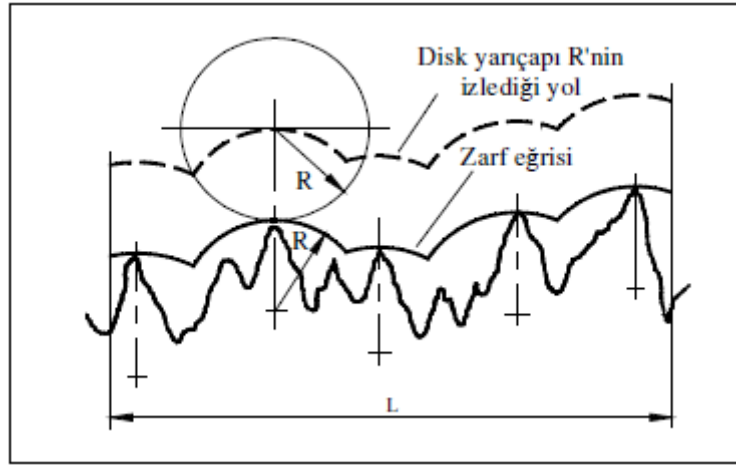
Şekil 4.2 Ortalama çizgi konumunun belirlenmesi (Scarr 1991, Neşeli'den 2006).

Bu çizgi uygun değerlendirme uzunluğunun (L) üzerindeki profilin genel yönüne paraleldir. a ve b alanları ölçülür ve sonra XX ve istenen ortalama çizgi YY arasındaki c mesafesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$c = \frac{\sum Alan(a) - \sum Alan(b)}{L} \quad (4.1)$$

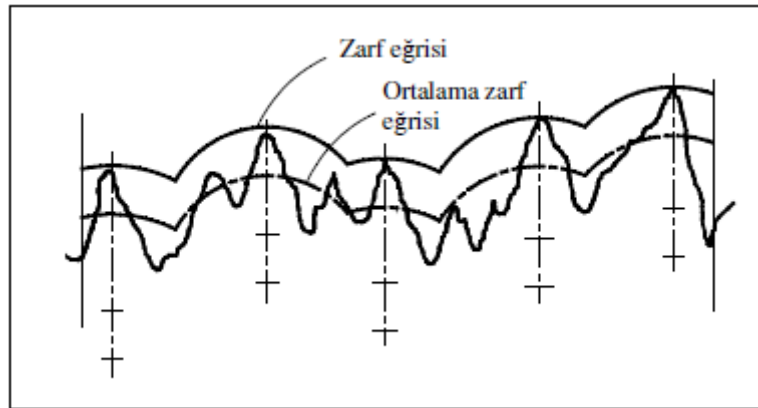
4.1.2 Zarf Sistemi

Zarf sistemi (E), izlere karşı yuvarlanan bir dairenin yarıçapı tarafından üretilen bir çizgi esasına dayanır. Daire merkezinin hareketinden oluşturulan bu eğri R mesafesi tarafından düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu çizgi yüzeyin üzerinde yer alır. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi zarf eğrisi, ideal geometrik profile dik açılarda en yüksek profile doğru çizilen ordinatlar tarafından oluşturulur. Yarıçap R 'nin dairesel yayları ordinatlar üzerindeki merkezleri ile birlikte tepelere doğru çizilerek zarf eğrisini oluşturur. Bu eğrinin oluşumu yüzey kalitesinin grafik çıktısının dikey ve yatay eksenlerde aynı oranda büyütüldüğünü kabul eder (Scarr 1991, Kirik'dan 2010).



Şekil 4.3 Zarf eğrisinin elde edilişi (Scarr 1991, Kirik'dan 2010).

Dikey büyümelerin yataydaki büyümelerden dikkati çekecek kadar fazla olması ve dairesel yayların bozularak eliptik şekil alması olağandır. Eğer V dikey büyüme ve H grafiğin yatay büyümesi ise zarf profili dairesel yayların yarıçaplarının R yerine $(RH^2)/V$ olarak düzeltilmesiyle yeniden elde edilir. Daha sonra üretilmiş haldeki temas eden zarf çizgisinin altında ve üstünde eşit olan yüzey profili tarafından kapatılmış yayların pozisyonu ile değiştirilebilir. Bu durum Şekil 4.4'te görülmektedir. Böylece, zarf eğrisi M sistemindeki ortalama çizgiyi karşılar (Scarr 1991, Kirik'dan 2010).

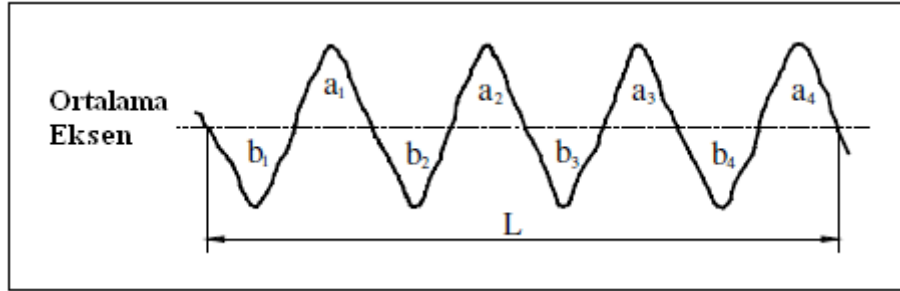


Şekil 4.4 Ortalama zarf eğrisi (Scarr 1991, Kirik'dan 2010).

4.1.3 Profil Sapmalarının Aritmetik Ortalaması

Bu parametre pürüzlülük değeri olarak bilinir ve pürüzlülüğün en çok kullanılan parametresi olup genel olarak R_a diye tanımlanır. Şekil 4.5'te gösterilen profil sapmalarının aritmetik ortalaması,

örnek bir değerlendirme uzunluğu boyunca ortalama çizginin altında ve üstünde kalan alanların toplamının değerlendirme uzunluğuna bölünmesi ile elde edilir (BS 1134-1 2009).



Şekil 4.5 Alanlarla R_a 'nın gösterimi (Galyer and Shotbolt 1993, Sarı'dan 2008).

$$R_a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{L} = \frac{\sum Alan(a) + \sum Alan(b)}{L} \quad (4.2)$$

Yüzey pürüzlülüğü hesaplanırken beş ölçüm yapılır ve ortalaması alınır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a) profildeki yüzeyi tanımlamak için yeterli değildir. Pürüzlü yüzeyler arasında karşılaştırma yapmak için kullanılır (Lundmark 2007).

Türkiye'de, yüzey pürüzlülüğü ile ilgili TS 6956 EN ISO 4287, TS 2040 EN ISO 1302, TS 929, TS 6959, TS 2495 EN ISO 3274, TS 2578 ve TS 971 gibi standartlar kullanılmaktadır.

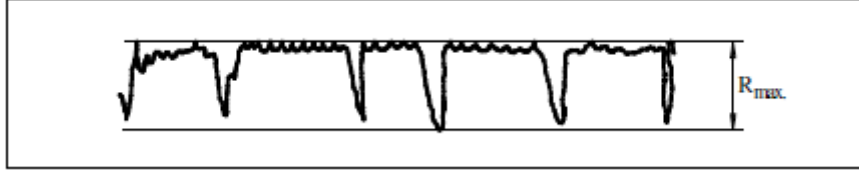
Taşlama, tormalama ve delme, frezeleme, vargelleme ve planyalama gibi işleme yöntemlerine ait pürüzlülük değerleri (R_a) Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 İşleme yöntemlerine göre pürüzlülük değerleri (R_a) (BS 2634-1 2010).

İşleme Yöntemlerine Göre Ortalama Pürüzlülük Değerleri (R_a)							
Taşlama		Tornalama ve Delme		Frezeleme		Vargelleme ve Planyalama	
μm	μin	μm	μin	μm	μin	μm	μin
0,025	1	-	-	-	-	-	-
0,05	2	-	-	-	-	-	-
0,1	4	-	-	-	-	-	-
0,2	8	-	-	-	-	-	-
0,4	16	0,4	16	0,4	16	-	-
0,8	32	0,8	32	0,8	32	0,8	32
1,6	63	1,6	63	1,6	63	1,6	63
3,2	125	3,2	125	3,2	125	3,2	125
-	-	6,3	250	6,3	250	6,3	250
-	-	12,5	500	12,5	500	12,5	500
-	-	-	-	-	-	25,0	1000

4.1.4 Maksimum Tepe-Dip Yüksekliği

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, değerlendirme uzunluğunda bulunan en yüksek tepe ve en düşük dip arasındaki mesafe tepe-dip yüksekliği olarak adlandırılır ve R_{max} ile gösterilir (BS 1134-1 2009).



Şekil 4.6 Tepe-dip yüksekliği aynı olan yüzey örnekleri (Scarr 1991, Sarı'dan 2008).

Tepe-dip yüksekliği ortalama değerini daha da iyileştirmek için, en yüksek tepe ve en düşük dip hesaba katılmaz. Böylece değerlendirme uzunluğunda çok yüksek tepe ve dibin bulunması etkili olmaz (Güllü 1995).

4.1.5 Geometrik Ortalama Değer

Seçilen değerlendirme uzunluğunda, eksen çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen sapmaların geometrik ortalama değeridir (Güllü 1995). RMS (Root Mean Square), R_q ya da R_s simgeleri ile gösterilir.

4.1.6 Profil Maksimum Tepe Yüksekliği

Seçilen değerlendirme uzunluğunda en yüksek tepe (çıkıntı) ile eksen çizgisi arasındaki mesafedir, R_p ile gösterilir (BS 1134-1 2009).

4.1.7 Profil Düzensizliklerinin On Nokta Yüksekliği

Profilin seçilen değerlendirme uzunluğu içerisindeki en yüksek beş tepe noktasının yükseklikleri ile en derin beş dip arasının derinliklerinin mutlak değerlerinin ortalamasıdır (BS 1134-1 2009). Şekil 4.7'de on nokta yüksekliğinin (R_z) hesaplanması görülmektedir.

4.2.4 Pnömatik Metot

Pürüzlülük değerleri, yüzeylere basınçlı hava üflenerek havanın yüzeydeki akış miktarına göre belirlenmektedir (BS EN ISO 25178-6 2010).

4.2.5 Replika Metodu

Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda selüloz-asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında %80 oranında bilgi verir (Balcı 2008).

4.2.6 Yüzey Dinamometresi Metodu

İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir (Yılmaz 2010).

4.2.7 X Işını Metodu

Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 µm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir (Balcı 2008).

4.2.8 Optik Mikroskop Metodu

İncelenecek numunenin yüzeyine yoğunlaştırılmış ışın gönderilerek aydınlatılır. Işınlardan etkisi ve mercekle vasıtasıyla meydana gelen şeklin görüntüsüne bakılarak yüzeydeki boşluklar ve onların meydana getirdiği en büyük açı ve yüzey yapısı hakkında değerlendirme yapılır (Neşeli 2005, Sarı'dan 2008).

4.2.9 Kesit Alma Metodu

Numunenin ince kesitinin alınmasından sonra yüzey koruyucu bir metal tabaka ile kaplanır. Yüzeyin dik kesitinden optik yansıtma yapılarak yüzey düzensizliklerinin büyütülmüş hali

görüntülenir, gerekirse şeklin optik olarak daha da büyütülmesi mümkündür. Bu metodun dezavantajı numunenin tahrip edilmesi ve yavaşlığıdır (Neşeli 2005, Sarı'dan 2008).

4.2.10 Karşılaştırma Mikroskobu Metodu

Cihazın çıplak gözle bakılan ekranında; hem kontrolü yapılacak yüzeyin büyütülmüş kesitini, hem de arka planda kıyaslama yapılan referans yüzeyin büyütülmüş kesitini birlikte görmek esasına dayalı bir metottur. Bu kıyaslamada; aynı malzemedeki yapılan, aynı işleme yöntemiyle en iyi sonucu veren iş parçasının görünüşü referans alındığında, aynı grubu oluşturan diğer iş parçalarının uygunluk kontrolü kolayca yapılabilmektedir (Green 1967, Güllü'den 2003).

4.2.11 Işık Yansıması Metodu

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde ışık yansıması metodu (interferometri), yüzeye açılı olarak yansıtılan ışınların gözlenmesi esasına dayanmaktadır. Yüzey pürüzlülüklerinin büyüklüğünden ziyade malzemenin şekli, yansıyan ışın miktarını belirlemektedir. Işınların kırılması ile yüzey pürüzlülüğü incelenebilmektedir (Güllü 2003).

4.2.12 İzleyici Uçlu Cihazlar Metodu

Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir (Bayrak 2002, Balcı'dan 2008).

4.2.13 Elektro-Fiber-Optik Sistem Metodu

Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzemenin fiber optik algılayıcı altına konarak üzerine gönderilen ışınlar yüzeyin pürüzlü olması nedeni ile dağılıma uğrar ve yansıma açıları farklı olacak şekilde yansır. Malzeme yüzeyindeki pürüzlülüğe sebep olan mekanik çizgiler arasındaki mesafe ışık dalga boyu mertebesinde ise yüzey bir ışık kırıcı gibi davranış gösterir. Böylece malzeme yüzeyine gelen ışınlar farklı ışınım fazında yansır (spektruma ayrılır). Bununla birlikte malzeme yüzeyindeki çizgilerin düzensiz oluşu, yansıyan farklı fazdaki

ışımada, ışık şiddeti dağılımına neden olur. Böylece foto algılayıcının üreteceği elektriksel çıkış düzensiz olacak, buna bağlı olarak da yüzey pürüzlülüğü belirlenmiş olacaktır (Neşeli 2005, Sarı'dan 2008).

4.2.14 Işık Bantlı Mikroskop Metodu

Yaklaşık 1 µm yüksekliğindeki yüzey pürüzlülüğünün kontrol edilmesinde kullanılabilen ışık bantlı mikroskoplar ile kontrol edilecek yüzeye dokunmadan ve zarar vermeden, büyük bir hassasiyetle ve basit bir işlem ile ölçme yapılabilmektedir. Burada uygulanan metotta, kontrol edilecek yüzeye eğimli olarak gönderilen düz ışık huzmeleri, yüzey üzerinde dar bir ışık bandı oluşturmaktadır. Bu ışık bandı, yüzey ile ışık huzmesi düzleminin ara kesit izini belirtmekte ve kontrol edilen yüzey üzerindeki pürüzlülüğü oluşturan girinti ve çıkıntılar ara kesit izi üzerinde çentikli olarak görülmektedir (Güllü 2003).

4.2.15 Yaylı Tip Profilometreler Metodu

Endikatör prensibine göre yapılmış mekanik olarak çalışan bir yüzey pürüzlülüğü ölçme profilometresidir. Hafif ağırlıkta ve küçük ölçüler içinde yapılmış olan alet üzerinde üç adet küresel sert metal destek yer almaktadır. Elmas uçlu iğne, desteklerden birine açılan delik içine yerleştirilmiştir. Alet, kontrol edilecek yüzey üzerinden çapraz olarak yavaşça geçirildiğinde, yüzey pürüzlülüğü saat üzerindeki göstergeden R_a pürüzlülük değerleri olarak okunmaktadır (Reason 1960 ve Sanith 1981, Güllü'den 2003).

4.2.16 Elektrikle Çalışan Profilometreler Metodu

Bu aletlerin çalışma prensibi, yüzey üzerindeki pürüzlülüğe göre düşey olarak hareket eden ve bu hareketleri elektrik sinyaline dönüştüren elmas uçlu iğnelere dayanmaktadır. İğne uç, bir başlığa bağlıdır ve başlık iş parçası yüzeyine kontrol edilebilir bir seviyede tutularak iğne ucun fiziksel olarak yüzeyi yakından izlemesi sağlanır. İğne ucun parça yüzeyi boyunca tarama hareketi esnasında oluşan mekanik sapmalar, elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu sinyaller, ibreli gösterge veya sayısal okuma ünitelerinde ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine aktarılır, ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri dijital grafik olarak kaydedilir (Güllü 2003).

BÖLÜM 5

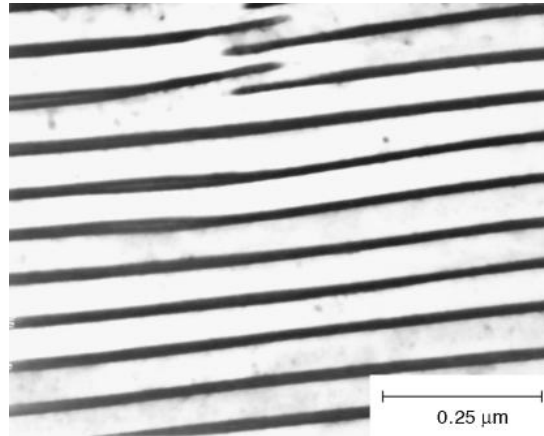
RAYLAR

5.1 RAY ÇELİKLERİ VE MİKROYAPISI

Üretim sırasında yapılan ısıl işlemler, yola kurulum sırasında uygulanan bükme, kaynak ve yola döşendikten sonra meydana gelen aşınma, yorulma, sürtünme gibi fiziksel nedenler ile rayların ömrü değişkenlik göstermektedir. Rayların içyapısı ve mekanik özellikleri de ray ömrüne etki etmektedir.

Ray çeliği olarak genellikle perlitik mikroyapı kullanılır. Perlitik mikroyapıya alternatif olarak beynitik, ostenitik ve temperlenmiş martenzitik ray çelikleri de üretilmiştir.

Perlitik mikroyapı; yumuşak ferritik (α) yapı içinde ince, uzun, sert sementitler (Fe_3C) şeklindedir. Şekil 5.1’de perlitik mikroyapının bir fotoğrafı verilmiştir.



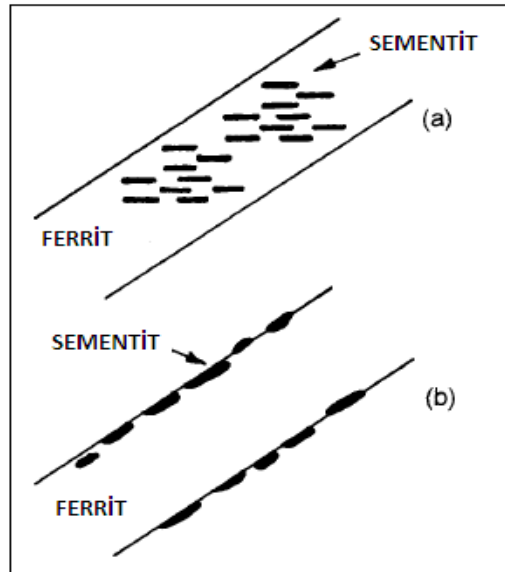
Şekil 5.1 Perlitik mikroyapının fotoğrafı (ASM International 2005).

Yüksek dayanıklılığı, düşük maliyeti ve aşınma özellikleri nedeniyle perlitik mikroyapıya sahip ray çelikleri demiryolu rayları ve tekerleklerinde de en çok kullanılan malzemedir (Cvetkovski et al. 2010). Perlitik yapıdaki modern ray çelikleri yüksek sertlik ile beraber

yüksek dayanım ve aşınmaya karşı dayanım sağlar. Aşınmaya ve yorulmaya karşı dayanım, perlitik mikroyapı içerisindeki karbon oranının artırılması, alaşımların etkisi, metalik olmayan inklüzyonların azaltılması ve mantar kısmının sertleştirilmesi sayesinde gelişmiştir.

Bu yapının mekanik özellikleri sementit lamellerin arasındaki mesafeye, lamellerin kalınlıklarına ve tane boyutuna bağlıdır. Lamellerarası mesafe sertliği, akma dayanımını, çekme dayanımını ve kesit daralmasını büyük oranda etkiler. Uygulanan kimyasal ve ısı işlemler ile lamellerarası mesafe azaltıldığında raylar daha yüksek sertliğe ve daha yüksek aşınma dayanımına ulaşır.

Beynitik mikroyapı; çeliğin içerisine eklenen elementler ve uygun soğutma oranı ile oluşturulur. Bu yapı, perlitik yapıdaki gibi lamellerden oluşmaz, ferrit çubukları ile lamel olmayan partikül şeklindeki sementitlerin ferrit çubukların içinde ya da arasında bulunması ile oluşur (Singh et al. 2001, Aglan et al. 2004). Şekil 5.2’de beynitik mikroyapıdaki sementit partiküllerinin dağılımını gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Beynitik mikroyapı a) Sementit ferrit çubukları arasında, b) Sementit ferrit çubukları üzerinde (Singh et al. 2001).

Beynitik ray çeliklerinin dayanımı ferrit çubukların kalınlığına ve sementit partiküllerin yapı içindeki hacimsel oranına bağlıdır (Singh et al. 2001).

Beynit gibi alternatif mikroyapılarla oluşturulan raylar, darbelere karşı yüksek dayanımlı ve tok yapıdadır. Bir araştırmada, beynitik çeliklerde yüzey hasarlarının başlaması ve yüzeyde dalgalanmaların oluşmasının perlitik çeliklere göre daha geç meydana geldiği belirtilmiştir (Singh et al. 2001). Yapılan bazı çalışmalarda ise beynitik ray çeliklerinin sertliklerinin artış gösterdiği ancak perlitik yapı kadar iyi bir aşınma dayanımı göstermediği de ifade edilmiştir (Singh et al. 2001, Hernandez et al. 2007, Lee et al. 2011). Öte yandan yorulma dayanımı, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı, kırılma dayanımı, yuvarlanma temas yorulması dayanımının perlitik çeliğe oranla daha yüksek olduğu da bazı araştırmacılar tarafından iddia edilmiştir (Jin and Clayton 1997, Yokoyama et al. 2001, Aylan et al. 2004).

Ostenitik mikroyapıdaki raylar düşük akma dayanımı ile ilişkili olarak çok düşük kırılma dayanımına sahiptir. Ray kullanımda iken bir miktar sertleşme olup, 500 HB sertlik değerine erişmektedir. Yumuşak yapısı ile bu malzeme plastik akma etkisi gösterdiği ve uzun aşınma ömrü sergilediği için genellikle makaslarda kullanılmaktadır (Fenske et al. 2003, Kalaycıoğlu'ndan 2006).

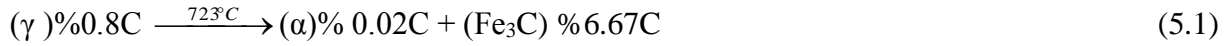
Temperlenmiş martenzit ray çelikleri sertlik değerleri içinde iyi tokluk vermektedir. Mühendislik uygulamaları ve mekanik özellikleri bakımından üstün özelliklere sahip olmasına rağmen bu çeliğin aşınma dayanımı düşüktür (Fata et al. 2003 ve Pan et al. 1994, Kalaycıoğlu'ndan 2006).

Genel olarak beynitik ve martenzitik çeliklerin demiryolu rayı olarak tercih edilmemesinin sebebi, içerdikleri düşük karbon oranının düşük aşınma dayanımı vermesidir (Singh et al. 2001).

5.2 PERLİTİK DÖNÜŞÜM

Perlitik yapı, % 0,8C içeren çeliğin, ostenit bölgesinden yavaş soğutulması sırasında 723°C sıcaklıkta meydana gelen ötektoid reaksiyon sonucunda sementit ve ferrite dönüşmesi ile oluşan yapıdır.

Bu yapıyı elde etmek için % 0,8C içeren ötektoid bileşime sahip bir alaşım 723°C'nin üzerine ısıtılır ve burada sadece ostenit tanelerini içeren bir yapı oluşur. Ostenit 723°C'ye soğutulduğunda ise ötektoid reaksiyon başlar.



Bu dönüşüm sonucunda farklı yapıdaki ferrit ve sementit fazları oluşur.

Reaksiyon sırasında atomlar yayılmak zorundadır. Ostenit içinde karbonun çoğu sementite yayılırken demir atomlarının büyük bir kısmı ferrite yayılma gösterir. Soğuma hızı arttığında yayılımın gerçekleşebileceği süre miktarı azaldığı için karbon atomlarının yayımlanabileceği mesafeler kısalmıştır. Böylece reaksiyon sırasında oluşan lameller ince ve yakın aralıklı olur. Oluşan ince perlit ve ince lamellerarası mesafe ile dayanım artar (Askeland 1998).

5.3 RAYLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ

Ray çeliğinin yapısında ana element olan demirin yanı sıra karbon, silisyum, manganez gibi dayanımı arttırıcı elementler ve fosfor, kükürt gibi zararlı elementler de bulunmaktadır.

Karbon; çeliğin sertliğini ve dayanımını arttıran en önemli elementtir, ancak artan karbon miktarı malzemenin daha gevrek olmasına neden olur. Ray çeliği içindeki karbon miktarı genellikle %0,4-0,8 arasındadır. Silisyum; çeliğin daha akıcı, yoğun, ince zerreli ve homojen olmasını sağlar. Çelik üretiminde oksijen giderici olarak kullanılan temel elementlerden biridir. Ray çeliği içindeki silisyum miktarının genellikle %0,35-0,50 arasında olması istenir. Mangan; çeliğin dayanımını arttırır. Ray çeliği içindeki mangan miktarı karbonun 2-3 katı, %0,8-2,4 arasında olmalıdır. Fosfor; ferritin dayanımını en fazla arttıran elementtir. Bu nedenle düşük oranlarda bile fosfor, çeliğin dayanımının ve sertliğinin artmasını sağlar ve çeliğin korozyon dayanımını olumlu yönde etkiler. Ray çeliği içindeki fosfor miktarı %0,03-0,08'den fazla olmamalıdır. Kükürt; ray çeliğinin içinde bulunması istenmeyen bir alaşımdır, demir ile birlikte FeS bileşiği oluşturarak, tane sınırlarında birikir ve malzemenin gevrekleşmesine yol açar. Ancak tamamen çıkarılmasındaki zorluklar nedeni ile %0,06'ya kadar kabul edilir (Kumbasar 1972, Özaraç'tan 2005, Erişir 2013).

5.4 RAYLARIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Rayların pürüzsüz olmaları imkânsızdır, üretildikten sonra yola döşendiğinde bile yüzeyinde pürüzler mevcuttur. Pürüzlülük, tekerlek ve rayın birbiriyle temas halinde olması sonucunda yüzeyde meydana gelen pürüzlülük tepeleri veya kaba bir doku şeklinde kendini gösterir. Ray

yüzeyinde oluşan pürüzlülük sebebi ile oluşan dalgalanmalar, titreşimlere, gürültüye, ray ömrünün azalmasına ve bazen ciddi tren kazalarına neden olmaktadır (Candemir 2005, Spannar 2008).

Tekerlek ve ray temas ettiğinde iki yüzey arasındaki gerçek temas alanı, pürüzlerin birbirine dokunduğu bölgelerdir. Bu durumda rayın taşıdığı yük sadece yüzeylerde pürüzlerin birbirlerine temas ettiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Ray yüzeyi ne kadar pürüzsüz olursa yük o kadar geniş bir alanda taşınır ve böylece ray ömrü artar (Rovira et al. 2011).

Küçük bir sürtünmede dahi yüzey pürüzlülüğü, aşınmanın başlaması için yeterlidir (Alwahdia 2009). Ray yüzeyinde bulunan pürüzlülük tabakaları, hareket sırasında yüksek temas basıncına ve dolayısıyla plastik şekil değiştirmeye sebep olmaktadır (Kapoor 2002).

Ray yüzeyinde oluşan pürüz tabakaları rayın dayanıklılığı ve ray sertliği ile ilişkilidir (Liu et al. 2003). Rayın sertliği arttıkça yüzeyde pürüz oluşum hızı azalır, yüzey pürüzlülüğü azaldıkça raydaki aşınma da azalır.

Raylar yola döşendiğinde ray mantarında boyuna yönde maksimum pürüzlülük $R_a=10$ μm 'dir. Görsel açıdan ağır pürüzlü ve karartılı yapılarda, pürüzlülük ölçüm sonuçları aritmetik ortalama yöntemine göre değerlendirilir. İki metrelik mesafelerde pürüzlülük ölçüm cihazı ile minimum altı ölçüm yapılır ve TS 2495 EN ISO 3274'e göre değerlendirilir (T.C.D.D. 2009).

Avrupa demiryollarında da ortalama yüzey pürüzlülüğü standart değeri CEN Standard EN 13231-3'e göre maksimum 10 μm olarak verilmiştir (BS EN 13231-3 2012). R_a yüzey pürüzlülüğünü ölçmede dünya çapında kullanılan bir parametredir. Pürüzlü yüzeyleri karşılaştırarak yüzeylerin standart yüzeye oranla ne derece pürüzlü olduğu tanımını yapar.

Ray pürüzlülüğünün aşınmayı hızlandırdığını gösteren araştırmalar mevcuttur. Almanya'da Augsburg-München ve München-Treuchtlingen Deneme Yollarında aşınma için yapılan deneysel araştırmalar sonunda, rayların pürüzlülüğünün dalgalı aşınmayı hızlandırdığı, yeni raylarda önceden taşlama yapılarak yüzey pürüzlülüğünün giderilmesinin aşınma oluşumunu geciktirdiği saptanmıştır (Kaess 1983, Erel'den 2009).

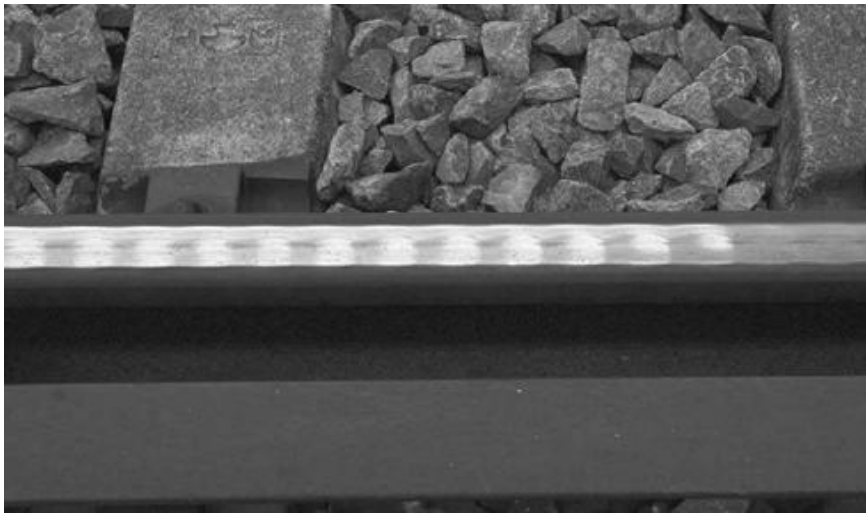
5.5 RAYLARIN AŞINMASI

Teknoloji ile birlikte yolcu ve yük taşımacılığında demiryolu kullanımı artmış, yüksek hızlı trenler ve yüksek dingil yüklerine sahip yük trenleri gelişmiştir. Artan hız ve trafik yoğunluğu ile demiryolunun ana bileşeni olan raylarda zaman içinde oluşan şekil bozuklukları, yolların fiziksel özelliklerini bozarak taşıt ve yollardaki hasar oluşumlarına, maliyetin ve gürültünün artmasına, kazalara neden olmaktadır. Raylarda, doğrultu ve yükseklik bozukluklarının yanı sıra, değişik türde kırılma ve aşınmalar oluşmaktadır (Erel 2009).

Raylarda meydana gelen aşınma, demiryollarında en sık karşılaşılan ve maliyeti en fazla olan sorunlardan biridir. Ray çeliğinin mikroyapısı, rayın sertliği, raya uygulanan işlemler, kullanılan yük, hız, sürtünme, ray yüzey düzgünlükleri aşınmayı etkileyen faktörlerdir.

Raylarda çoğunlukla meydana gelen aşınmalar; dalgalı aşınma, yuvarlanma-kayma aşınması ve abrasiv aşınmadır.

Genellikle "ondülasyon" adı ile tanınan dalgalı ray aşınması, "ray üst yüzeyinde az ya da çok periyodik biçimlerde oluşan düzlemsel bozukluklar" olarak tanımlanabilir. Ray yuvarlanma yüzeyinde birbirlerini izleyen parlak tepeler ile koyu renkli mat vadiler şeklinde bir görünüm oluşturan bu aşınma, trafik güvenliği açısından tehlikeli değildir, yüksek frekanslı titreşimlerle önemli bir gürültü oluşturmaktadır (Erel 2009). Şekil 5.3'te dalgalı aşınma hasarı gösteren bir ray fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.3 Raylarda görülen dalgalı aşınma (Suda et al. 2002).

BSI (İngiliz Standartları Enstitüsü) tarafından hazırlanan BS EN 13231-3 standardına göre dalgalı aşınmalar, 10-30 mm boylarındaki çok kısa dalgalar, 30-100 mm boylarında kısa, 100-300 mm boylarında uzun ve 300-1000 mm boylarındaki dalgalar çok uzun dalgalar olarak sınıflandırılmıştır (BS EN 13231-3 2012).

Yuvarlanma-kayma aşınması, birbiri üzerinde yuvarlanarak hareket eden malzemelerde meydana gelmektedir.

Tekerlek/ray teması, yüksek temas kuvvetleri ve küçük temas alanları olarak karakterize edilebilir. Gerçekte uygulanan yükün tamamı görünen yüzey tarafından taşınmaz. Birbiri üzerinde yuvarlanan iki disk düşünüldüğünde yükü taşıyan, malzemelerin yüzeyinde bulunan çıkıntılardır, yani yükü çok daha küçük bir alan taşımaktadır. Dolayısıyla pürüzler yükü çıkıntılarda yoğunlaştırarak yüksek basınç neden olur ve böylece bu alanlarda plastik akış gerçekleşir. Tekrarlanan kayma müddetince bu yüksek basınç temas alanları yüzeyin altında derinlik yönünde basma gerilmeleri oluşturur ve yanlardan malzeme akışı meydana gelir. Deformasyon sertleşmesinin de etkisiyle kırılmalı olan bu çıkıntılar kaymanın etkisiyle kırılarak aşınma hasarına sebep olurlar (Çakmak ve Yalçın 2005). Şekil 5.4'te yuvarlanma-kayma aşınmasına örnek bir fotoğraf verilmiştir.



Şekil 5.4 Raylarda görülen yuvarlanma-kayma aşınması (URL-1 2013).

Demiryollarında bu aşınma türüne daha çok istasyon girişlerinde rastlanmaktadır. Bu noktalarda trenin yaptığı fren nedeniyle yuvarlanmaya karşı bir direnç oluşur. Fren

mekanizması tekerleği bloke eder ve tekerlek dönmeden ray üzerinde dönmeye başlar (Uğur 2012). Ray yüzeyinde tekerleğin yaptığı yuvarlanma hareketi ile oluşan bu aşınma sadece ray yüzeyinde oluşabileceği gibi hem ray yüzeyinde hem de tekerlek yüzeyinde değişen miktarlarda oluşabilir.

Raylarda en sık rastlanan aşınma türlerinden biri de abrasiv aşınmadır. Kayma-yuvarlanma hareketi sırasında artan temas basıncı nedeni ile tekerleğin yapısındaki kaba parçalar raya gömülür. Bu parçalar rayın yüzeyini kazıyarak malzemenin deformasyona uğramasına, sünekliliğini kaybetmesine ve aşınma partikülleri oluşturarak abrasiv aşınmasına yol açarlar (Kapoor 1997). şekil 5.5'te abrasiv aşınma örneği görölmektedir.

Dışarıdan yüzeyler arasına giren toz da tekerlek-ray temas yüzeyinde abrasiv aşınmayı artırır. Bu sert parçacıklar zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı bir etki yaparak malzeme kaybının meydana gelmesine sebep olurlar (Özsaraç 2005).

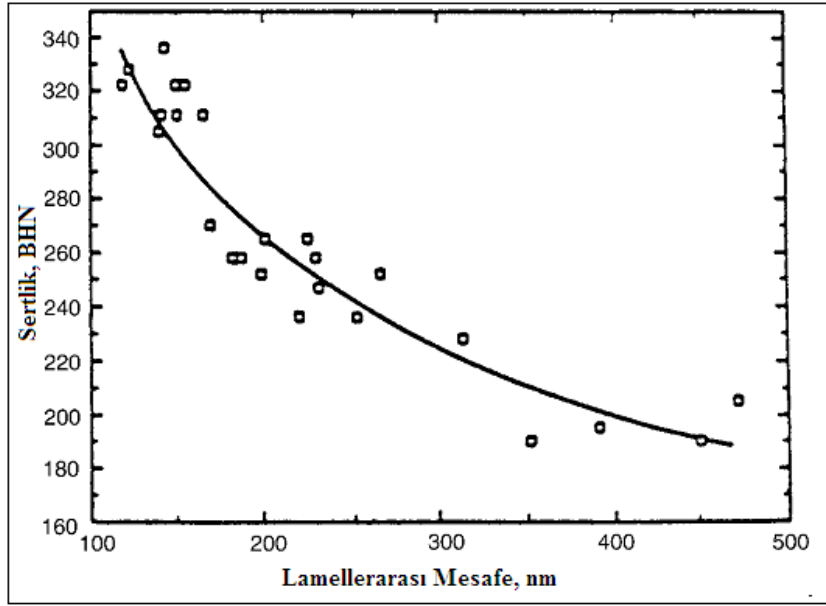
Rayda oluşan aşınma sonucunda boyuna, yanal ya da düşey yönde hasarlar oluşur. Bu hasarlar da ray profilinin değişimine neden olur (Erel 2009).



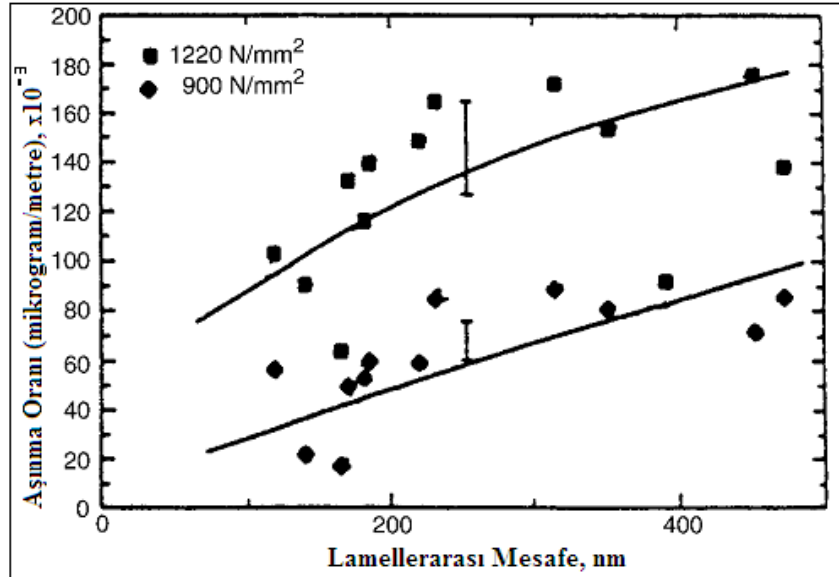
şekil 5.5 Ray abrasiv aşınma hasarı (URL-1 2013).

Rayın sertliği aşınmaya büyük ölçüde etki etmektedir. Perlitik mikroyapı aşınmaya karşı dayanımı sebebiyle demiryollarında sıkça tercih edilir. Lamellerarası mesafe, akma dayanımını, çekme dayanımını ve sertliği etkilemektedir. Bu yapıda sertlik, lamellerarası

mesafe ile orantılıdır. Lamellerarası mesafe azaldıkça sertlik ve aşınmaya dayanım artmaktadır. (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



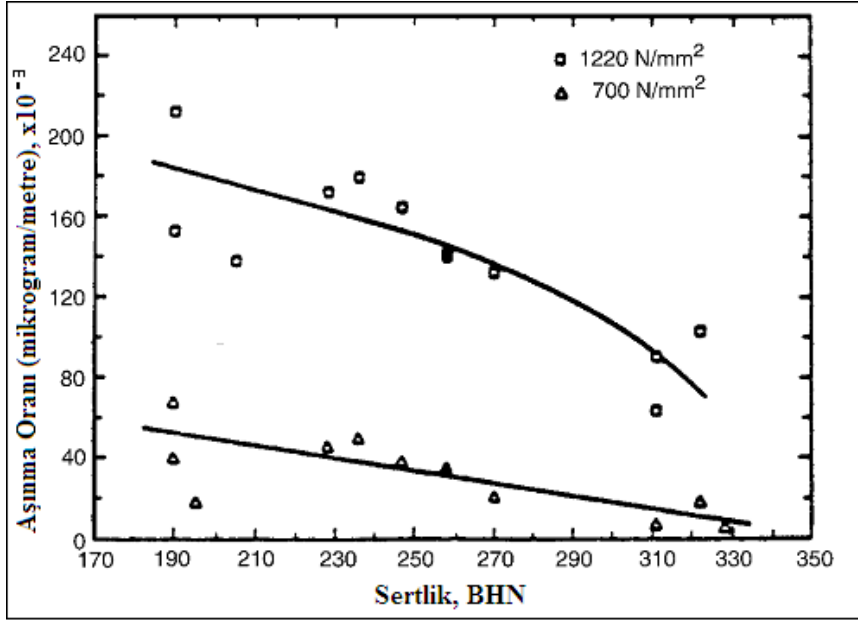
Şekil 5.6 Sertliğin perlitik yapıdaki lamellerarası mesafe ile değişimi (Clayton and Danks 1990, ASM International'dan 2005).



Şekil 5.7 Farklı temas basınçlarında lamellerarası mesafenin aşınma oranına etkisi (Clayton and Danks 1990, ASM International'dan 2005).

Sertliğin artması ile rayın aşınma dayanımı artar. Rayın kimyasal yapısında yapılacak değişiklikler veya ısıl işlem ile maksimum 450 HB sertlik değerine ulaşmak mümkündür. Ancak uygulamada 340-355 HB sertlik değerleri tercih edilmektedir. Bunun nedeni yüksek

sertliğin ray yüzeyinde deformasyona ve rayda kırılmalara yol açmasıdır (Kalaycıoğlu 2006). Şekil 5.8’de ray çeliğinde sertlik arttıkça aşınma oranının azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.8 Farklı temas basınçlarında aşınma oranının sertliğe etkisi (Clayton and Danks 1990, ASM International’dan 2005).

5.6 RAYLARIN TAŞLANMASI

Yüzey pürüzlülüğünün ve aşınmanın olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için ray yüzeyine son yıllarda genellikle taşlama işlemi uygulanmakta ya da ray değiştirilmektedir. Ayrıca, gürültü ve titreşimin azaltılması için kullanılan etkin bir yöntemdir. Bu konuda, tüm dünyada araştırmacılar ve/veya şirketler tarafından hem önlem alma hem de ölçme konusunda çok detaylı çalışmalar yapılmakta ve uygulanmaktadır.

Demiryoluna döşenen raylar üzerindeki dalgalanmalar, aşınma, motor yanıkları gibi hataların zımpara taşları ile aşındırılarak rayların yüzeylerine şekil verme işlemine “ray taşlaması” denmektedir.

Ray taşlama, ray yüzeyinde oluşan dalgalanmaları, özürleri yok ederek gerektiğinde raya tekrar şekil veren bir uygulamadır. Bu uygulamalar ray ömrünün artmasını, yakıt tasarrufu sağlanmasını, ray geometrisinin korunmasını, bakım masraflarının azalmasını, gürültü ve titreşim düzeyinin düşürülmesini sağlar. Geç kalınmış bir taşlamada ray kaybının yanı sıra

daha fazla enerji harcanır, titreşim nedeni ile oluşan gürültü çevreyi rahatsız eder, yolcu konforu düşer, üstyapı malzemeleri zarar görür, kazalar meydana gelebilir (Candemir 2005).

Günümüzde ray taşlama tekrarlanan tren yüklerinden dolayı rayda meydana gelen yuvarlanma temas yorulmasının yüzeyde neden olduğu hasarları gidermek amacıyla oldukça fazla kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca taşlama rayın ömrünü uzatmaya, ses ve titreşimi azaltmaya katkıda bulunmaktadır. Rayın pürüzlülüğü ray taşlamasının verimli olmasında önemli rol oynamaktadır. Pürüzlülük ne kadar yüksek seviyedeysse taşlama hızı ve kullanılan taş da o kadar önemli olmaktadır (Chen and Ishida 2006).

Uygun başlangıç koşullarını sağlamak için yola döşenen yeni raylar üzerindeki üretim hatalarını ve pürüzlülükleri en baştan ortadan kaldıran “önleyici taşlama”; kullanım sırasında meydana gelen hataların mikro çatlağa dönüşmesini engellemek için yapılan “koruyucu taşlama”; ray yüzeyinde meydana gelen bozuklukların ve tren hareketini engelleyen yabancı maddelerin giderilerek rayı kullanıma uygun hale getirmek için yapılan “düzeltici taşlama” ray taşlanmasında kullanılan taşlama metotlarıdır (Cooper 1993, Lundmark’tan 2007).

Taşlama, birkaç taşlı taşlama araçları ya da el ile taşlama makineleri kullanılarak yapılmaktadır. El taşlama makineleri, genellikle kaynak, cebire gibi hat elemanlarını tıraşlayan tek taşlı makinelerdir, benzinli ve elektrikli tipleri vardır. İnsan gücüyle hareket ettiklerinden ustalık ve tecrübe gerektirirler. Taşlama araçları ise hafif raylı sistemlerden birden fazla hattı olan metro sistemlerine kadar her türlü demiryolunda kullanılabilen bilgisayar kontrollü araçlardır. 8-10-16 taşlı makinelerin birleşimi ile dizi oluşturabilirler. Taşlama öncesi enine ve boyuna muayene yapıp dalgalanmaları aralıksız takip edebilirler (Candemir 2005). Taşlamada kullanılan taşlar, uygulamayı yapan firmalara göre değişiklik göstermektedir. Şekil 5.9’da birden fazla taşlama taşı ile yapılan ray taşlaması görülmektedir. Şekil 5.10’da elle taşlama yapan makinalara bir örnek verilmektedir.



Şekil 5.9 Ray taşlama araçları ile taşlama (Candemir 2010).



Şekil 5.10 Elle ray profili taşlama (URL-2 2013).

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

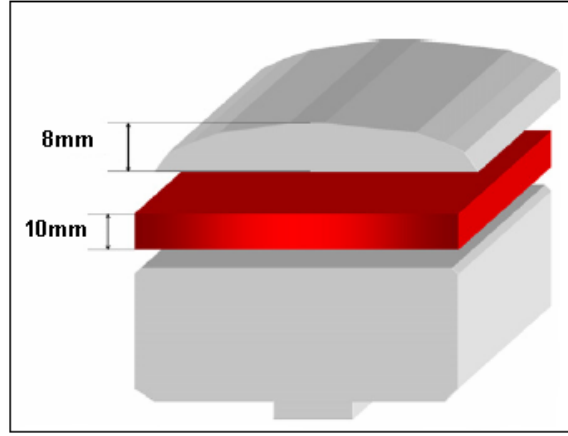
Bu çalışmada Türkiye’de tren yollarında kullanılan R260 perlitik ray çeliği kullanılmıştır. Raylar özel sektörden temin edilmiştir. Rayların spektral analizi özel sektörde EDX3600B EDXRF marka spektrometre ile rayın karbon ve kükürt oranı analizi ise CS-2000 marka cihaz ile yapılmıştır. Kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Deneysel çalışmada kullanılan R260 ray çeliğinin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim (%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,7000	0,3298	0,9334	0,0146	0,0111	0,0335	0,1070	0,0001

6.2 NUMUNE HAZIRLANMASI

Özel sektörden temin edilen rayların üzerinden 8 mm’lik dekarburizasyon tabakası alındıktan sonra raylar, 20x20x10 mm ölçülerinde toplam 36 adet deney numunesi bor soğutmalı testere kullanılarak kesilmiştir (Şekil 6.1).

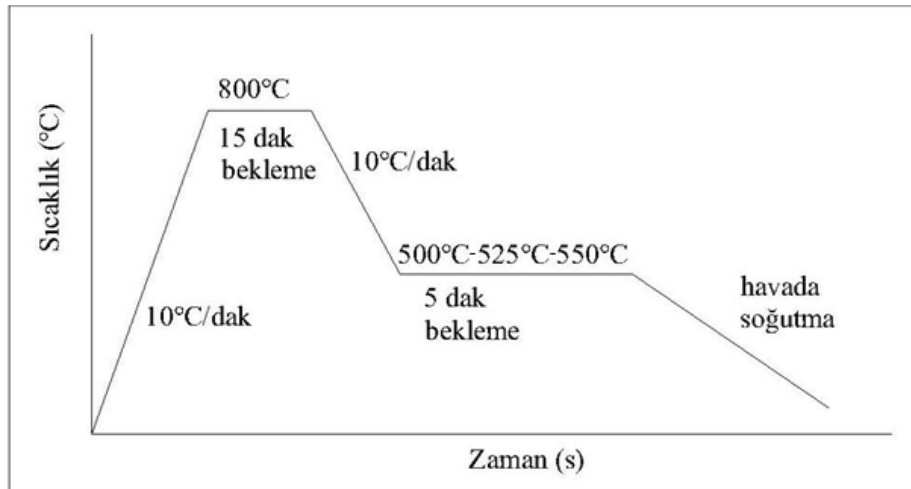


Şekil 6.1 8 mm dekarbürizasyon tabakası ve numunelerin alındığı 10 mm kalınlığındaki tabaka (Hernandez et al. 2007’den değiştirilerek).

6.3 ISIL İŞLEM

Numunelerin 27 tanesi YTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü’nde Protherm marka PZF 12/75/700 model tüp fırında ısıl işleme tabi tutulmuştur.

Isıl işlem için 9’ar numune 10°C/dak hız ile 800°C sıcaklığa çıkarılıp bu sıcaklıkta 15 dakika ostenitleme işlemine tabii tutulmuştur. 800°C’de 15 dakika ostenitleme işlemi uygulanan numunelerin yapısında bulunan sementitin parçalanarak karbonun içerisinde tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Ostenitleme işleminden sonra numunelere, 10°C/dak hız ile 550°, 525° ve 500°C sıcaklıklar için 5 dakika fırında tutma ve havada soğutma şeklinde ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlemin şematik olarak grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 500°, 525° ve 550°C için sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi.

6.4 MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Özel sektörde kesilen ısıl işlem uygulanmamış (N) ve yeniden ısıl işlem gören numuneler (İİN), B.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Metkon Metapress-A cihazında 40 mm'lik kalıplar kullanılarak sıcak kalıplama ile bakalite alınmıştır.

Mikroyapı incelemeleri, Metkon IMM 901 marka optik mikroskop ve Clemex görüntü analiz programı kullanılarak 100 ve 400 büyütmelerde yapılmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Metkon IMM 901 marka optik mikroskop ve Clemex görüntü analiz cihazı.

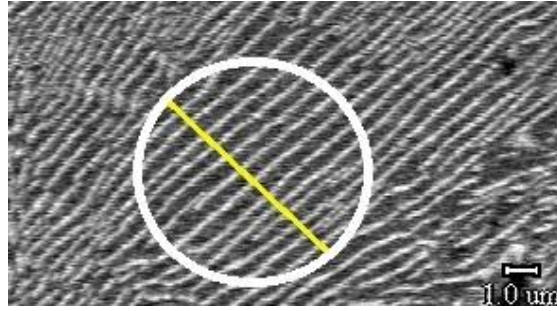
SEM analizleri, Y.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır. % 2'lik nital ile dağlanan ısıl işlem görmüş ve ısıl işlem görmemiş numunelerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri, JEOL JSM 5410 LV marka cihaz ile 20 kV voltajda, 2000 büyütmede, yüzey bölgesinden görüntüler alınarak yapılmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).

6.5 LAMELLERARASI MESAFE ÖLÇÜMÜ

Numunelerin lamellerarası mesafesi, SEM fotoğrafları üzerinde Clemex görüntü analiz programı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm için 5 adet perlit kolonisi seçilmiş ve her kolonideki sementit lamellerine dik doğrultudan ölçüm alınarak elde edilen uzunluk lamel sayısına bölünmüş ve ortalamaları alınmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Lamellerarası mesafe ölçümü.

6.6 SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Sertlik ölçümleri özel sektörde Microhardness-FM 700 marka mikrosertlik ölçme cihazında, Vickers sertlik ölçme yöntemi ile 500 g yük ve 10 s süre uygulanarak yapılmıştır.

6.7 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ

Kalıplanan numuneler, B.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında üç farklı yüzey pürüzlülüğü elde etmek için Karbosan marka Q, P ve M sertlik derecesindeki düz yüzey taşlama taşları ile taşlanmıştır. Taşlama taşları, 1 inç² alandaki tane sayısına ve sertliklerine göre Çizelge 6.2’de sınıflandırılmıştır.

Çizelge 6.2 Taşlama taşlarının özellikleri.

Taşlama Taşı	Tane sayısı	Aşındırıcı	Sertlik Derecesi
Q	24	Alüminyumoksit	Sert
P	36	Alüminyumoksit	Sert
M	80	Sinterlenmiş Elmas	Orta Sert

Taşlama sonrası ve aşınma sonrası yüzey pürüzlülüğü, Taylor Hobson marka yüzey profilometre cihazı ile ölçülmüş ve 5 ölçümün ortalaması alınmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Yüzey profilometre cihazı.

6.8 AŞINMA DENEYLERİ

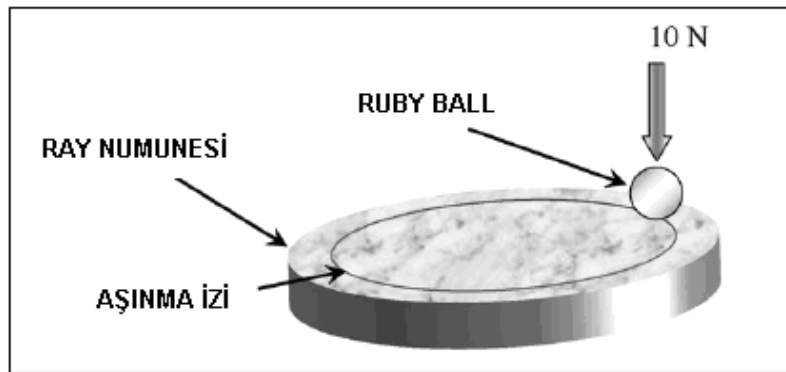
Aşınma deneyleri B.E.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü’nde Tribotechnic marka tribotester aşınma cihazında yapılmıştır (Şekil 6.7). Ball-disk, tekerleğin ray üzerindeki yuvarlanma hareketine benzer bir hareket sergilediğinden tercih edilmiştir.

Numuneler disk olarak, aşındırıcı ise ball olarak makineye bağlanmış ve aşındırıcı olarak 1,6 mm çapında sentetik ruby ball kullanılmıştır. Bu aşındırıcının sertliği yaklaşık 1570-1800 HV ve bileşimi alüminyum oksittir. Sentetik ruby ball, ray numunesinden yaklaşık olarak dört kat daha serttir ve ray numunesini aşındırırken kendisi aşınmayan ve/veya çok az aşınan aşındırıcı partiküller oluşturmayan ve/veya çok az oluşturan bir yapıya sahiptir.



Şekil 6.7 Tribotechnic marka aşınma cihazı.

Numuneler, 10 N yük uygulanarak 100 m, 200 m ve 400 m kayma mesafelerinde, 100 rpm (41,90 mm/s) kayma hızında, 4 mm sürtünme yarıçapında aşındırılmıştır (Şekil 6.8). 10 N yük 2,5 GPa Hertz temas basıncına eşittir. Bu değer, yaklaşık 1,8 GPa olan gerçek ray-tekerlek temas basıncından daha yüksek bir değerdir (Hernandez et al. 2007 ve 2011). Buna ilaveten temas basıncı 1 GPa'ı aştığında yapısal değişimler meydana gelir ve yüzeyde mikro çatlakların oluşmasına neden olur (Lojkowski et al. 2001).



Şekil 6.8 Aşınmanın şematik olarak gösterimi (Hernandez et al. 2007'den değiştirilerek).

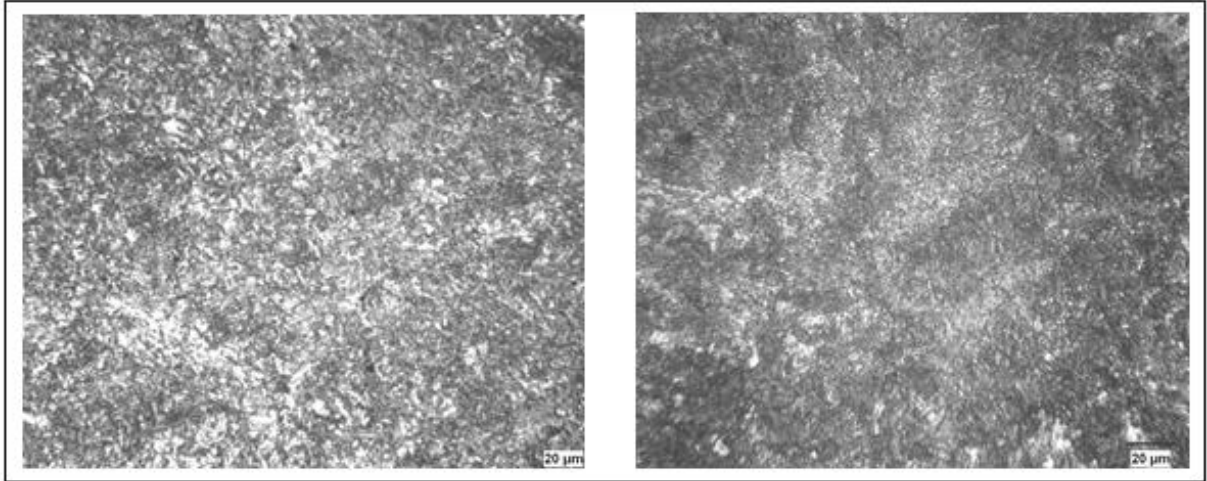
Deney sonrası yüzey pürüzlülüğü cihazında oluşan izin kesit alanı beş defa ölçülmüş ve iz alanlarının ortalaması hesaplanarak her numune için aşınma oranı tespit edilmiştir. Aşınma cihazının yazılım programında, ölçülen iz alanı değeri yerine konularak aşınma oranları bulunmuştur.

BÖLÜM 7

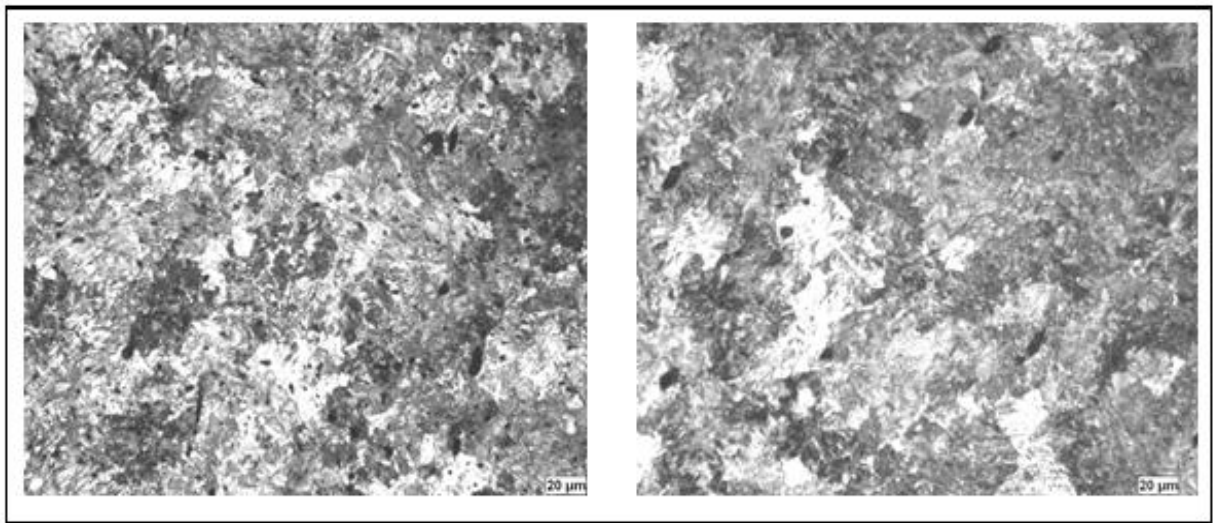
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

7.1 MİKROYAPI VE LAMELLERARASI MESAFE ÖLÇÜM SONUÇLARI

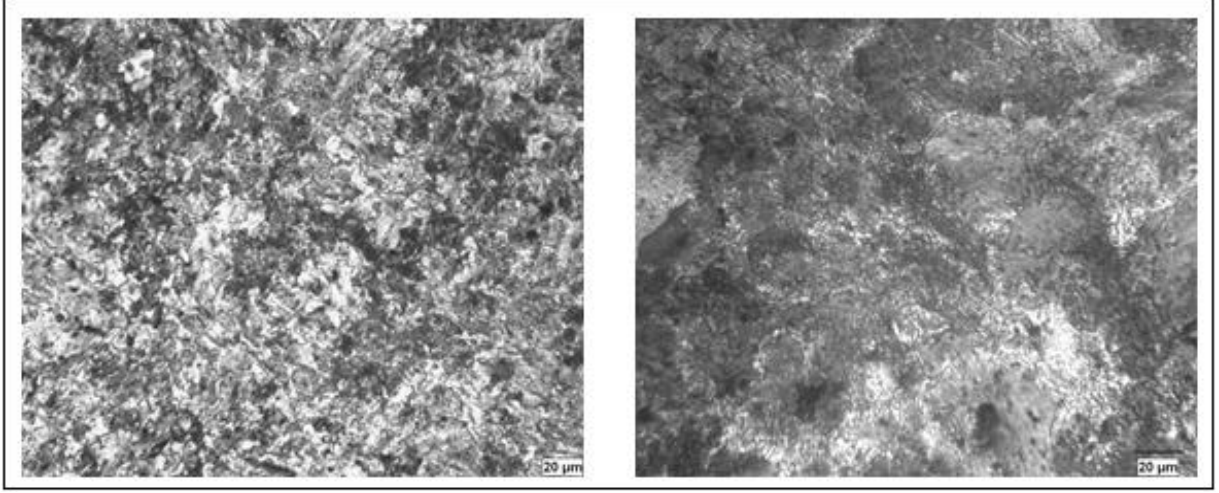
Isıl işlem uygulanmamış (N) (Şekil 7.1) ve uygulanmış numunelerin (İİN) (Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4) perlitik mikroyapıları optik fotoğraflardan görülmektedir.



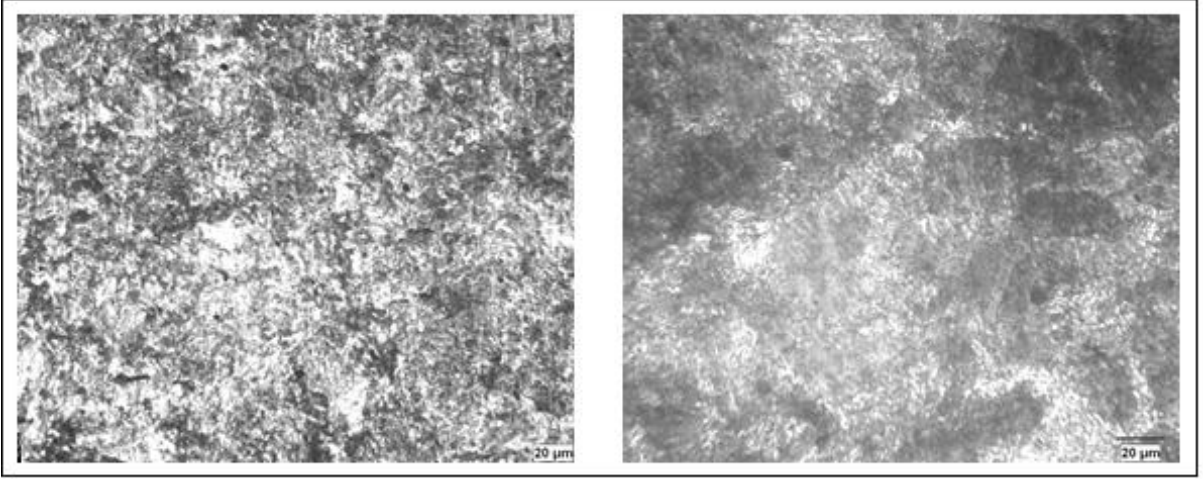
Şekil 7.1 R260 ray çeliği mikroyapısı (x100 ve x400).



Şekil 7.2 500°C'de (T500) ısıl işlem görmüş ray çeliğinin mikroyapısı (x100 ve x400).



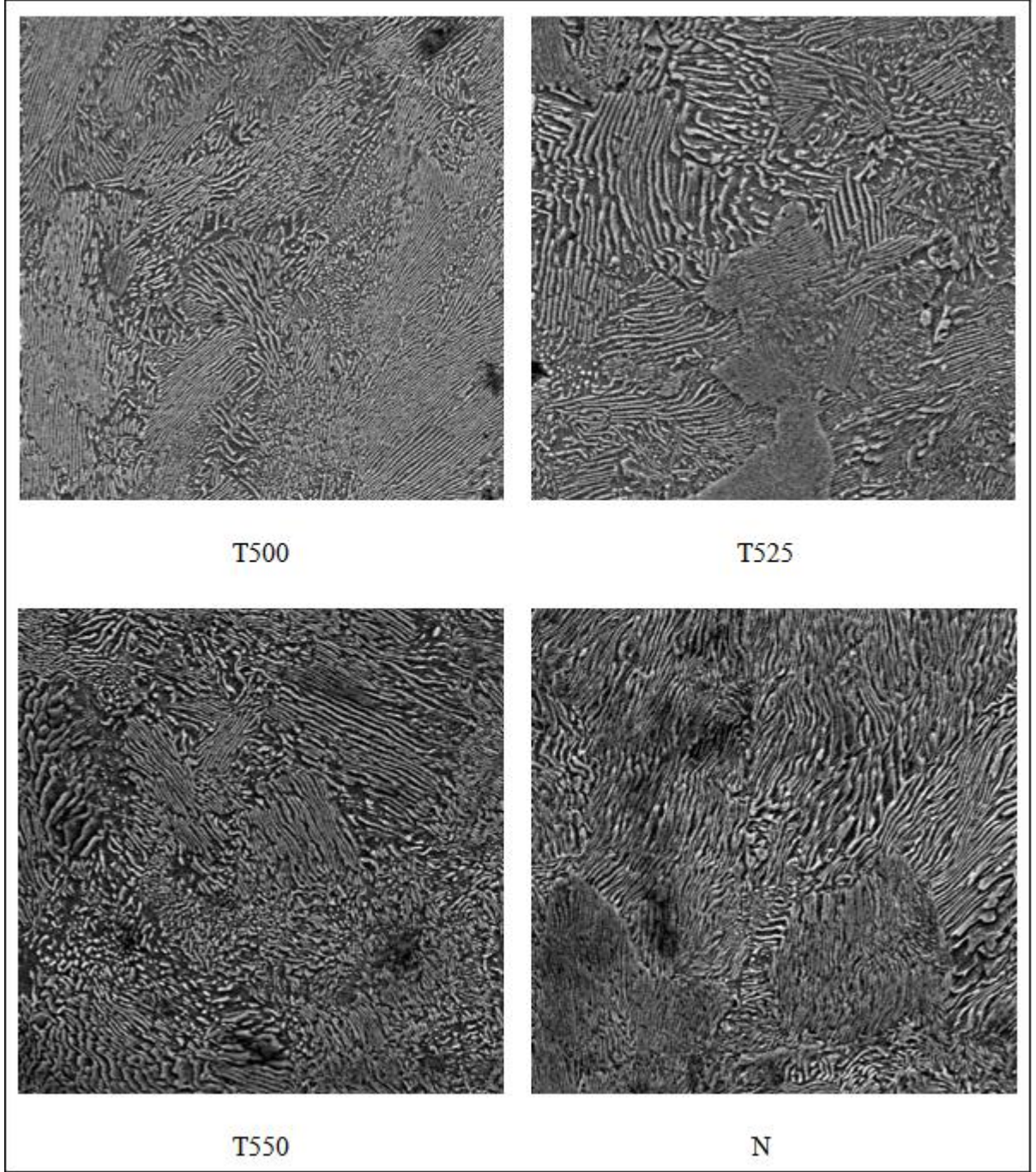
Şekil 7.3 525°C’de (T525) ısıt işlem görmüş ray çeliğinin mikroyapısı (x100 ve x400).



Şekil 7.4 550°C’de (T550) ısıt işlem görmüş ray çeliğinin mikroyapısı (x100 ve x400).

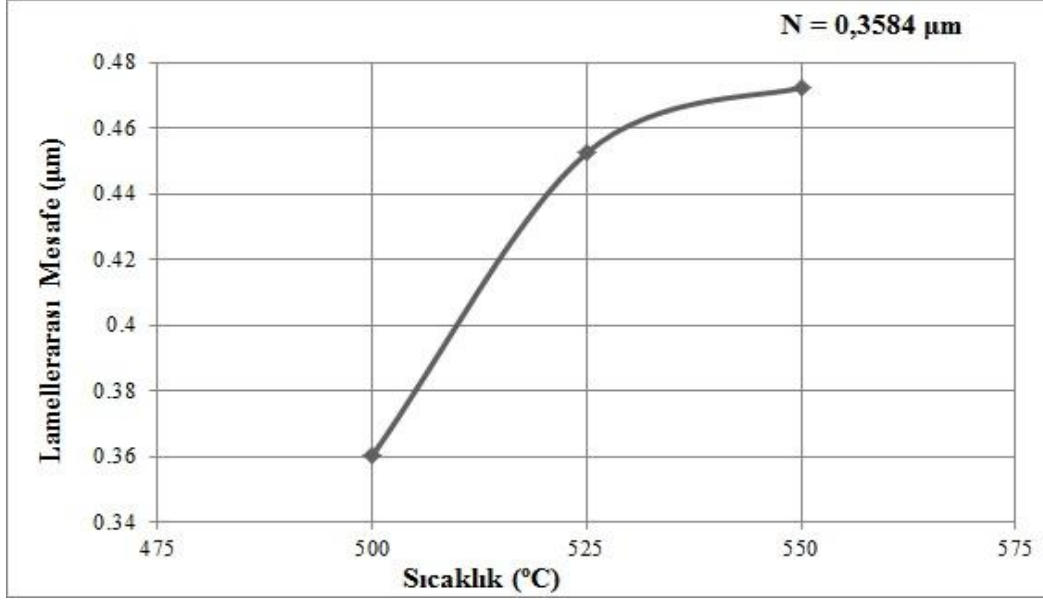
Dönüşüm sıcaklığı arttıkça numunelerin daha kaba lamelli perlitik yapıya sahip olduğu mikroyapı fotoğraflarından görülmektedir.

Şekil 7.5’te verilen N ve İN numunelerinin SEM görüntülerindeki perlitik mikroyapılarda, dönüşüm sıcaklığı azaldıkça lamellerarası mesafenin azaldığı ve daha ince perlitik yapı elde edildiği görülmektedir.



Şekil 7.5 Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin SEM görüntüleri (x2000).

Lamellerarası mesafenin ölçümü sonucunda, N'nin ortalama lamellerarası mesafesi 0,3584 μm , T500'ün 0,3601 μm , T525'in 0,4524 μm , T550'nin 0,4724 μm olarak bulunmuştur (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 Lamellerarası mesafenin sıcaklıkla değişimi.

Numunelerin alındığı rayın hadde çıkışı yaklaşık olarak 900°C'dir. Izgara üzerinde soğutulan raydan alınan numuneye yeniden ostenitleme işlemi uygulandığı ve yavaş soğutma yapıldığı için lamellerarası mesafe artmıştır. Bu sebeple N'nin lamellerarası mesafesi T500, T525 ve T550'den daha azdır. Yeniden ostenitlenen numunelerde dönüşüm sıcaklığı arttıkça lamellerarası mesafenin arttığı ve bu sonuçların literatürle uyum sağladığı görülmüştür (Gomes et al. 1997, Nam et al. 2000, Modi 2003, Elwazri et al. 2005, Herian and Aniolek 2008, Xu et al. 2008, Zhang and Enomoto 2009).

7.2 SERTLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

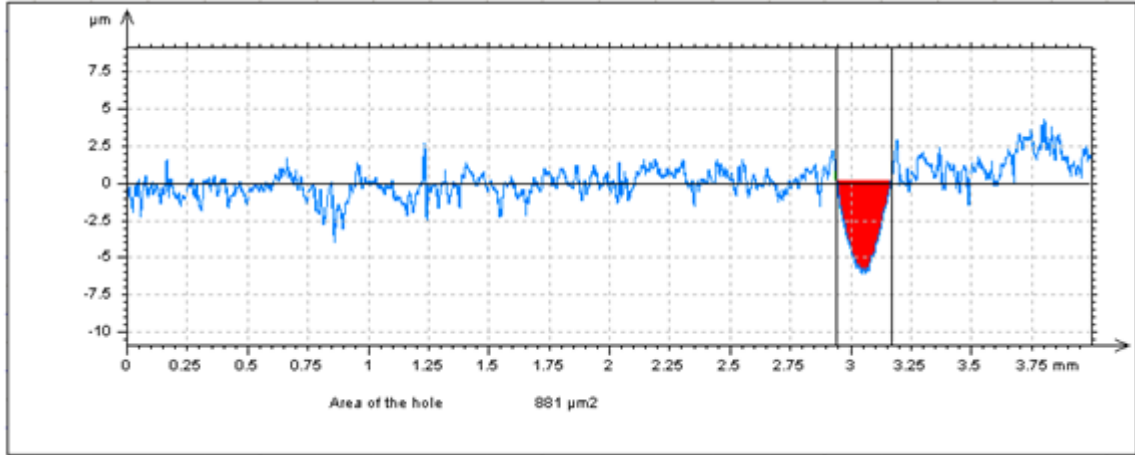
N'nin sertliği 288 HV₅ olarak bulunmuştur. T500'ün sertliği 254 HV₅; T525 için 250 HV₅; T550 için 240 HV₅ olarak ölçülmüştür. N'in sertliği yeniden ostenitlenen numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Ostenitleme işlemi ve yavaş soğutma nedeni ile ray numunelerinde yumuşama olmuş, sertlik düşmüştür. Ancak dönüşüm sıcaklığı azaldıkça sertlik artmıştır. Lamellerarası mesafe ölçümü ile sertlik sonuçları karşılaştırıldığında lamellerarası mesafenin azalması ile yüzeyde sertliğin arttığı sonucuna ulaşılmaktadır. Literatürde de bu sonucu destekleyen çalışmalar bulunmaktadır (Modi et al. 2003, Myung et al. 2005, Kalaycıoğlu 2006, Herian and Aniolek 2008, Hernandez et al. 2011, Olivares et al. 2011).

7.3 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ SONUÇLARI

Üç farklı taşlama ile değişik yüzey pürüzlülüğü aralıkları elde edilmesi amaçlanan numunelerin yüzey pürüzlülüğü; en düşük sertliğe sahip olan taşlamada (M-80 grit) 0,499-0,992 μm , orta sertliğe sahip olan taşlamada (P-36 grit) 2,550-3,000 μm ve en yüksek sertliğe sahip olan taşlamada (Q-24 grit) 3,400-3,950 μm olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, en kaba taş olan Q taşlama taşının en yüksek pürüzlülüğü verdiğini göstermektedir.

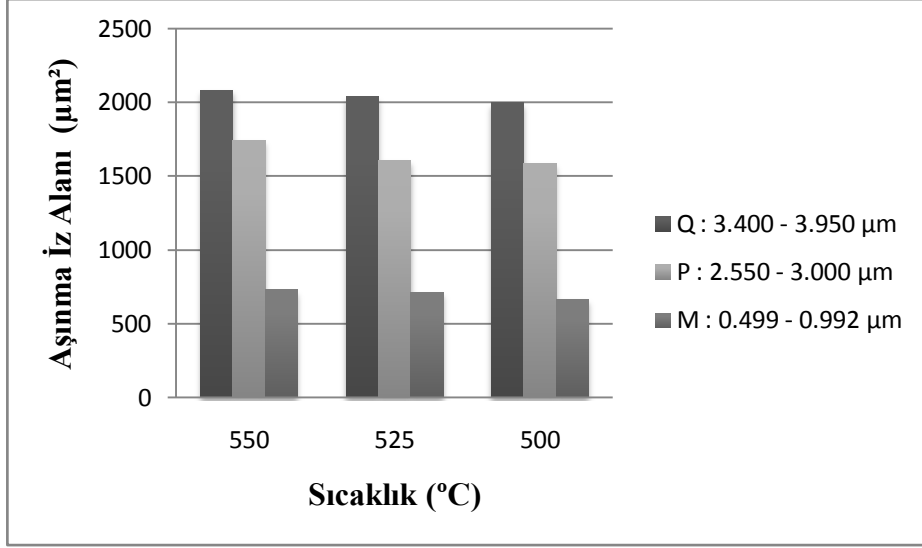
7.4 AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

Aşınma deneyleri sonrası oluşan izler ölçülerek aşınma oranları tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış numunenin M sertlikteki taşla taşlandıktan sonra 100 m kayma mesafesinde yapılan aşınma deneyi sonrası ölçülen iz alanlarından bir tanesi Şekil 7.7'de verilmiştir.

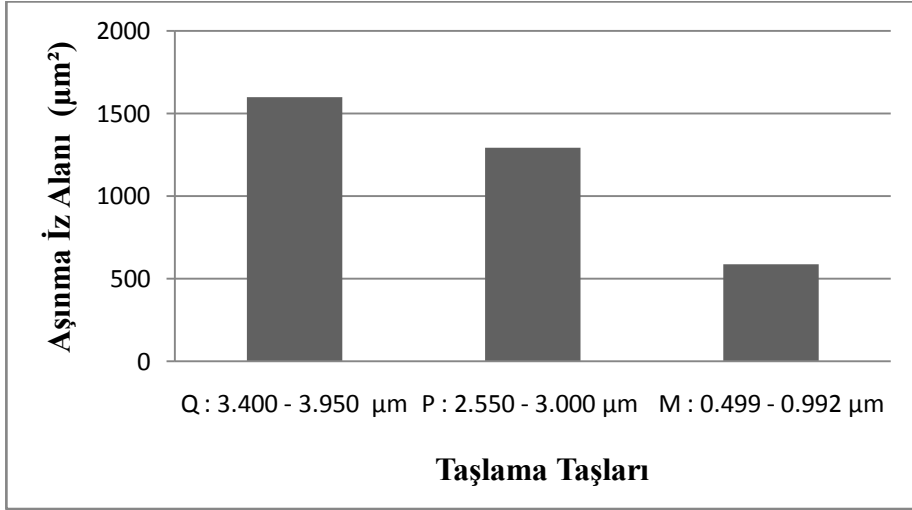


Şekil 7.7 Isıl işlem görmemiş M sertlikteki taşla taşlanan numunenin 100 m kayma mesafesindeki aşınma iz alanı ölçümlerinden biri.

Tüm numunelerin 10 N yükte, 100 m kayma mesafesi için 3 farklı yüzey pürüzlülüğünde yapılan aşınma deneyleri sonucu oluşan iz alanına ait grafik Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da verilmiştir. Çizelge 7.1'de yüzey pürüzlülüğünün ve kayma mesafesinin aşınmaya etkisi aşınma iz alanları ve aşınma oranları ile verilmiştir.



Şekil 7.8 Taşlamanın aşınma iz alanına etkisi (Kayma mesafesi 100 m).



Şekil 7.9 Farklı taşlarla taşlanan ısı işlem görmemiş numunenin (N) aşınma iz alanları (Kayma mesafesi 100 m).

Çizelge 7.1 Yüzey pürüzlülüğü ve kayma mesafesinin aşınmaya etkisi.

a. Yüzey pürüzlülüğü ve kayma mesafesinin aşınma iz alanına etkisi.

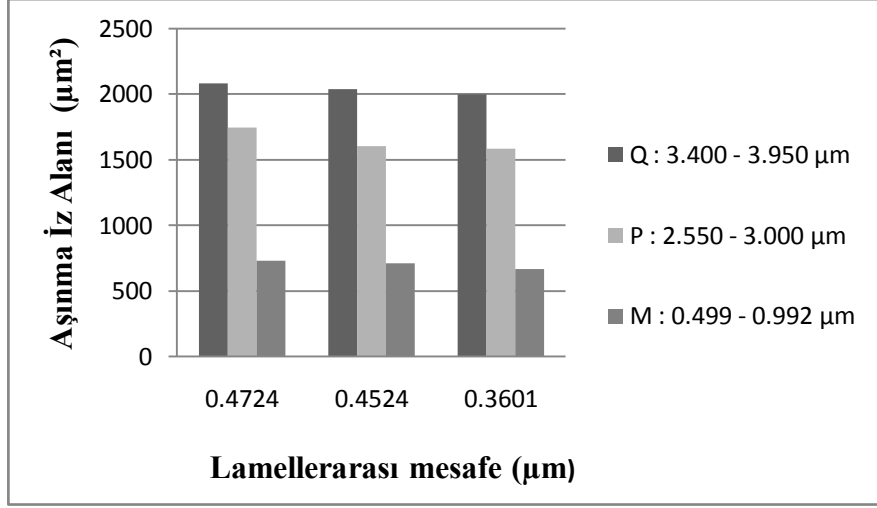
Isıl İşlem	Aşınma iz alanı (μm^2)								
	M			P			Q		
	100m	200m	400m	100m	200m	400m	100m	200m	400m
N	587	649,4	1065,2	1290,6	1508,6	1701,2	1599	1841	2123,6
T550	729,6	1349,8	2391	1742,6	1833,6	2470,2	2081,6	2298	2504,6
T525	713	1271,4	2384,6	1605,4	1764,8	2395	2037,6	2125,4	2495,6
T500	667	759,4	1172,2	1585,2	1601,8	1719,2	1998,8	2029,6	2222,8

b. Yüzey pürüzlülüğü ve kayma mesafesinin aşınma oranına etkisi.

Isıl İşlem	Aşınma oranı ($\text{mm}^3/\text{N/m}$)								
	M			P			Q		
	100m	200m	400m	100m	200m	400m	100m	200m	400m
N	1,4750	0,8159	0,6692	3,2431	1,8954	1,0688	4,0181	2,3131	1,3342
T550	1,8334	1,6959	1,5022	4,3789	2,3038	1,5520	5,2308	2,8873	1,5736
T525	1,7917	1,5974	1,4982	4,0341	2,2173	1,5047	5,1202	2,6704	1,5679
T500	1,6761	0,9541	0,7364	3,9834	2,0125	1,0801	5,0227	2,5500	1,3965

Şekil 7.7’de görüldüğü gibi numunelere uygulanan dönüşüm sıcaklığı ve taşlamada kullanılan taşın sertliği arttıkça aşınma iz alanını artmaktadır. Şekil 7.8’de N numunesine yapılan taşlama işlemi sonucu taş sertliği arttıkça aşınma iz alanının arttığı görülmektedir.

Çizelge 7.1’e göre numunelerinin kayma mesafesi, yüzey pürüzlülüğü ve dönüşüm sıcaklığı arttıkça aşınma iz alanları artmıştır. N numunesi ile diğer numuneler karşılaştırıldığında sertliği yüksek olan numunenin en az aşınma gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuçlar literatürle uyum sağlamaktadır (Zapata et al. 2010, Herian and Aniolek 2010).



Şekil 7.10 Lamellerarası mesafenin ve yüzey pürüzlülüğünün aşınma iz alanına etkisi (Kayma mesafesi 100m).

Şekil 7.10 incelendiğinde lamellerarası mesafe ve yüzey pürüzlülüğü arttıkça aşınmanın arttığı görülmektedir. Bu sonuçlar lamellerarası mesafenin azalması ve sertliğin artması ile aşınma dayanımının arttığını doğrulamaktadır (Baumann et al. 1997, Schastlivtsev et al. 2001, Yokoyama et al. 2002, Ueda et al. 2002, Modi et al. 2003, Sahay et al. 2009, Zapata et al. 2010, Herian and Aniolek 2008 ve 2010, Hernandez et al. 2011, Wu and Bhadeshia 2012).

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı ısıl işlem uygulanmış ve lamellerarası mesafesi farklı olan R260 perlitik ray çeliği numunelerinin yüzey pürüzlülüğüne göre kuru ortamda aşınmaya etkisi irdelenmiştir.

Genel Sonuçlar:

- Dönüşüm sıcaklığı arttıkça numunelerde daha kaba yapıda perlit oluştuğu görülmüştür.
- Dönüşüm sıcaklığı azaldıkça lamellerarası mesafe azalmaktadır.
- Lamellerarası mesafenin azalması ile yüzeyde sertlik ve aşınma dayanımı artmaktadır.
- Numune yüzeyinde yüzey pürüzlülüğü arttıkça aşınma artmaktadır.
- Yol arttıkça aşınma artmaktadır.
- Yeniden ostenitleme ve yavaş soğutma nedeni ile rayın sertliğinde azalma meydana gelmiştir.

Öneriler:

- Deneylerin sıcak haddeden çıkmış ray üzerinden alınan numunelere çeşitli soğutma işlemleri uygulanarak yapılması daha uygun sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.
- Sıcak haddelenmiş numunelerin su ve hava akımı gibi farklı soğutma koşullarındaki aşınma davranışını incelemek rayların aşınması ile ilgili daha çok bilgi edinilmesinde yararlı olacaktır.
- Mekanik testlerle karşılaştırma yapmak çalışmaya derinlik katacaktır.
- Yaş ortamda rayların aşınma dayanımının irdelenmesi araştırmacılara ışık tutacaktır.

- Ruby ball aşındırıcılarda çatlak, kırık ve oksidasyon oluşması ihtimaline karşı aşındırıcının incelenmesi çalışmalara ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- Aglan H A, Liu Z Y, Hassan M F and Fateh M** (2004) Mechanical and fracture behavior of bainitic rail steel, *J. of Mat. Pro. Tech.*, 15: 268–274.
- Alias J** (1986) Merkmale der wellenformigen abnützung der schienen, *Sch. Der Welt Nov.*, 13-19.
- Alwahdia F A M, Kapoor A and Franklin F J** (2009) Preliminary investigation of the effect of roughness in Dynarat Simulation, *Wear*, 267: 1381–1385.
- Apay S** (2007) *Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara, 138.
- Askeland D R** (1998) Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri Cilt 1, *Nobel Yayınları*, Ankara, 364.
- ASM International** (2005) High-carbon steels: fully pearlitic microstructures and Applications, steels: processing, *Str.and Perf.*, 281-295.
- ASTM International G132–96** (2007) Standard test method for pin abrasion testing, 8.
- Atakök G** (2012) Kesme Kuvvetleri, Sıcaklık, Titreşim, Ses ve Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi, Optik-Koordinat Ölçme. Tersine Mühendislik, Makine Eğitim Bölümü Ders Notları (yayımlanmamış), Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 15.
- Ay İ** (2012) Aşınma Hasarları, Hasar Analizi Ders Notları (yayımlanmamış), Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 43.
- Balcı B** (2008) *AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik Malzemenin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi*. Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 87.
- Baumann G, Knothe K and Fecht H J** (1997) Surface modification, corrugation and nanostructure formation of high speed railway tracks, *Nano Str. Mat.*, 9: 751-754.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Başkonuş M ve Tekin E** (2012) Yüksek Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri, *Uluslararası Demir ve Çelik Sempozyumu*, Karabük, 234-240.
- Berggren E G, Li M X D and Spannar J** (2008) A new approach to the analysis and presentation of vertical track geometry quality and rail roughness, *Wear*, 265: 1488–1496.
- Bhadeshia H K D H** (1999) Some phase transformations in steels, *Mat. Sci. and Tech.*, 15: 22-29.
- BS 1134-1:2009** (2009) Assessment of surface texture. Part 1. Methods of surface texture. *BSI Stand. Pub.*, 42.
- BS 2634-1:2010** (2010) Roughness comparison specimens. Specification for turned, ground, bored, milled, shaped and planed specimens. *BSI Stand. Pub.*, 12.
- BS EN 13231-3:2012** (2012) Railway applications – Track – Acceptance of works. Part 3: Acceptance of reprofiling rails in track. *BSI Stand. Pub.*, 44.
- BS EN 13674-1:2011** (2011) Railway applications – Track – Rail. Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above. *BSI Stand. Pub.*, 112.
- BS EN ISO 25178-6:2010** (2010) Geometrical product specifications (GPS) - surface texture: Areal, Part:6 Classification of methods for measuring surface texture. *BSI Stand. Pub.*, 20.
- BS EN ISO 4287:2009** (2009) Geometrical product specification (GPS) surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters. *BSI Stand. Pub.*, 36.
- BS ISO 4378-2:2009** (2009) Plain bearings-Terms, definitions, classification and symbols, Part 2: Friction and wear, Second Edition. *BSI Stand. Pub.*, 32.
- Buono T L, Gonzalez B M, Lima T M and Andrade M S** (1997) Measurement of fine pearlite interlamellar spacing by atomic force microscopy, *J. of Mat. Sci.*, 32: 1005-1008.
- Büyükkelceci Ü** (2008) *Yeni Bir Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 62.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Byeon J W and Kwun S I** (2004) Evaluation of microstructures of variously heat treated carbon steel by magnetic coercivity measurement, *Phys. Stat. Sol. (b)* 241, 7: 1697–1700.
- Caballero F G, Andrés C G D and Capdevila C** (2000) Characterization and morphological analysis of pearlite in a eutectoid steel, *Mat. Cha.*, 45: 111- 116.
- Candemir I** (2005) Hızlı Raylı Sistemlerde Taşlama Çalışmasının Önemi, Değerlendirilmesi ve Türkiye'deki Örnekleri, *6.Ulaştırma Kongresi*, 426-439.
- Candemir I** (2010) Raylı sistemlerde gürültü ve vibrasyon sorunları, çözüm seçenekleri ve fayda analizleri, *TMH*, 3-4: 28-38.
- Chang L C** (2005) The rolling/sliding wear performance of high silicon carbide-free bainitic steels, *Wear*, 258: 730–743.
- Chen H and Ishida M** (2006) Influence of rail surface roughness formed by rail grinding on rolling contact fatigue, *QR of RTRI*, 47: 216-221.
- Cordier J F and Fodiman P** (2000) Experimental characterization of wheel and rail surface roughness, *J. of S. and V.*, 3: 667-672.
- Cvetkovski K, Ahlström J and Karlsson B** (2010) Thermal softening of fine pearlitic steel and its effect on the fatigue behaviour, *Proc. Eng.*, 2: 541-545.
- Çakmak İ ve Yalçın Y** (2005) Ray çeliğinin kuru yuvarlanma-kayma aşınma davranışının incelenmesi, *Mak. Tek. Elekt. Der.*, 1: 17-23.
- Çelikyürek İ** (2006) *Demir Alüminatların Borlanması ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 195.
- Erel A** (2009) Raylı sistemlerde dalgalı aşınma, *Kent ve Demiryolu Der.*, 3-12.
- Erişir E** (2013) Çeliklerde Malzeme Bilimi ve Son Gelişmeler, Çelik Üretimi, Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ders Notları (yayımlanmamış), Kocaeli.
- Elwazri A M, Wanjara P and Yue S** (2005) The effect of microstructural characteristics of pearlite on the mechanical properties of hypereutectoid steel, *Mat. Sci. and Eng.*, 404: 91–98.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Franklin F J, Garnham J E, Fletcher D I, Davis C L and Kapoor A** (2008) Modelling rail steel microstructure and its effect on crack initiation, *Wear*, 265: 1332–1341.
- Gomes M G M F, Almeida L H, Gomes L C F C and May I L** (1997) Effects of microstructural parameters on the mechanical properties of eutectoid rail steels, *Mat. Cha.*, 39: 1-14.
- Güllü A** (1995) *Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi, Ankara, 220.
- Güllü A** (2003) Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri ve Mukayesesi, *Teknoloji*, 1-2: 79-92.
- Herian J and Aniolek K** (2008) The structure and properties of steel with different pearlite morphology and its resistance to abrasive wear, *Arch. of Mat. Sci. and Eng.*, 31 (2): 83-86.
- Herian J and Aniolek K** (2010) Abrasive wear of railway sections of steel with a different pearlite morphology in railroad switches, *J. of Ach. in Mat. and Man. Eng.*, 43 (1) : 236-243.
- Herian J and Aniolek K** (2011) The structure, properties and a resistance to abrasive wear of railway sections of steel with a different pearlite morphology, *Mat. Sci. and Eng.*, 22: 1-9.
- Hernandez F C R, Nicholas G D, Davis D D, Polycarpou A and Maal L** (2007) Mechanical properties and wear performance of premium rail steels, *Wear*, 263: 766–772.
- Hernandez F C R, Nicholas G D, Polycarpou A and Gonzales K** (2011) Correlation between laboratory ball-on-disk and full-scale rail performance tests, *Wear*, 270: 479-491.
- Hunt H E M** (2008) Types of rail roughness and the selection of vibration isolation measures, *Noise and Vibration Mitigation, NNFM*, 99: 341-347.
- Jin N and Clayton P** (1997) Effect of microstructure on rolling/sliding wear of low carbon bainitic steels, *Wear*, 202: 202–207.
- Kalaycioğlu O** (2006) *Kardemir’de Ray Üretiminde İyileştirmeler*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 182.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kapoor A, Franklin F J, Wong S K and Ishida M** (2002) Surface roughness and plastic flow in rail wheel contact, *Wear*, 253: 257–264.
- Kapoor A** (1997) Wear by plastic ratcheting, *Wear*, 212: 119-130.
- Kapoor A, Franklin F J, Wong S K and Ishida M** (2002) Surface roughness and plastic flow in rail wheel contact, *Wear*, 253: 257–264.
- Karabaşoğlu M** (2008) *Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 88.
- Karaoğlu Y** (2006) *Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 94.
- Kayabaşı M** (2011) *SAE 8620 Sementasyon Çeliklerinde Sertlik Derinliğinin Abrasif Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 145.
- Kenderian S, Berndt T P, Green R E and Djordjevic B B** (2003) Ultrasonic monitoring of dislocations during fatigue of pearlitic rail steel, *Mat. Sci. and Eng.*, 348: 90-99.
- Kirik A** (2010) *Tornalamada Kesme Parametrelerindeki Değişime Göre Yüzey Pürüzlülüğünün Tahmini İçin Model Geliştirme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara, 134.
- Korkut M H** (1997) *Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapısı ve Aşınması Üzerine Karbür Yapıcı Elementlerin Etkilerinin Araştırılması*. Doktora Tezi, Fırat Üniveristesesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitim Anabilim Dalı, Elazığ, 145.
- Lee M K and Polycarpou A A** (2005) Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels, *Wear*, 259: 391–399.
- Lee K M and Polycarpou A** (2011) Microscale Experimental and Modeling Wear Studies of Rail Steels, *Wear*, 271: 1174-1180.
- Liu Q Y, Zhang B and Zhou Z R** (2003) An experimental study of rail corrugation, *Wear*, 255: 1121–1126.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Lojkowski, W, Djahanbakhsh M, Bürkle G, Geirlotka S, Zielinski W and Fecht H J** (2001) Nanostructure formation on the surface of railway tracks, *Mat. Sci and Eng.*, A303: 197-208.
- Lundmark J, Prakash B and Höglund E** (2006) Running-in behaviour of rail and wheel contacting, *AITC-AIT 2006 Int. Conf. on Tri.*, 20-22 September, Parma, Italy, 12.
- Lundmark J and Prakash B** (2007) Influence of Surface Topography and Water Lubrication on Tribological Behaviour of Wheel/Rail Materials, Lulea University of Technology, Division of Machine Elements, 17.
- Modi O P, Mondal D P, Prasad B K, Singh M and Khaira H K** (2003) Abrasive wear behaviour of a high carbon steel: effects of microstructure and experimental parameters and correlation with mechanical properties, *Mat. Sci. and Eng.*, A343: 235-242.
- Nam W J, Bae C M, Oh S J and Kwon S J** (2000) Effect of interlamellar spacing on cementite dissolution during wire drawing of pearlitic steel wires, *Scripta Mater*, 42: 457-463.
- Neşeli S** (2006) *Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 148.
- Olofsson U and Telliskivi T** (2003) Wear, plastic deformation and friction of two rail steels- A full-scale test and a laboratory study, *Wear*, 254: 80-93.
- Önder A** (1995) *Silindirik Parçaların Yüzey Tornalamasında Elde Edilen Yüzey Pürüzlülüğünün Aşınmaya Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 85.
- Özsaraç U** (2005) *Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı ve Sabo Parçaların Aşınma ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 237.
- Ringsberg J W and Lindbäck T** (2003) Rolling contact fatigue analysis of rails including numerical simulations of the rail manufacturing process and repeated wheel-rail contact loads, *Int. Jour. of Fat.*, 25: 547-558.
- Rovira A, Roda A, Marshall M B, Brunskill H and Lewis R** (2011) Experimental and numerical modelling of wheel-rail contact and wear, *Wear*, 271: 911- 924.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sahay S S, Mohapatra G and Totten G E** (2009) Overview of pearlitic rail steel: accelerated cooling, quenching, microstructure, and mechanical properties, *J. of ASTM Int.*, 6: 1- 26.
- Sarı H** (2008) *Frezelemede Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 97.
- Schastlivtsev V M, Tabatchikova T I, Makarov A V, Egorova L Y and Yakovleva I L** (2001) Wear resistance of carbon steel with a structure of thin-plate pearlite, *Metal Sci. and Heat Tre.*, 43: 30-33.
- Sevim İ** (1997) *Çeliklerin Abrasiv Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün aşınma Direncine Etkisi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 196.
- Singh U P, Roy B, Jha S and Bhattacharyya S K** (2001) Microstructure and mechanical properties of as rolled high strength bainitic rail steels, *Mat. Sci. and Tech.*, 17: 33-38.
- Sladojeviæ B, Jeliaë M and Puziaë M** (2010) New requirements for the quality of steel rails, association of metallurgical engineers of serbia (AMES), *Metalurgija-MJoM*, 17: 213-219.
- Soydaş S** (2006) *Üniversal Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 83.
- Spannar J** (2008) A new approach of assessing rail roughness, Banverket, Operations Division, Infrastructure, Track and Civil Engineering, Sweden, 5.
- Srimani S L, Pankaj A C and Basu J** (2005) Analysis of end straightness of rail during manufacturing, *Int. J. of Mech. Sci.*, 47: 1874–1884.
- Suda Y, Komine H, Iwasa T and Terumichi Y** (2002) Experimental study on mechanism of rail corrugation using corrugation simulator, *Wear*, 253: 162-171.
- TCDD** (2009) Ankara-Eskişehir Yüksek Hızlı Tren Hattı Bakım Konsepti, Bölüm II Bakım Çalışmaları, Taslak 3, 87.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Tekaüt İ** (2008) *Takım Tezgahlarındaki Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara, 103.
- Ueda M, Uchino K and Kobayashi A** (2002) Effects of carbon content on wear property in pearlitic steels, *Wear*, 253: 107-113.
- Uğur İ** (2012) Maden Makinaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ders Notları (yayımlanmamış), İstanbul.
- URL-1** (2013) www.pwimalaysia.com.my/linsinger.pdf, Catalogue of Most Important Rail Failures In Tracks and Switches, 03 Ocak 2013.
- URL-2** (2013) <http://www.geismarturkiye.com/index.php?sayfa=Ray-Taslama-Makinalari>, Geismar Demiryolu Makinaları, 13 Eylül 2013.
- Urun R** (2008) *Sürtünme ve Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 85.
- Xu J, Liu Y and Zhou S** (2008) Calculation Models of Interlamellar Spacing of Pearlite in High-speed 82B Rod, *J. of Iron and Steel Res.*, 4: 57-60.
- Wu K M and Bhadeshia H K D H** (2012) Extremely fine pearlite by continuous cooling transformation, *Scr. Mat.*, 67: 53-56.
- Varol N** (1994) *Plastik Malzemelerde Aşınma*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 135.
- Yılmaz E** (2010) *Etial 180 Alüminyum Alaşımların İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, 116.
- Yokoyama H, Mitao S, Yamamoto S, Kataoka Y and Sugiyama T** (2001) High strength bainitic steel rails for heavy haul railways with superior damage resistance, *NKK Tech. Rev.*, 84: 44-51.
- Yokoyama H, Mitao S and Takemasa M** (2002) Development of high strength pearlitic steel rail with excellent wear and damage resistance, *Wear*, 253: 60-66.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Zapata D, Jaramillo J and Toro A (2011) Rolling contact and adhesive wear of bainitic and pearlitic steels in low load regime, *Wear*, 271: 393–399.

Zhang M R and Gu H C (2007) Microstructure and properties of carbide free bainite railway wheels produced by programmed quenching, *Mat. Sci. and Tech.*, 23: 970-974.

Zhang G and Enomoto M (2009) Interlamellar spacing of pearlite in a near-eutectoid Fe–C alloy measured by serial sectioning, *ISIJ Int.*, 49: 921–927.

BİBLİYOGRAFYA

Barash M (1966) Shop built instrument checks surface finishes, *Mach.*, 72: 177.

Bayrak M (2002) *Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1-35.

Bhushan B (1999) Principles and applications of tribology, *J. Wiley and Sons Inc*, New York, USA, 1006.

Clayton P and Danks D (1990) Effect of interlamellar spacing on the wear resistance of eutectoid steels under rolling/sliding conditions, *Wear*, 135: 369–387.

Cooper J (1993) Rail Flaw Detection: A Particular Challenge, *The 5th IHHA Conference*, Beijing, China.

Dagnall H (1980) Exploring surface texture, *R. T. Hobson Pub.*, Avusturalya, 178.

Domke W (1993) *Werkstoffkunde und werkstoffprüfung*, Verlag W. Girardet, Essen, Germany.

Eryürek B İ (1993) *Hasar Analizi, Birsen Kitabevi*, İstanbul, 171.

Fata R G, Jones J A, Perlman A B and Orringer O (2003) A numerical model for estimation of temperature-time history and residual stress in head-hardened rails, Mechanical Engineering Department, Tufts University, Medford, MA, 8.

Fenske G B, Aldajah S, Ajayi O, Allen J and Hiller C (2003) Laser glazing of railroad rails to reduce friction, *J. of Tri.*, 125: 643-648.

Galyer J F W and Shotbolt C R (1993) Metrology for engineers, *Cassel Publishers Ltd.*, London, 9: 191-194.

Green E (1967) Review of Surface Texture Measurement and the Associated Meteorological Problems, *Pro. of The Ins. Mech. Eng.*, 182: 330-343.

BİBLİYOGRAFYA (devam ediyor)

- Kaess G** (1983) Ergebnisse Von Riffelversuchstrecken Der Deutschen Bundesbahn, *Eise. Rund.*, 10: 701-707.
- Kumbasar F** (1972) Üst yapı ve demiryolu mekaniği, *Güven Yayınevi*, Ankara, 273.
- Neşeli S** (2005) *Tornalamada Kesme Parametreleri, Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*. Yüksek Lisans Semineri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Oğuz B** (1993) Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul, 20.
- Pan A V and Shumilin E N** (1994) Production of wear –resistans rail at the NTMK, *Rail Steel Sy. Pro.*, 19-22.
- Reason R E** (1960) The Measurement of Surface Texture, In Modern Workshop Technology, Cleaver-Hume Press Ltd.
- Reason R E** (1960) The Measurement of Surface Texture, In Modern Workshop Technology, Cleaver-Hume Press Ltd.
- Scarr A J T** (1991) Metrology and precision engineering, *Mc. Graw-Hill Pub. Comp. Ltd.*, New York, 213.
- Snaith B, Edmands M J and Probert S D** (1981) Use of profilometer for surface mapping, *Prec.Eng.*, 3: 87-90.
- Soydan Y ve Ulukan L** (2003) Triboloji: sürtünme, aşınma, yağlama bilimi ve teknolojisi, *Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi No: 1*, Sakarya.
- Yim D Y and Kim S W** (1991) Optimum sampling for Ra roughness measurement, *J. of Mech. Eng. Sci.*, 205: 139-142.

ÖZGEÇMİŞ

Yelda IŞIK 1986'da Zonguldak'ta doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Mehmet Çelikel Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2005 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2009 yılında mezun oldu. 2011-2013 yılları arasında A.H.M. Yapı Denetim Ltd. Şti.'nde Kontrol Mühendisi olarak görev yaptı, şu an DMO Genel Müdürlüğü'nde Makina Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2010 yılında girdiği Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Devlet Malzeme Ofisi
İnönü Bulvarı No:18 06041 Yücetepe/ANKARA

Tel : (312) 410 30 00

E-posta : yelda.yildiz@dmo.gov.tr