



**TREN TEKERİ AŞINMA DAVRANIŞINA ISIL  
İŞLEM VE ORTAM KOŞULLARININ ETKİSİ**

**KADER ÖZBEY**

**2022  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ İSMAİL HAKKI KARA**

**TREN TEKERİ AŞINMA DAVRANIŞINA ISIL İŞLEM VE ORTAM  
KOŞULLARININ ETKİSİ**

**Kader ÖZBEY**

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

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğretim Üyesi İsmail Hakkı KARA**

**KARABÜK  
Eylül 2022**

Kader ÖZBEY tarafından hazırlanan “TREN TEKERİ AŞINMA DAVRANIŞINA ISIL İŞLEM VE ORTAM KOŞULLARININ ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi İsmail Hakkı KARA .....  
Tez Danışmanı, Metalürji ve Malzeme Müh. ABD

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/09/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakkı KARA (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fikret KABAKÇI (BEUN) .....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü .....

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

Kader ÖZBEY

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **TREN TEKERİ AŞINMA DAVRANIŞINA ISIL İŞLEM VE ORTAM KOŞULLARININ ETKİSİ**

**Kader ÖZBEY**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğrtm. Üyesi İsmail Hakkı KARA**

**Eylül 2022, 36 sayfa**

Bu çalışmada, Türkiye’de üretilen tren tekerlerinin aşınma davranışı üzerindeki veri boşluklarını gidermek amacıyla, demiryolu tekerlerinde kullanılan ER 7 kalite malzemelere farklı ısıl işlem ve yük şartları uygulanarak aşınma davranışı incelenmiştir. Tekerden kesilen numuneler 3 gruba ayrılmıştır. İlk gruba ısıl işlem uygulanmamış, ikinci grup 1 saat 900 °C fırında ısıtılarak 60 sn sertleştirme yapılmış, üçüncü grup ise yine 900 °C ‘de 1 saat ısıtılarak 120 sn sertleştirme işlemi yapılmıştır. Ring üzerine blok yöntemiyle numunelere 20 N ve 40 N yük uygulanarak aşınma testine tabi tutulmuş ve aşınma miktarı ağırlık kaybı ölçülerek belirlenmiştir. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve SEM cihazı ile alınmıştır. 750 kgf yük altında 5mm çelik bilya kullanılarak Brinell sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

İncelenen tren tekeri numunelerine uygulanan 60 sn ve 120 sn sertleştirme işlemi ile sertlik yaklaşık olarak 250 HB den 550 HB ye kadar yükselmiştir. Orijinal tekerleğin mikroyapısı tane sınırı ferriti içeren ince perlitik yapıya sahip iken su verme ile beynitik ve martenzitik yapıya doğru dönüşüm meydana gelmiştir. Numunelerin aşınma deneyi sonrası sertleştirme süresinin artmasıyla yaklaşık %96 oranında aşınma kaybı azalma gözlemlenmiştir. Aşınma deneyleri sonrası alınmış yüzeylerin sem incelemesi aşınma kaybının azalmasıyla aşınma mekanizmasının yiv ve aşırı plastik deformasyon oluşumundan düz yüzeyli aşınmaya doğru dönüşüm sergilenmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Demiryolu tekeri, ER 7, ısıl işlem, sertleştirme, aşınma

**Bilim Kodu** : 91519

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF HEAT TREATMENT AND SERVICE CONDITIONS ON THE WEAR BEHAVIOR OF THE RAILWAY WHEEL STEEL**

**Kader ÖZBEY**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgical and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Dr. İsmail Hakkı KARA**

**September 2022, 36 pages**

In this study, in order to eliminate the data gaps on the wear behavior of the train wheels produced in Turkey, the wear behavior of the ER 7 quality materials used in the railway wheels was investigated by applying different heat treatment and load conditions. The samples cut from the wheel were divided into 3 groups. Heat treatment was not applied to the first group, the second group was heated in the furnace at 900 °C for 60 seconds, and the third group was heated at 900 °C for 1 hour and hardened for 120 seconds. The samples were subjected to abrasion test by applying 20 N and 40 N loads on the ring with the block method, and the amount of wear was determined by measuring the weight loss. Microstructure examinations of the samples were taken with an optical microscope and SEM device. Brinell hardness measurements were carried out using 5mm steel balls under a load of 750 kgf.

The hardness increased from approximately 250 HB to 550 HB with the 60 sec and 120 sec hardening process applied to the examined train wheel samples. While the microstructure of the original wheel had a fine pearlitic structure containing grain boundary ferrite, it was transformed into bainitic and martensitic structure by quenching. With the increase of the hardening time of the samples after the wear test, approximately 96% decrease in wear loss was observed. After the wear tests, the sem examination of the surfaces taken, decreased the wear loss, and the transformation of the wear mechanism from groove and excessive plastic deformation to flat surface wear was exhibited.

**Key Word** : Railway wheel, ER 7, heat treatment, hardening, wear

**Science Code** : 91519



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya ve İsmail Hakkı KARA 'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans yapmam için beni teővik eden, bana sonsuz güvenen ve her daim yanımda olan canım eőim İbrahim ÖZBEY 'e, tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi bana destek olan canım babama ve anneme tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL .....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
DEMİRYOLU TEKERİ ÜRETİMİ.....	6
2.1. DÖKÜM YÖNTEMİ .....	6
2.2. DÖVME YÖNTEMİ.....	7
2.3. KARDEMİR DEMİRYOLU TEKERİ ÜRETİMİ.....	8
BÖLÜM 3 .....	16
ISIL İŞLEM .....	16
3.1. GERİLİM GİDERME .....	17
3.2. SU VERME SERTLEŞMESİ .....	18
BÖLÜM 4 .....	19
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	19
4.1. MALZEME .....	19
4.2. DENEYSEL YÖNTEM .....	19
4.2.1. Isıl İşlem .....	20

4.2.2. Mikroyapı İncelemeleri .....	21
4.2.3. Sertlik Ölçümü.....	21
4.2.4. Aşınma Testi .....	22
BÖLÜM 5 .....	23
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	23
5.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ .....	23
5.2. SERTLİK ÖLÇÜM .....	28
5.3. AŞINMA TESTİ .....	29
BÖLÜM 6 .....	34
GENEL SONUÇLAR .....	34
KAYNAKLAR .....	35
ÖZGEÇMİŞ .....	36

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Tekerlek şekilleri a) düz şekilli b) dalgalı şekilli [7].	4
Şekil 1.2. Araç tiplerine göre malzeme kaliteleri [7].	5
Şekil 2.1. Döküm yöntemleri a) alçak basınçlı döküm b) gravity döküm [7].	7
Şekil 2.2. Dövme üretim yöntemi aşamaları [7].	8
Şekil 2.3. Dairesel kesitli ütükler	9
Şekil 2.4. Tufal giderme ünitesi	10
Şekil 2.5. 10bin ton preste ön şekillendirme prosesi	11
Şekil 2.6. Haddeleme makinesi	12
Şekil 2.7. Nihai şekil almış teker	12
Şekil 2.8. Teker sertleştirme prosesi	13
Şekil 2.9. Demiryolu tekeri terminolojisi	14
Şekil 2.10. Demiryolu tekeri üretim tesisi proses akış şeması	15
Şekil 4.1. Tekerden kesilen kesit parçası	20
Şekil 4.2. Isıl işlem uygulanan kesit parçası	20
Şekil 4.3. Sertlik ölçüm cihazı	21
Şekil 4.4. Aşınma testi mekanizması	22
Şekil 5.1. Orijinal numunenin 500x mikroyapı görüntüsü	23
Şekil 5.2. 60 sn işlemlenmiş numunenin 50x mikroyapı görüntüsü	24
Şekil 5.3. 120 sn işlemlenmiş numunenin 50x mikroyapı görüntüsü	24
Şekil 5.4. Orijinal tekerleğin a) 1000x b) 3000x büyütmedeki sem görüntüleri	25
Şekil 5.5. 60 sn su verilen tekerleğin a) 1000x b) 3000x büyütmedeki SEM görüntüleri	26
Şekil 5.6. 120 sn su verilen tekerleğin a) 1000x b) 3000x büyütmedeki sem görüntüleri	27
Şekil 5.7. Orijinal, 60 sn ve 120 sn su verilmiş tekerleklerin sertlik değerleri-derinlik değişimi	28
Şekil 5.8. a) Orijinal, b) 60 sn ve c) 120 sn su verilmiş tekerleklerin aşınma değerleri-aşınma mesafesi grafikleri	29
Şekil 5.9. Tekerleklerin aşınma hızı-Sertleştirme süresi grafiği	30
Şekil 5.10. 40 N yük altında aşındırılmış orijinal tekerleğin a)100x b) 1000x büyütmedeki yüzey görünümü	31

Şekil 5.11. 40 N yük altında aşındırılmış 60 sn sertleştirilmiş tekerleğin a)100x b) 1000x büyütmedeki yüzey görünümü .....	32
Şekil 5.12. 40 N yük altında aşındırılmış 120 sn sertleştirilmiş tekerleğin a)100x b) 1000x büyütmedeki yüzey görünümü .....	33

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 1.1.Dünyada kullanılan teker üretim standartları.....	3
Çizelge 2.1.ER kalite malzemelerin mekanik özellikleri.....	14
Çizelge 4.1.Malzemeye ait kimyasal bileşim.....	19

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$R_m$  : Çekme mukavemeti

$R_{eh}$  : Üst akma noktası

% A : Yüzde uzama

C : Karbon

Mn : Mangan

Si : Silisyum

S : Kükürt

P : Fosfor

Cr : Krom

Ni : Nikel

Cu : Bakır

Mo : Molibden

V : Vanadyum

Nb : Niyobyum

Pb : Kurşun

## **KISALTMALAR**

AAR : The Association of American Railroads (Amerikan Demiryolları Birliği)

EN : European Norm (Avrupa Normları)

GOST : Gosstandart

JIS : Japanese Industrial Standards (Japon Endüstriyel Standartları)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Ulaşım sistemi günlük hayatlarımızda vazgeçilmez bir parça olarak görülür ve sosyoekonomik sonuçlarıyla toplumumuz üzerinde çok büyük etkilere sahiptir.

İlk raylı araçların ortaya çıkması 1550 yıllarına dayanmaktadır. Ancak yaygın olarak kullanılmaya başlanması İngiltere Sanayi Devrimi sırasında gerçekleşmiştir. Kullanılan ilk tekerler ahşap jantlıdır. Daha sonra tamamen metal tekerleklere geçilmiştir. Sırasıyla döküm, jant kaplama gibi üretim yöntemleri sonrasında günümüze kadar gelişerek monoblok teker şeklini almıştır [1].

Demiryolu tekerleri tüm yapının hizmet ömrü ve güvenilirliğinin büyük ölçüde bağlı olduğu mukavemet ve yorulma özelliklerine bağlı olarak demiryolu taşıtlarının yüksek gerilimli bileşenleridir. Tekerlekler, demiryollarındaki araçların sürekli artan hızlarında ağır çalışma yüklerine dayanmalıdır. Bu nedenle, operasyonlarının güvenliğini ve optimum hizmet ömrünü sağlamak amacıyla bu bileşenlerin yüksek kalite ihtiyaçları bulunmaktadır [1].

Demiryolu sektöründe güvenliği arttırmak ve maliyetleri düşürmek adına trenlerin tasarımlarında kilit rol oynamaktadır. Tekerlekler, raylı sistemlerde aracın ray üzerinde hareketine olanak sağlar. Araç ve ray arasında kuvvet aktarımı için kullanılırlar [1,2].

Demiryolu tekeri üretiminde en önemli noktalar kalite, saflık, mekanik ve ısı işlem, ölçü tolerans uygunluğu, malzeme homojenliği ve doğru malzeme seçimidir. Tekerin üretimi sırasında kazandırılan mekanik özellikleri tekerin hacminde homojen dağılımı esastır [1].

Tekerlekler çalışma sırasında, belirli koşullar altında istikrarlı sürüş özellikleri göstermelidir. Yani;

1. Raylarla ve akslarla uyumlu çalışmalı
2. Taşıdığı yük ve maruz kaldığı kuvvetlerden doğan deformasyonlar minimize edilmeli,
3. Frenleme kaynaklı kuvvetler nedeniyle hasar görmemeli,
4. Tasarlandığı dingili ağırlığı ile uyumu olmalı
5. Yorulma dayanımının yüksek olması [1].

Tekerlerden beklenen özelliklere paralel olarak, aşağıdaki parametrelere göre de değişiklik gösterir;

1. Demiryolu vagonlarının düşük yarıçaplı virajlarının yanı sıra yüksek hızlı hattaki yüksek virajlara sahip yolda çalıştırılma ihtiyacı,
2. Hızın arttırılması,
3. Bakımların azaltılmasına bağlı olarak vagon kalitelerinin takibinde azalma olması [2].

Yukarıda belirtilen bu koşullar tekerlek-ray temas koşullarının ciddiyetinde bir artışa yol açarak aşınma olasılıklarını arttırmaktadır. Aşırı aşınma durumu, demiryolu aracının dinamik davranışını etkileyebilir, sürüş konforunu azaltabilir, raydan çıkma potansiyeline etki edebilir ve tekerlek malzemesinin bütünlüğünü azaltabilir [2].

Tüm bu taleplerin üstesinden gelmek için, daha dayanıklı teker malzemeleri geliştirme ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin gelişimine yardımcı olmak için, tekerleklerde kullanılan çeliklerde görülen aşınma mekanizmalarının ve rejimlerinin daha iyi anlaşılması gerekmektedir [3].

Bu amaçla yapılan çalışmaların birinde; Rezende ve arkadaşları beynitik çeliğin daha mı iyi olduğu sorusuna cevap bulmak amacıyla beynitik ve perlitik çeliğin mikro yapılarını kuru ortamda ikiz disk yöntemi ile incelemiştir. Yapılan çalışmada, numuneler östenit sıcaklığına ısıtılmış ve ardından hemen soğutulmuştur. Böylece

TTT diyagramına göre farklı sertliklerde ve mekanik özelliklerde alt bey nitik ve perlitik yapılar elde etmişlerdir. Sonuç olarak bey nitik çelikteki aşınmanın daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır [4].

Yapılan bir diğer çalışmada, Rob Dwyer-Joyce ve arkadaşları demiryolu tekerlerinde aşınma mekanizmalarını ve geçişlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada ER 7 ve ER 8 kalite malzemeler kullanarak aşınma haritaları gibi yeni metotlar geliştirerek aşınmanın daha iyi tahmin edilebilmesi için aşınma oranları, rejimleri ve geçişlerini tartışmışlardır. Kullanılan aşınma metotlarının çoğu Archard kayma aşınma modeline dayanmaktadır [3].

Başka bir çalışmada Telliskivi ve Olofsson farklı temas mekanikleri metotları kullanarak aşınma simülasyonları üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca yeni bir metot geliştirerek hesaplama hızının kaybını ortadan kaldırıp doğruluk oranını arttırmışlardır [5]. Bir başka çalışmada Zhou ve arkadaşları perlitik çeliklerde ikiz disk yöntemini kullanarak farklı kayma kaymalarda aşınmayı incelemişlerdir [6].

Çizelge 1.1. Dünyada kullanılan teker üretim standartları [7].

Bölge	Standart	Çelik Kalitesi	Karbon içeriği %	Sertlik (HB)
Avrupa	EN 13262	ER6	$\leq 0,48$	235-270
		ER7	$\leq 0,52$	247-282
		ER8	$\leq 0,56$	258--296
		ER9	$\leq 0,60$	300-350
Kuzey Amerika	AAR M-107/M-208	Class L	$\leq 0,47$	197-277
		Class A	0,47-0,57	255-321
		Class B	0,57-0,67	302-341
		Class C	0,67-0,77	321-363
		Class D		341-415
Japan	JIS E 5402-1	SSW	QS	246-307
			QR	311-363
			QRH	295-347

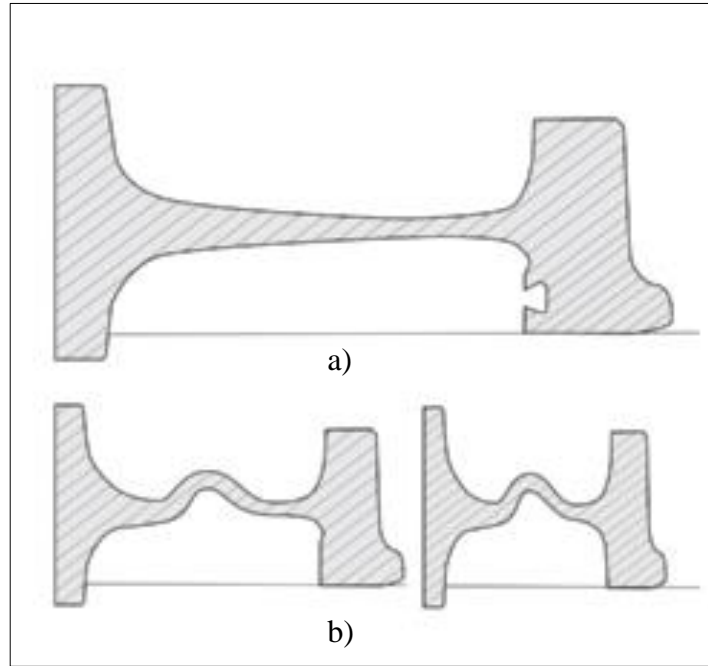
Dünyada teker üretiminde kullanılan birçok farklı standart vardır. Kullanılan standartlar Çizelge 1.1’de verilmiştir. Türkiye ‘de kullanılan ve üretilen tekerler Avrupa standardına göre üretilmektedir.

Dünya üzerinde farklı araç tipleri üzerinde kullanılmak üzere ihtiyaçlar doğrultusunda farklı teker tipleri tasarlanmaktadır.

Kullanılan araç tipleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

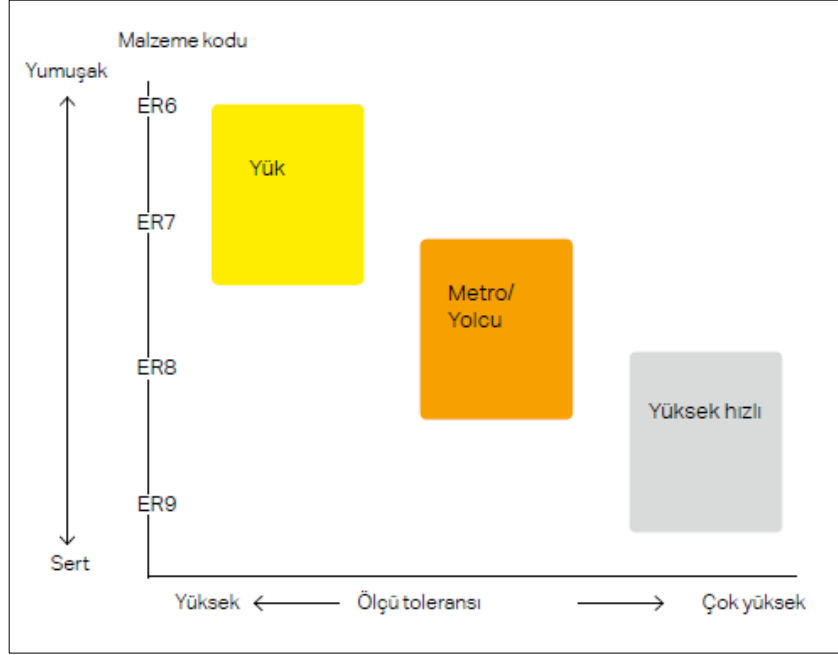
1. Yük Treni
2. Hafif Taşımacılık
3. Yüksek Hızlı Tren
4. Lokomotif
5. Yolcu Vagonu

Demiryolu tekeri araçların ray üzerinde hareket edebilmesini sağlayan yapı elemanlarıdır.



Şekil 1.1. Tekerlek şekilleri a) düz şekilli b) dalgalı şekilli [7].

Tekerlerin şekilleri dalgalı veya düz olabilir. Şekil 1.1 'de farklı teker şekilleri görülmektedir. Her tür araç ve vagona farklı şekiller görülebilir fakat tekerlek ve fren sistemlerinde ayrılan alan sınırlı olduğundan lokomotif ve metrolarda düz şekil daha yaygın görülürken vagonlarda dalgalı şekiller daha yaygın görülmektedir [7].



Şekil 1.2. Araç tiplerine göre malzeme kaliteleri [7].

Şekil 1.2 'de ER kalite malzemelerin kullanım alanları ve alanlarına göre özellikleri verilmiştir.

Ülkemizde bir ilk olan Kardemir A.Ş fabrikasında demiryolu tekeri üretimi tesisi devlet teşvikleriyle stratejik yatırımlar kapsamında 2019 yılında ilk teker üretimini gerçekleştirerek devreye alınmıştır. Ülkemizde üretilen tren tekelerinin aşınma davranışı üzerinde veri boşlukları giderilmeye çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2

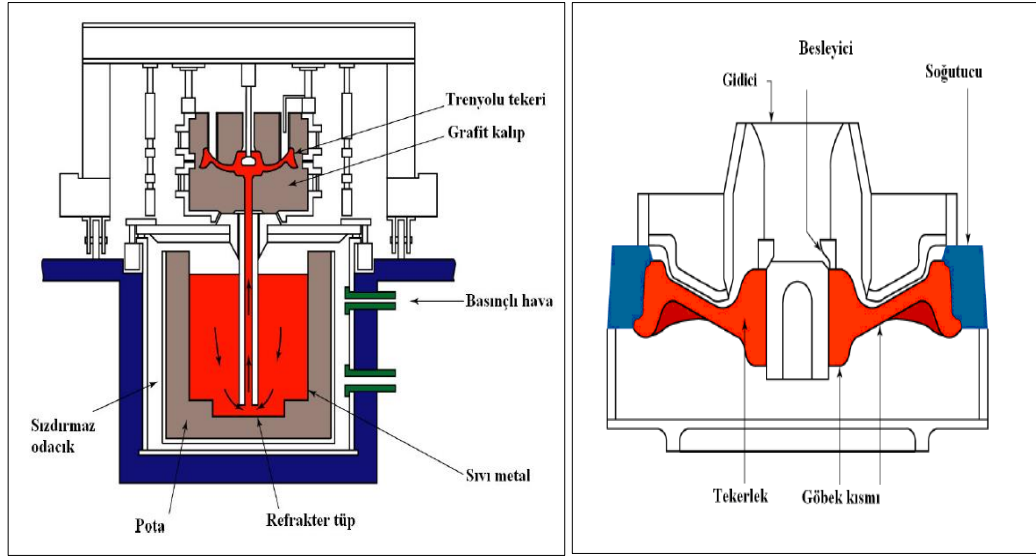
### DEMİRYOLU TEKERİ ÜRETİMİ

Demiryolu tekeri üretiminde dövme veya doğrudan döküm yöntemleri kullanılabilir [7].

#### 2.1. DÖKÜM YÖNTEMİ

Döküm için gerekli malzeme, yüksek fırın prosesinden gelen sıvı demirin konvertörlerde veya kütük/hurda gibi malzemelerin elektrik ark ocaklarında ergitilmesiyle elde edilmektedir. Ergitme sonrası vakumla gaz giderme işlemi en önemli aşamalardan biridir. Tekerlek dökümü hemen her üreticide grafit kalıplarda yapılmaktadır. Grafit kalıplar genelde 50 cm kalınlığında şekillendirme takımları kullanılarak işlenmiştir. Kalıplardaki bozulmalar kalıbın tekrar işlenmesi ile giderilir ve kalıp kalınlığı yaklaşık 20 cm ininceye kadar bu işlem tekrarlanabilir. Döküm işlemi için alçak basınç kontrollü (ABD ve Hindistan) veya gravity (Güney Afrika) prosesleri kullanılır. Söz konusu prosesler şematik olarak Şekil 2.1 'de gösterilmiştir. Basınç kontrollü sistemde ergitilen metal, hava sızdırmaz bir kapakla contalanarak bir odaya yerleştirilir ve basınçlı asal gaz bu oda içerisine gönderilir ve ergiyik çelik refrakter tüp boyunca yukarı doğru itilir ve alttan itibaren tekerlek şeklini alarak kalıba dolar. Gravity dökümde ise asal gaz atmosferi altında ergiyik metal kalıba üstten dökülür. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta dökümün mümkün olduğunca laminar (sakin) olmasıdır [7].

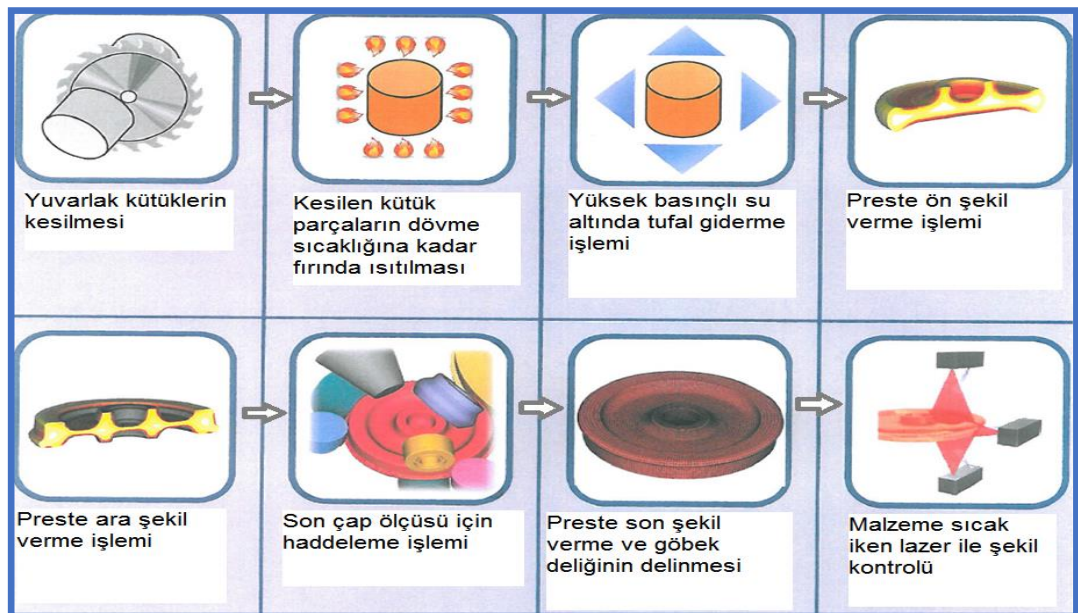
Bu üretim yöntemi günümüzde artık tercih edilmemektedir.

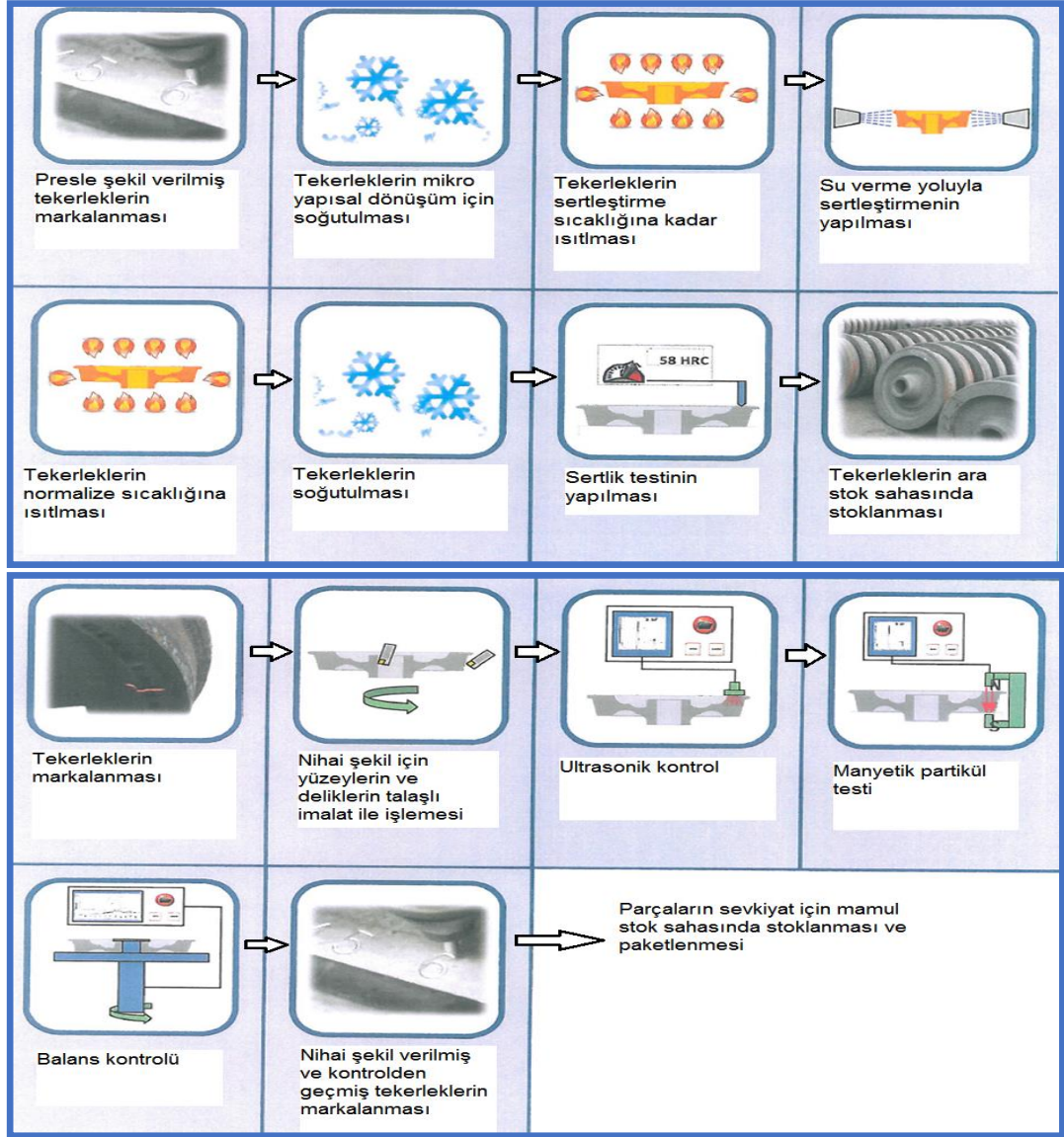


Şekil 2.1. Döküm yöntemleri a) alçak basınçlı döküm b) gravity döküm [7].

## 2.2. DÖVME YÖNTEMİ

Dövme yönteminde ingot veya kütük halinde dökülen çelik, ardından presle dövülerek şekillendirilir. Dövme için çok yüksek kapasiteli preslere ihtiyaç vardır. Son şekillendirme ise kenar haddeleme veya şahmerdanla dövülerek yapılmaktadır. Dövme ve haddeleme ara işlemlerinde tekerlekler gerilim giderme işlemine tabi tutulmaktadır. Demiryolu tekerinin dövme yöntemi ile üretim aşamaları Şekil 2.2 'de gösterilmektedir [7].





Şekil 2.2. Dövme üretim yöntemi aşamaları [7].

### 2.3. KARDEMİR DEMİRYOLU TEKERİ ÜRETİMİ

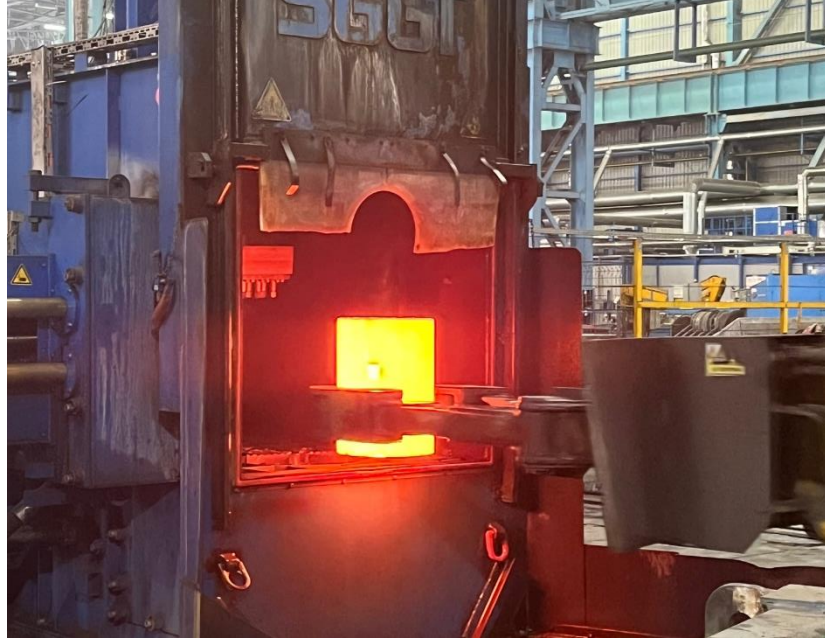
Tekerlek üretiminde girdi malzemesi olarak sürekli döküm makinalarında üretilen 380 mm çapında tekere ait kalitede dökülen dairesel kesitli kütükler kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Dairesel kesitli kütükler daire testere makinalarında tasarım ağırlıklarına otomatik olarak kesilirler.





Şekil 2.3. Dairesel kesitli kütükler

Kesilen kütükler döner tabanlı fırına şarj edilerek kademeli şekilde ısıtılarak östenit bölgede çıkış sıcaklığı olan  $\sim 1250$  °C de tavlanırlar. Tavlama fırınında yakıt olarak doğalgaz kullanılır. Fırın içinde oluşan atık gaz kullanılarak fırına giren yakma havasını reküperatörden geçirerek yakma havası ön ısıtma yapılır ve enerji verimliliği sağlanır.



Şekil 2.4. Tufal giderme ünitesi

Döner fırında şekil verme sıcaklığına ısıtılan kütükler, yüzeyde oluşan tufallerin temizlenmesi için öncelikle basınçlı su püskürten tufal giderme ünitesine gelerek yüzey temizliği yapılır (Şekil 2.4).

Yarımamülün preslenmesi ve şekillendirilmesi işlemleri iki ayrı preste (10bin ton ve 5bin ton) ve bir dikey haddeleme makinesinde yapılmaktadır. Tufal gidermesi yapılan kütükler ilk prese gelerek ön şekil verme işlemleri yapılır (Şekil 2.5). Burada tekerin ana hatları ve göbek deliği delinmeye hazır hale getirilir.



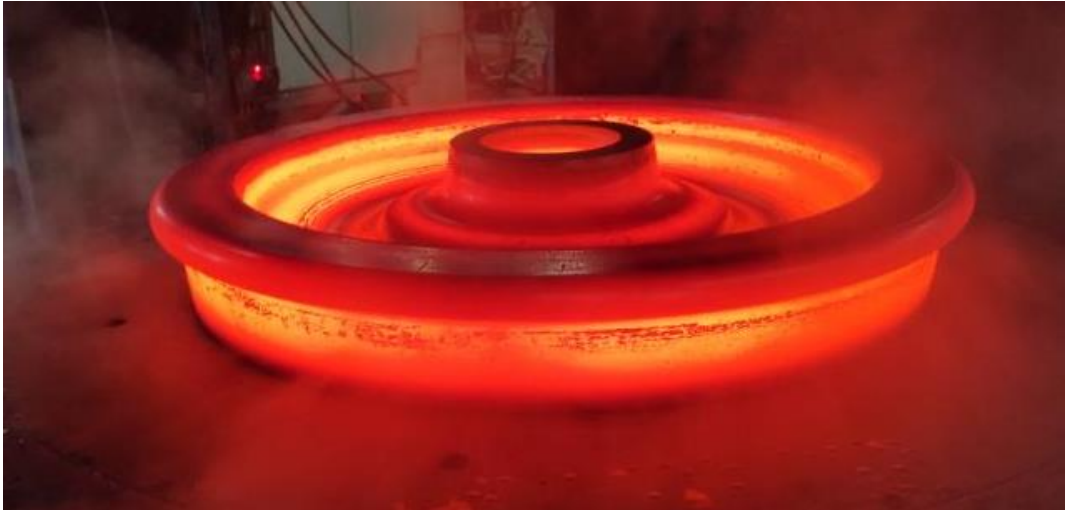
Şekil 2.5. 10bin ton preste ön şekillendirme prosesi

10 bin ton presin OP1 kalıbına konulan yarı mamul, önce OP1 presleme işleminden geçirilir. Manipülâtör ile OP2 kalıbına taşınan yarı mamul, burada ikinci presleme operasyonundan geçirilerek teker yarı taslağı elde edilir, böylelikle ön şekillendirme tamamlanmış olur. Bu süreç sırasında teker ve kalıplara su-grafit bazlı bir solüsyon püskürtülerek kalıbın sıcaklığı düzenlenip sıcak mamulün kalıba yapışması engellenir.



Şekil 2.6. Haddelme makinesi

Daha sonra haddelme makinesinde teker taslağının web ve rim bölgesi haddelenerek şekillendirilir ve istenilen çapa getirilir. (Şekil 2.6).



Şekil 2.7. Nihai şekil almış teker

En son ikinci prese gelen malzeme göbek deliği delinerek ve nihai şekli verilerek şekillendirme işlemleri tamamlanmıştır (Şekil 2.7). Burada da aynı şekilde, teker ve



kalıplara su-grafit bazlı bir solüsyon püskürtülerek kalıbın sıcaklığı düzenlenip sıcak malzemenin kalıba yapışması engellenir.

Şekil verme işlemleri tamamlanan tekerin istenilen mekanik özellikleri tünel fırınlarda ve sertleştirme makinelerinde kontrollü ısıtım prosesleriyle elde edilir. Tekerler ilk olarak tünel tipi fırında östenit bölgede sertleştirme sıcaklığına ısıtılır.

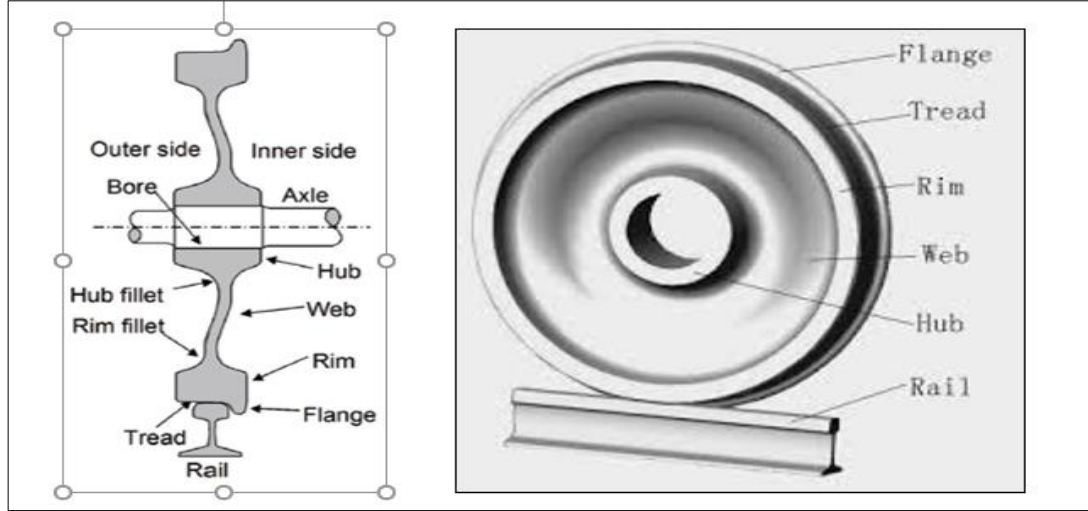
Yaklaşık 900 °C 'ye ısıtılan tekerler su verme makinelerine alınarak tekerin yuvarlanma yüzeyi ve rim bölgelerinde 3 noktadan basınçlı su ve hava verilerek sertleştirilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Teker sertleştirme prosesi

Burada önemli olan tekerin yuvarlanma yüzeyi ve rim kısmının homojen olarak sertleştirilmesidir. Tekerin web bölgesinin sertleştirilmesi istenmez. Şekil 2.9 'de tekerin terminolojisi verilmiştir.

Isıl işlem prosesi tamamlanan tekerlerden EN13262 standardına uygun olarak numune alınarak standart gerekliliği testler yapılarak uygulanan ısıl işlemin kontrolü yapılır.



Şekil 2.9. Demiryolu tekeri terminolojisi

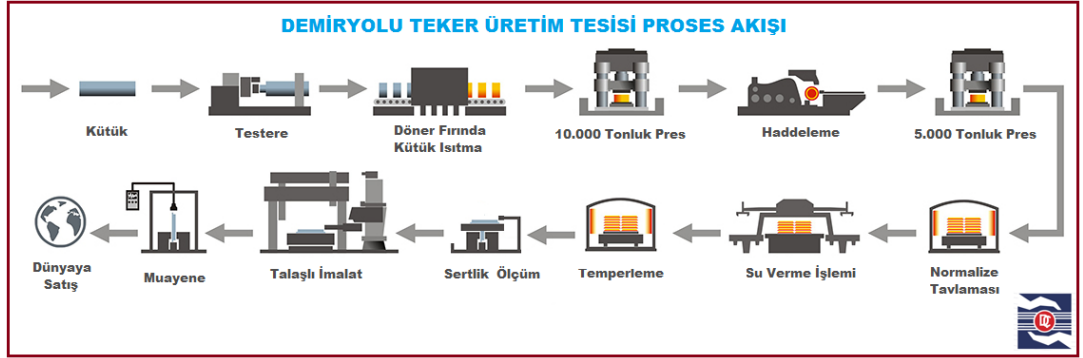
EN 13262 Demiryolu uygulamaları standardına göre ER kalite tekerden beklenen mekanik özellikler Çizelge 2.1’ de verilmiştir [8].

Çizelge 2.1. ER kalite malzemelerin mekanik özellikleri [8].

Çelik Kalitesi	İspit			Gövde		Minimum Brinell Sertlik Değerleri	
	$R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	% A <sub>5</sub>	$R_m$ azalma (N/mm <sup>2</sup> )	% A <sub>5</sub>	Kategori 1	Kategori 2
ER6	≥500	780/900	≥15	≥100	≥16	-	225
ER7	≥520	820/940	≥14	≥110	≥16	245	235
ER8	≥540	860/980	≥13	≥120	≥16	245	245
ERS8	≥580	900/1020	≥13	≥110	≥14	250	250
ER9	≥580	900/1050	≥12	≥130	≥14	255	255

Mekanik ve fizik testleri yapılarak standarttaki mekanik değerleri sağlayan tekerler, CNC tezgahlarında işlenmeye alınırlar.

Tekerin genel üretim şeması Şekil 2.10' de verilmiştir.



Şekil 2.10. Demiryolu tekeri üretim tesisi proses akış şeması

Üretimi tamamlanan tekerler tahribatsız muayene işlemlerine tabi tutulurlar. Burada tekerlerin boyut ölçümleri, ultrasonik ölçümü, manyetik partikül testi, balans ölçüm işlemi yapılır.

## BÖLÜM 3

### ISIL İŞLEM

Mühendislikte tasarlanan imalatı gerçekleştirmek için kullanılacak malzeme seçiminin doğru yapılması üretim kolaylığı ve mamulün emniyetli ömrü açısından önemlidir. Malzeme seçimi yapılırken;

1. Mamulün hangi gerilmeler altında kalacağı,
2. Hangi ortamda çalışacağı
3. Sürtünmeye veya aşınmaya mı maruz kalacağı
4. Üretim yöntemleri

Sorgulanmalıdır [9,10].

Genelde malzemenin en önemli özelliği olan mekanik özellikleri hem imalat sırasında hem de imalat sonrasında işlem kolaylığı sağlamak ve gerekli değerleri sağlamak için çeşitli işlemlerle değiştirilebilir. Malzeme cins ve kimyasal bileşimi dikkate alınarak aşağıdaki yöntemler uygulanabilir [9,10].

1. Mekanik işlemler
2. Isıl işlemler
3. Termo-mekanik işlemler

Isıl işlem; metal veya alaşımlı parçanın özelliklerinde belirgin özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, peş peşe veya ayrı ayrı olarak planlanan ısıtma ve soğutma işlemleridir. Isıl işlemin temelinde östenitleştirme yatar [9,10].

Isıl işlem malzemeye;

1. Aşınma dayanımı arttırmak



2. Mekanik özelliklerini iyileştirmek (tokluk, çekme ve akma dayanımı)
3. Sünekliğini geliştirmek
4. Kaba tane yapısını iyileştirmek

Gibi amaçlarla uygulanır [9,10].

Çeliklere uygulanan ısıtma işlemler değişik mikro yapılar elde etmek için allotropik dönüşümlerden yararlanılarak yapılabilir. Bu mikro yapıların oluşumu soğuma hızına yani zaman-sıcaklık ilişkilerine bağlıdır. Bir malzemeye ısıtma işlemi uygulamadan önce malzemenin özelliklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir

Çeliklere en çok uygulanan ısıtma işlem türleri;

1. Yumuşatma Tava
2. Normalizasyon
3. Gerilim Giderme
4. Su verme sertleştirme
5. Temperleme (Menevişleme)
6. Karbürleme
7. Nitrürleme
8. Küreselleştirme [9,10]

### **3.1. GERİLİM GİDERME**

Üniform olmayan ısıtma soğutma işlemleri, şekil değişimleri ve dönüşüm olayları sırasında parça içinde oluşan gerilmelerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Artık iç gerilmelerin giderilememesi durumunda, parçalarda zamanla deformasyon ve çarpılmalar oluşur. Ayrıca parçaların çalışma sırasındaki performanslarına olumsuz yönde etki yapabilir [9,10].

Malzemenin kimyasal bileşimine göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde 500-680 °C arasında yapılır [9,10].

Çelik plastik olarak işlendiği veya deforme edildiği zaman, soğuk işlenen yüzeylerde gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler sertliği bölgesel olarak artırır ve sürekli işlemeyi giderek daha da güçleştirir. Ayrıca çeliğin daha sonra uygulanacak ısı işlemler sırasında da eğilmesine neden olabilir. Bu nedenle söz konusu gerilmelerin 1-2 saatlik gerilim giderme tava ile azaltılması veya yok edilmesi gerekmektedir. Karbon ve düşük alaşımlı çelikleri için 550-650 °C, sıcak işlem ve yüksek hız çelikleri için 600-750 °C sıcaklık gereklidir.

Gerilim giderme tavlama malzeme yapısında bir faz değişimine neden olmaz fakat yeniden kristalleşmeye yol açar. Soğuma sırasında ısı gerilmelerin oluşmaması için, parçaların fırında 500 °C a kadar yavaş soğutulması ve daha sonra dışarıda hava ile soğutulması iyi bir uygulama olarak görülmektedir [9,10].

### **3.2. SU VERME SERTLEŞMESİ**

Malzemeler su verme sertleşmesi öncesi fırında östenit bölgede sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak içerisinde bulunan fazların çözünmesi sağlanır. Demiryolu tekerlerinde kullanılan 0,48-0,60 % C çelikler, 850-950 °C aralığında tavlanylabilir.

Tavlama işleminden sonra çeliklerin yavaş veya orta hızda soğutulmasıyla, östenit içerisinde çözülmüş halde bulunan karbon atomları difüzyon ile östenit yapıdan ayrılırlar. Soğuma hızı arttırıldığında karbon atomları difüzyon ile katı çözültiden ayrılmak için yeterli zaman bulamazlar. Demir atomları çok az hareket edebilirler bile, karbon atomlarının çözelti içerisinde hapsedilmeleri sebebiyle farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucunda oluşan bu yapıya martenzit adı verilir. Martenzit karbonla aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal yapıya sahip katı bir çözültüdür [9,10].

Martenzit oluşumu sırasında meydana gelen hacimsel büyüme çok yüksek düzeyde yerel gerilmeler oluşturarak çeliklerin matris yapısının aşırı ölçüde çarpılmasına veya plastik şekil değişimine uğramasına neden olur. Kafes yapısının çarpılması da dislokasyon hareketini zorlaştırarak ya da engelleyerek su verilen çeliklerin sertlik ve mukavemetini artırır [9,10].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. MALZEME

Bu çalışmada, demiryolu tekerlerinde farklı ısıl işlem koşullarının ve yüklerin aşınma miktarına etkisini incelemek amacıyla ER7 kalite teker malzemesi kullanılmıştır. Aşınma için ikiz disk yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla kullanılan demiryolu tekeri malzemesi Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 'den temin edilmiştir. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Malzemeye ait kimyasal bileşim

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Pb
0,507	0,695	0,273	0,012	0,0103	0,029	0,242	0,056	0,0056	0,0006	0,0002	0,0006

Kullanılan malzeme Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 'de 850 °C derece fırında sertleştirme sıcaklığına tavlansak, daha sonra hava ve su ile tekerin yuvarlanma yüzeyi ve rim kısımları sertleştirilmiştir. Sertleştirme işlemi sonrasında 520 °C fırında 3 saat gerilim giderme işlemine tabi tutulmuştur.

#### 4.2. DENEYSEL YÖNTEM

Deneysel çalışmalar için ER 7 kalite tekerden Kardemir A.Ş 'de uzay testere ile 3 adet kesit kesilmiştir. Kesilen parça Şekil 4.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tekerden kesilen kesit parçası

#### 4.2.1. Isıl İşlem

Kesit parçalardan 2 adeti sertleştirme işlemi için 900 °C derece fırında 1 saat tavlannmıştır. Daha sonra tavlanan iki adet parçadan bir tanesi 60 saniye boyunca su ile sertleştirilmiş, diğeri ise 120 saniye boyunca su ile sertleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Isıl işlem uygulanan kesit Parçası

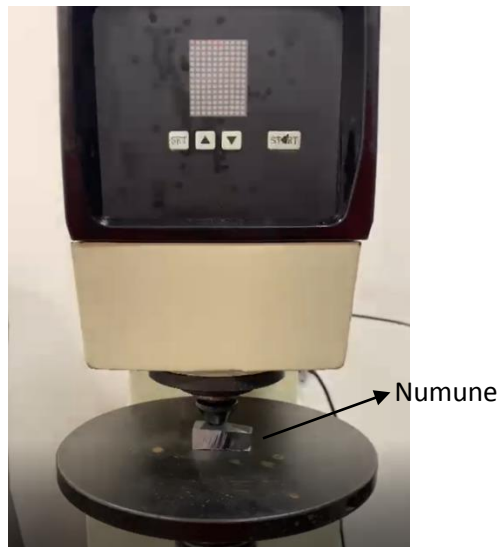
Sertleştirme işlemi yapılan ve yapılmayan toplam 3 adet parçadan küçük boyutlarda birer adet metalografik incelemeleri için, birer adet aşınma testleri için numuneler kesilmiştir.

#### 4.2.2. Mikroyapı İncelemeleri

Mikroyapı incelemeleri için numuneler önce sırasıyla 60-120-400-600-800-1000-1200-2500 'lük SiC zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler alümina ve çok az miktarda elmas süspansiyon ile parlatılmıştır. Zımparalama ve parlatma yapılan numuneler %97 etil alkol+ %3 nital karışımı ile dağlama yapılarak mikroyapı incelemeleri için hazır hale getirilmiştir. Numunelerin 10x, 20x, 50x ve 100x büyütmelemlerle mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı görüntüleri Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ve EDS (enerji dağılımlı spektroskopi) donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini marka SEM cihazı ile elde edilmiştir.

#### 4.2.3. Sertlik Ölçümü

Aşınma testi uygulanan numunelerin 750 kgf yük altında 5mm çelik bilya kullanılarak Brinell sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her bir malzeme için iki adet sağlıklı ölçüm alınmıştır.



Şekil 4.3. Sertlik ölçüm cihazı

#### 4.2.4. Aşınma Testi

Bu çalışmada incelenen ER7 kalite malzemelerin aşınma davranışları Şekil 4.4 'de gösterilen block on ring (ring üzerine blok) aşınma cihazı ile kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Orijinal, 60 sn ve 120 sn sertleştirme uygulanan 3 farklı numuneye, 20 N ve 40 N yük uygulanarak 6,8 devir/dk hız altında silindirik 1.2379 kalite 55 HRC sertliğinde soğuk iş takım çeliği üzerinde 10.000 metre kayma mesafesinde aşınma testleri uygulanmıştır. Her 2000 metrede bir malzemelerin ağırlıkları 0,1 mg hassasiyetli hassas terazide ölçülerek aşınma davranışları değerlendirilmiştir.



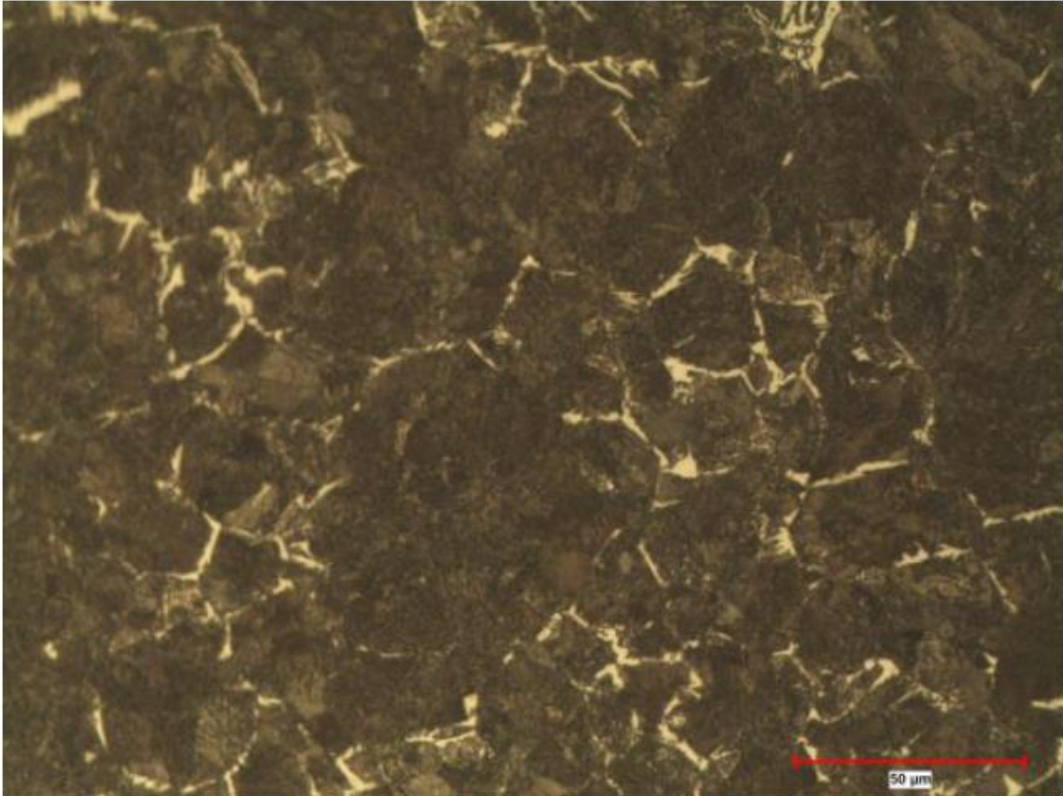
Şekil 4.4. Aşınma testi mekanizması

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

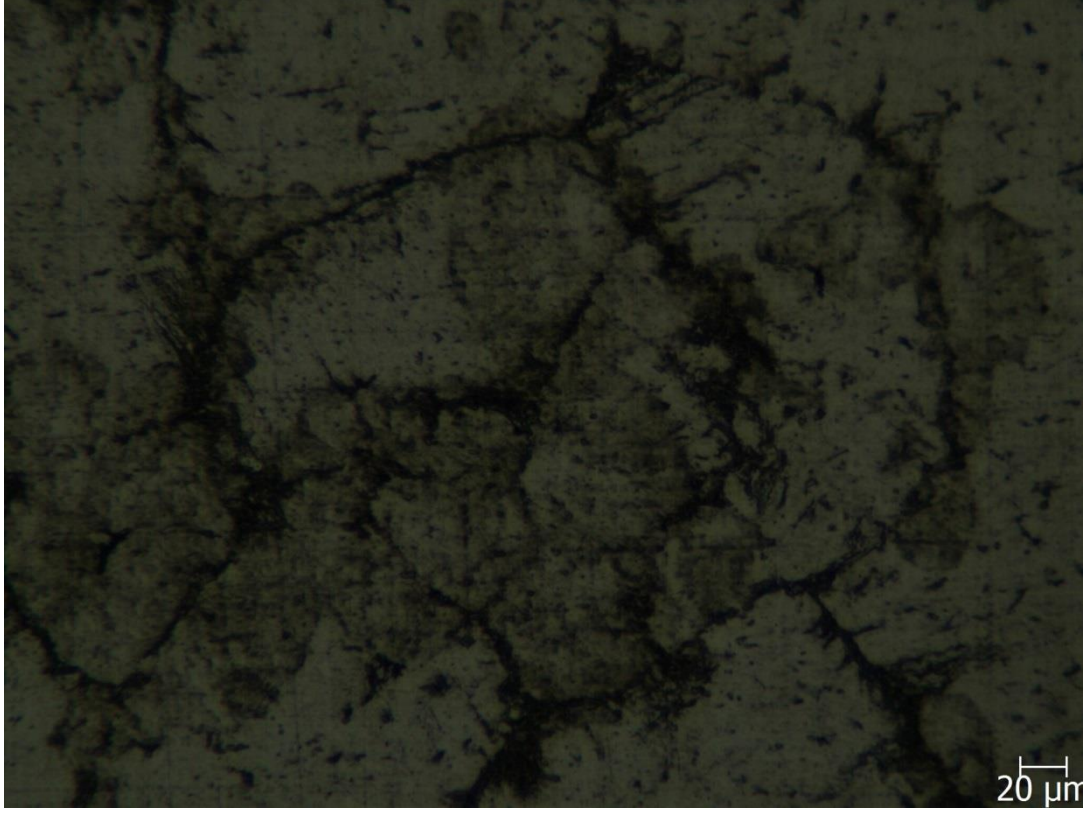
#### 5.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Şekil 5.1'den görüldüğü gibi temin edilen teker mikroyapısı ince perlitik ve tane sınırı ferritinin oluşumu şeklindedir. 60 saniye ve 120 saniye su verilmiş tekerleklerin mikroyapıları ince perlitik yapının yanı sıra tane sınırında iğnemsî ferrit fazlarının oluştuğu gözlenmektedir. Ayrıca 60 sn ve 120 sn su verilmiş malzemelerin mikroyapısında bir miktar beynitin oluşumu meydana geldiği düşünülmektedir.

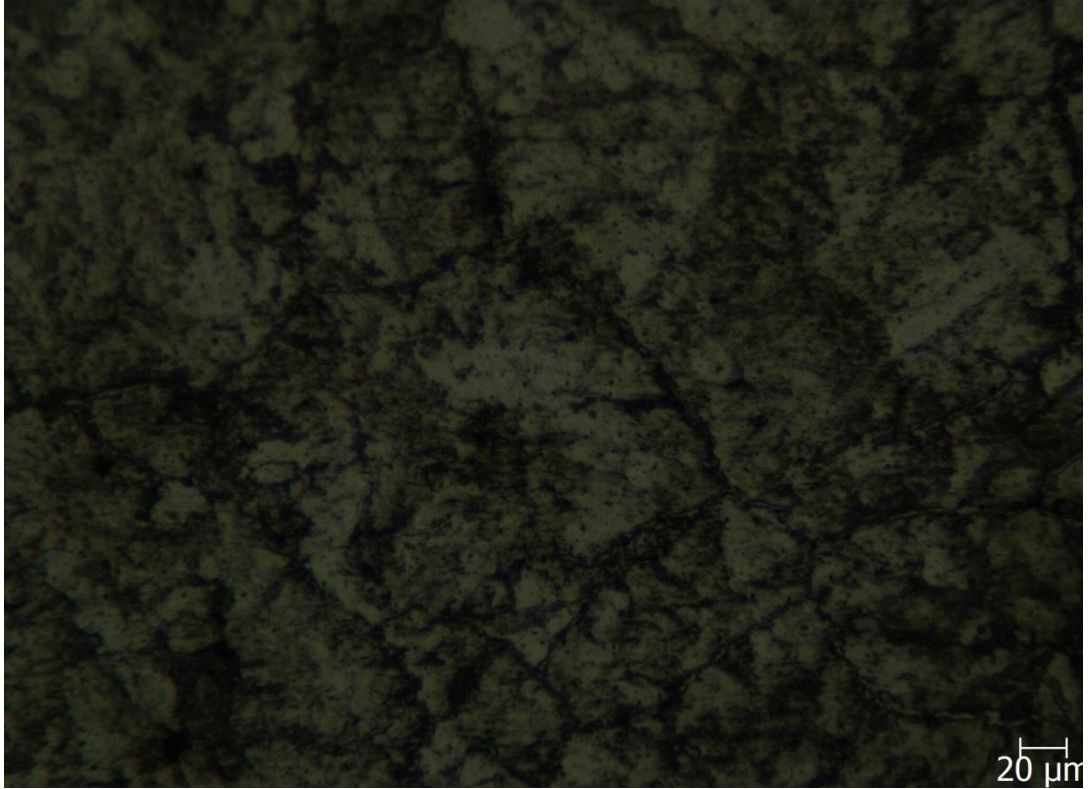


Şekil 5.1. Orijinal numunenin 500x mikroyapı görüntüsü





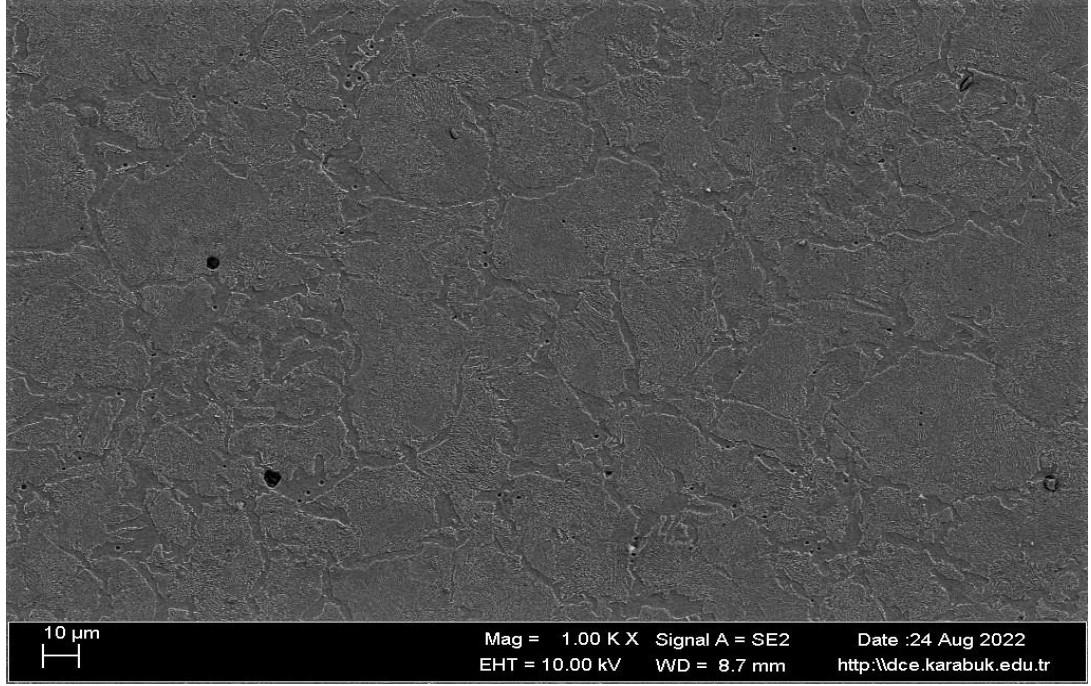
Şekil 5.2. 60 sn işlemlı numunenın 50x mikroyapı görüntüsü



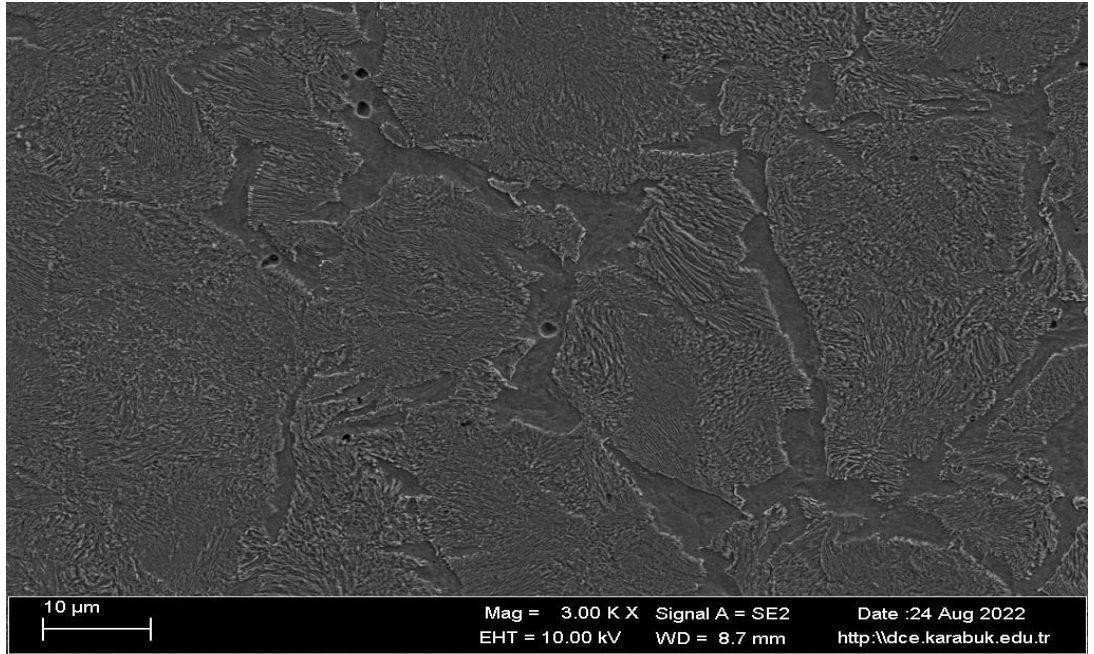
Şekil 5.3. 120 sn işlemlı numunenın 50x mikroyapı görüntüsü



Şekil 5.4 'den 5.6 'ya kadar SEM görüntüleri verilmiştir.



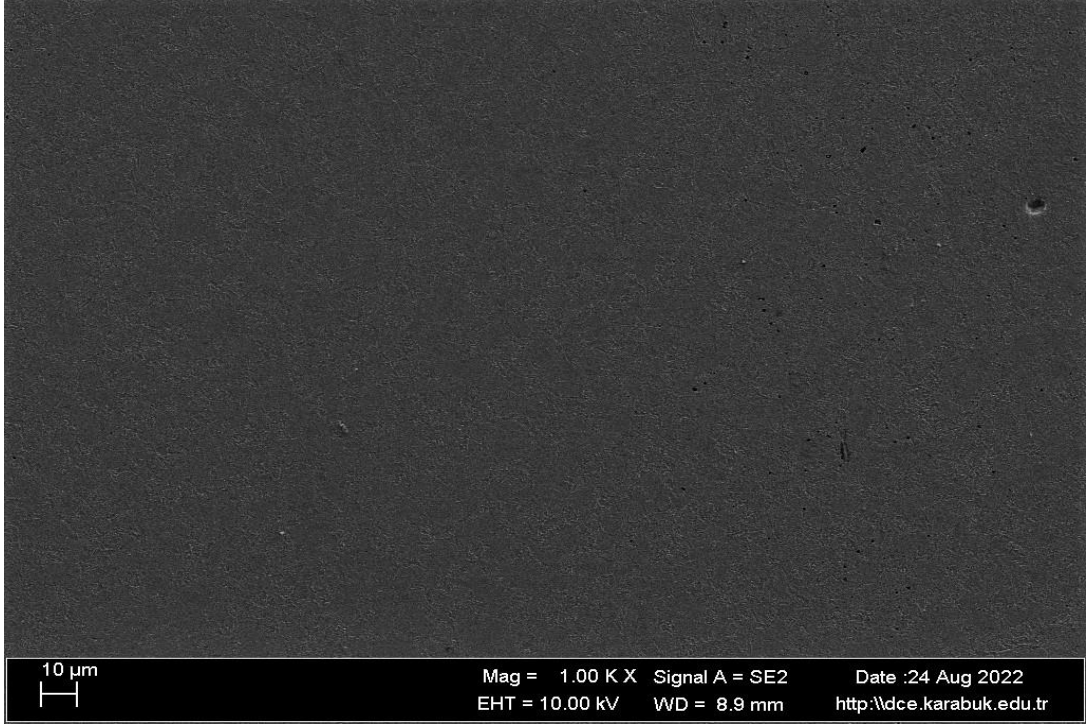
a)



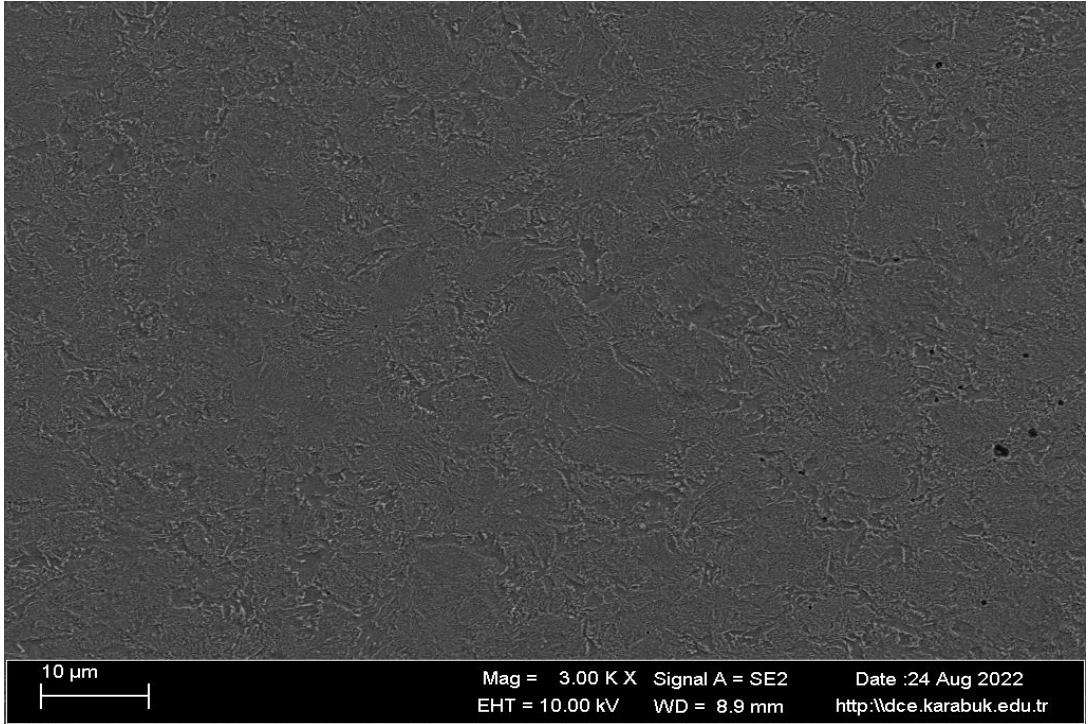
b)

Şekil 5.4. Orijinal tekerleğin a) 1000x b) 3000x büyütmedeki sem görüntüleri.

Şekil 5.4 'de görüldüğü gibi SEM mikroyapı fotoğraflarından ince ferritik yapı tane sınırı ferritlerinin dağılımı belirgin bir şekilde gözlenmektedir.



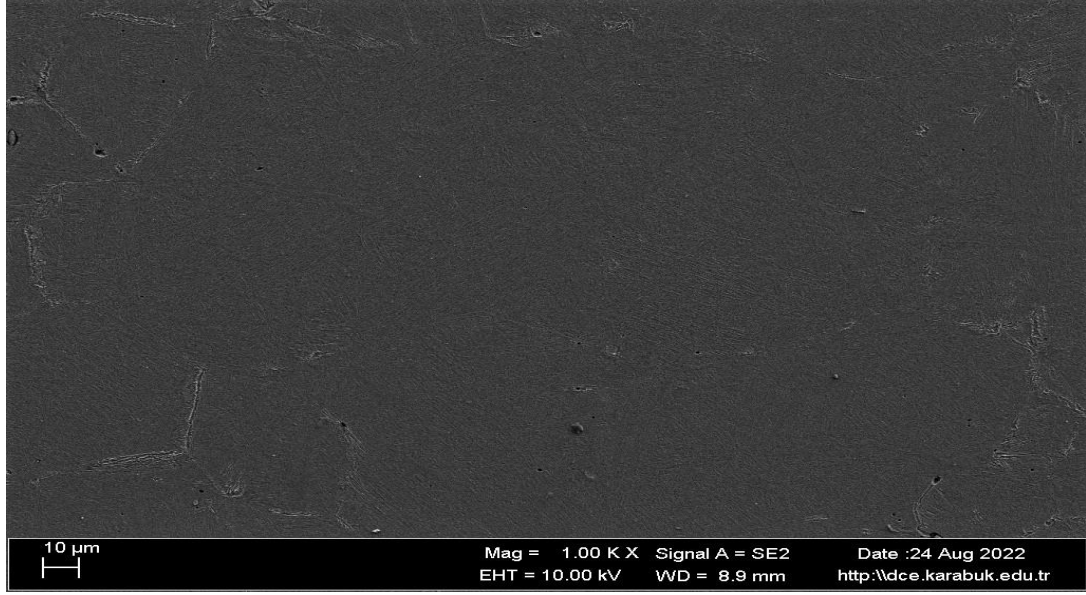
a)



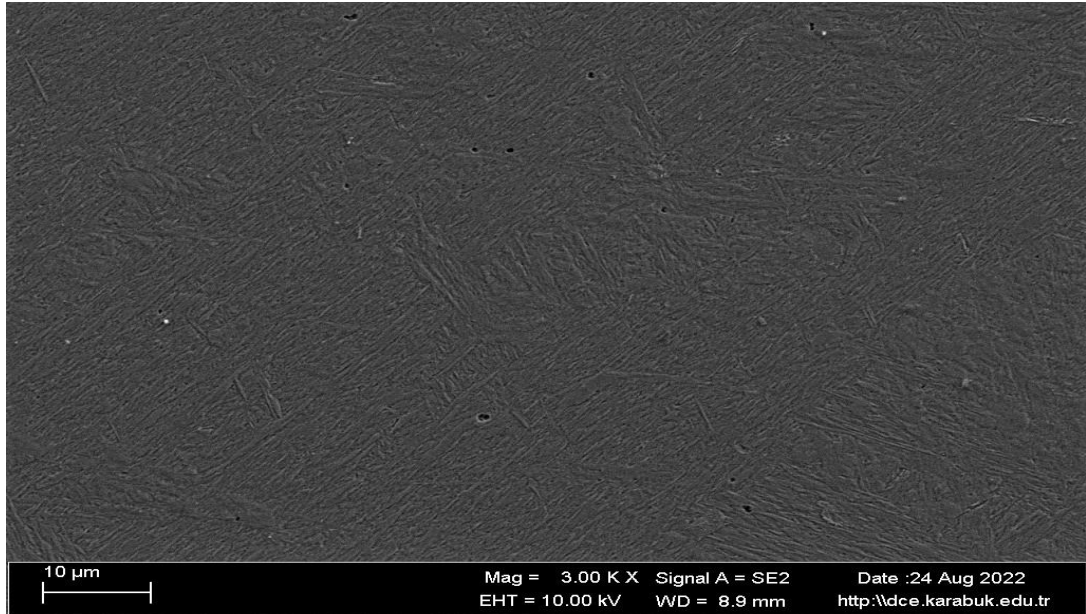
b)

Şekil 5.5. 60 sn su verilen tekerleğin a) 1000x b) 3000x büyütmedeki SEM görüntüleri.

Şekil 5.5 'de görüldüğü gibi 60 sn su verme sonrasında oluşan ince perlitik yapının sorbit yapısına benzediği düşünülmektedir. Ayrıca iğnemsî ferrit olarak tanımlanan kısımlarda bir miktar beynit oluşumu ihtimali bulunmaktadır. SEM mikroyapı fotoğrafları 60 sn su verme sonrasında tane sınırlarında ince iğnemsî ferritik yapı, tane içerisinde ise oldukça ince yapılı perlitin oluşumu meydana gelmiştir.



a)



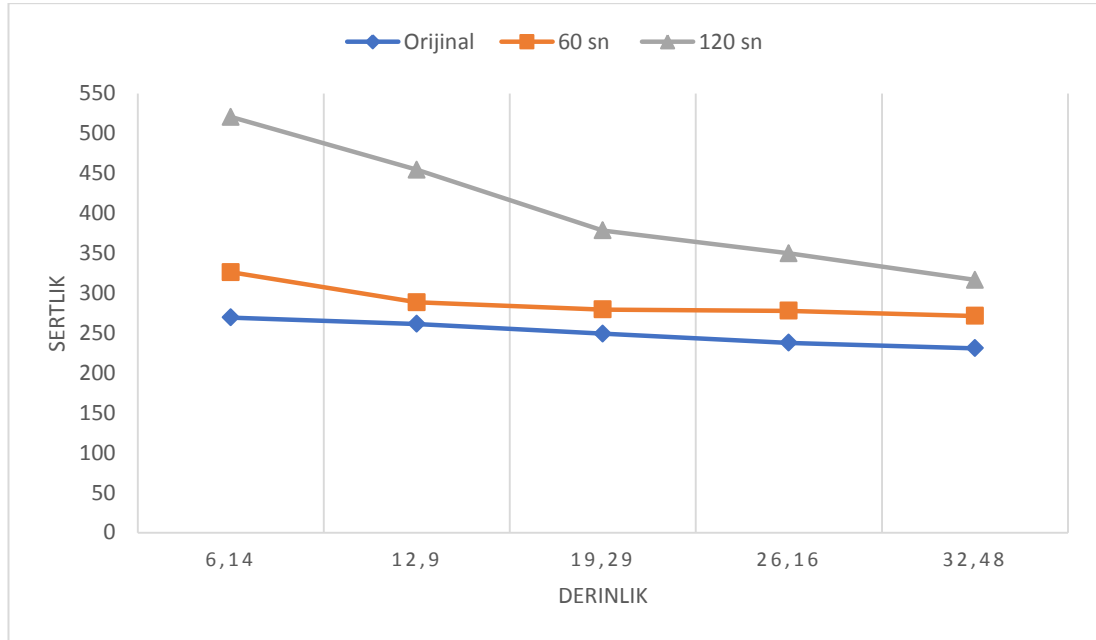
b)

Şekil 5.6. 120 sn su verilen tekerleğin a) 1000x b) 3000x büyütmedeki sem görüntüleri.

Şekil 5.6 ‘da görüldüğü gibi su vermesinin 120 sn çıkması halinde iğnemsiz yapının miktarı artmış ince perlitik yapı azalmıştır. Şekil 5.7 de verilen sertliklerden yola çıkılarak 120 sn su verilen tekerleğin sertliğinin 520 olması yapının martenzitik yapıya dönüştüğünü göstermektedir.

## 5.2. SERTLİK ÖLÇÜM

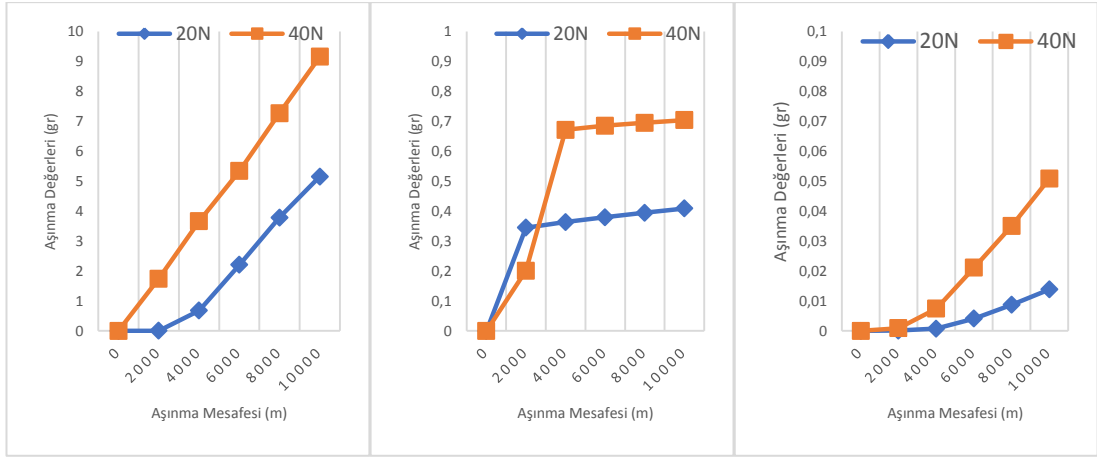
750 kgf yük altında 5mm çelik bilya kullanılarak Brinell sertlik ölçümleri gerçekleştirilen numunelerde Şekil 5.7 ‘de görüldüğü gibi tekerleğin yuvarlanma yüzeyinde sertlik yüksek yüzeyden itibaren ilerledikçe sertliğin azaldığı görülmüştür. Temin edilen tekerin yüzeyinde sertlik yaklaşık 270 HB iken yüzeyin 30 mm altında 230 HB değerine düşmüştür. 60 sn su verilmiş tekerin ise yüzeydeki ve 30 mm derinliğindeki sertlikleri sırasıyla 326 HB ve 271 HB olarak ölçülmüştür. 120 sn su verilmiş tekerin yüzeydeki ve 30 mm derinliğindeki sertlikleri sırasıyla 520 HB ve 316 HB olarak ölçülmüştür. Su verme süresinin 60 sn den 120 ye çıkarılmasıyla sertlikteki değişim mikroyapıda oluşan iğnemsiz ferrit ve bir miktarda beyrit fazlarından kaynaklandığı ön görülmektedir.



Şekil 5.7. Orijinal, 60 sn ve 120 sn su verilmiş tekerleklerin sertlik değerleri-derinlik değişimi

### 5.3. AŞINMA TESTİ

Orijinal, 60 sn ve 120 sn sertleştirme uygulanan 3 farklı numuneye, 20 N ve 40 N yük uygulanarak 6,8 devir/dk hızla uygulanan aşınma testi sonrası aşınma değerlerinin aşınma mesafesi ile değişim grafikleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



a)

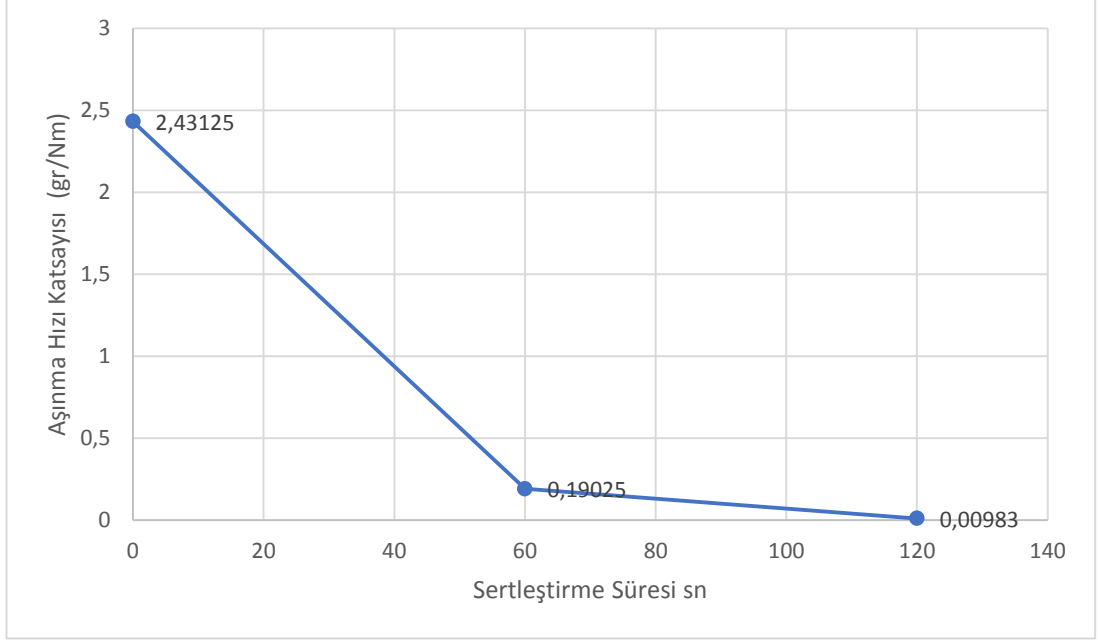
b)

c)

Şekil 5.8. a) Orijinal, b) 60 sn ve c) 120 sn su verilmiş tekerleklerin aşınma değerleri aşınma mesafesi grafikleri

Şekil 5.8 ‘de görüldüğü gibi uygulanan yük arttıkça ağırlık kaybı artmıştır. Ağırlık kaybı daha uzun süre ısıl işleme tabi tutulan numunelerde sertlikteki iyileşmeden dolayı daha düşüktür. Bu durum mikroyapıda oluşan ince perlit ve çok az da olsa beynitik yapıya dayandırılabilir. Şekil 5.9 ‘da 10 bin metre sonundaki ağırlık kaybı değerleri toplam kayma mesafesine oranlanarak gr/Nm cinsinden aşınma hızı belirlenmiştir.

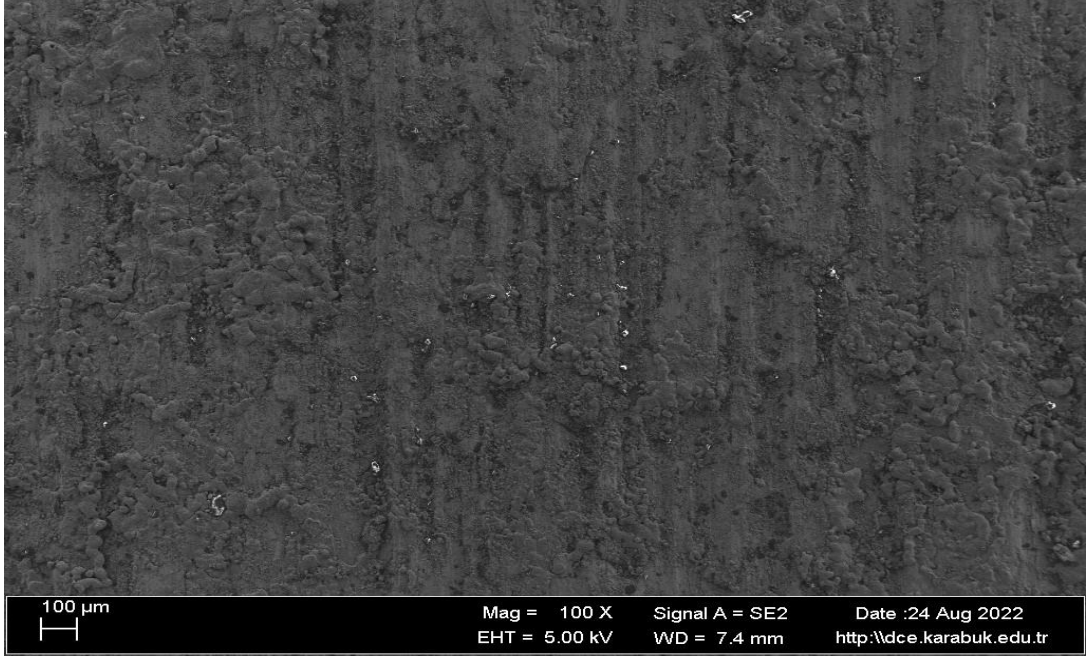
Şekil 5.9 ‘da görüldüğü gibi aşınma hızı su verme süresi ile arttıkça hızlı bir şekilde azalmıştır.



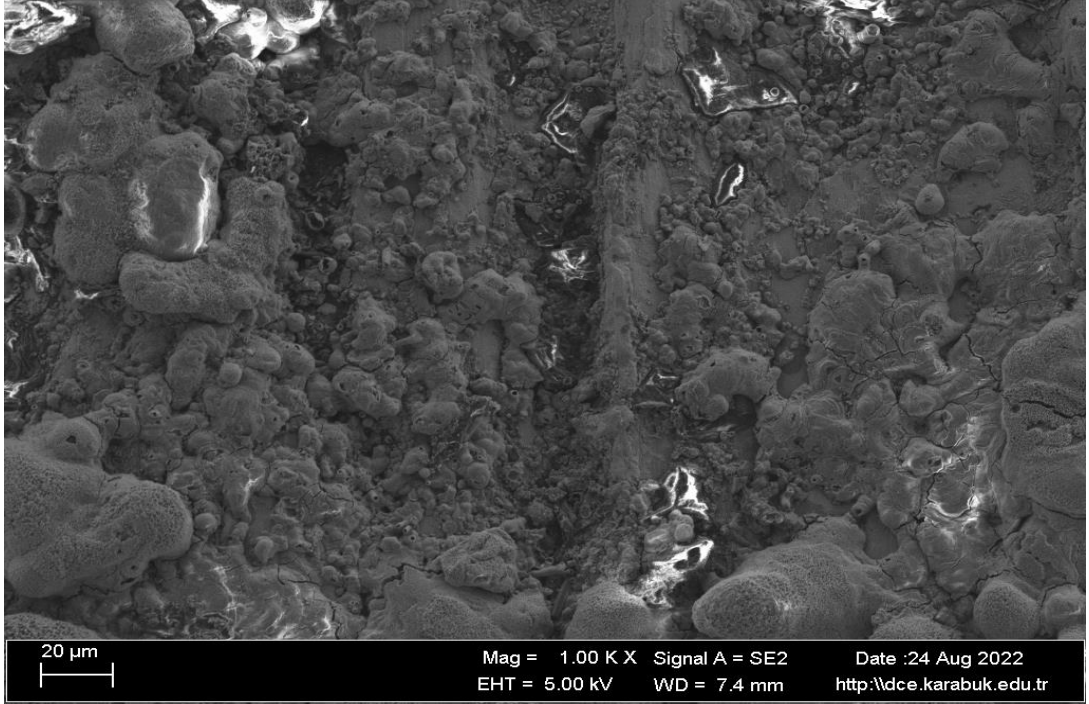
Şekil 5.9. Tekerleklerin aşınma hızı-Sertleştirme süresi grafiği

40 N yük altında aşındırılmış incelenen numunelerin aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri Şekil 5.10 ve Şekil 5.12 aralığında verilmiştir. Şekil 5.10 da verildiği gibi orijinal numune yiv oluşumu, aşırı plastik deformasyonla tabaka kalkması ve çok az miktarda yapışma şeklinde aşınma sergilerken, ısıtılmış tekerlerde yiv oluşumu ve plastik deformasyon azaldığı gözlemlenmiştir. 60 sn su verilmiş tekerde daha düz aşınmış yüzey gözlenirken, 120 sn su verilmiş tekerde çok az plastik deformasyonun gözlemlenmesi, mikroyapısının martenzit oluşumuna doğru kaymasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Uygulanan yük altında sert ve gevrek olan martenzitik yapı aşınma sırasında kırılma ve yiv (Şekil 5.12) oluşumlarına neden olmuştur.



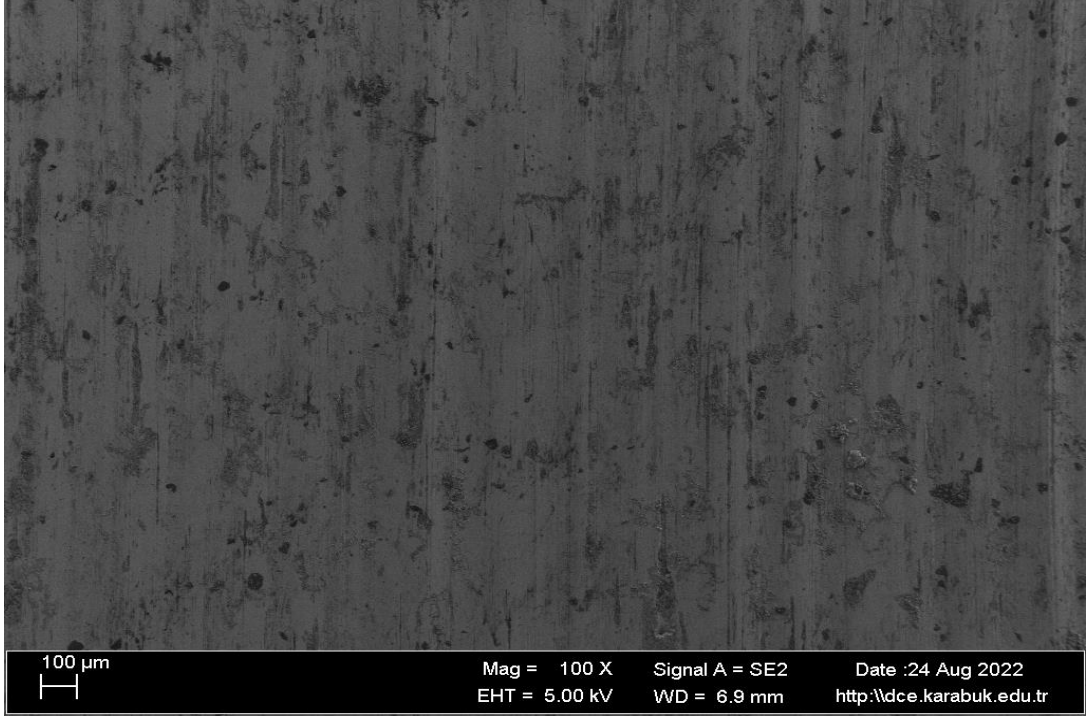


a)

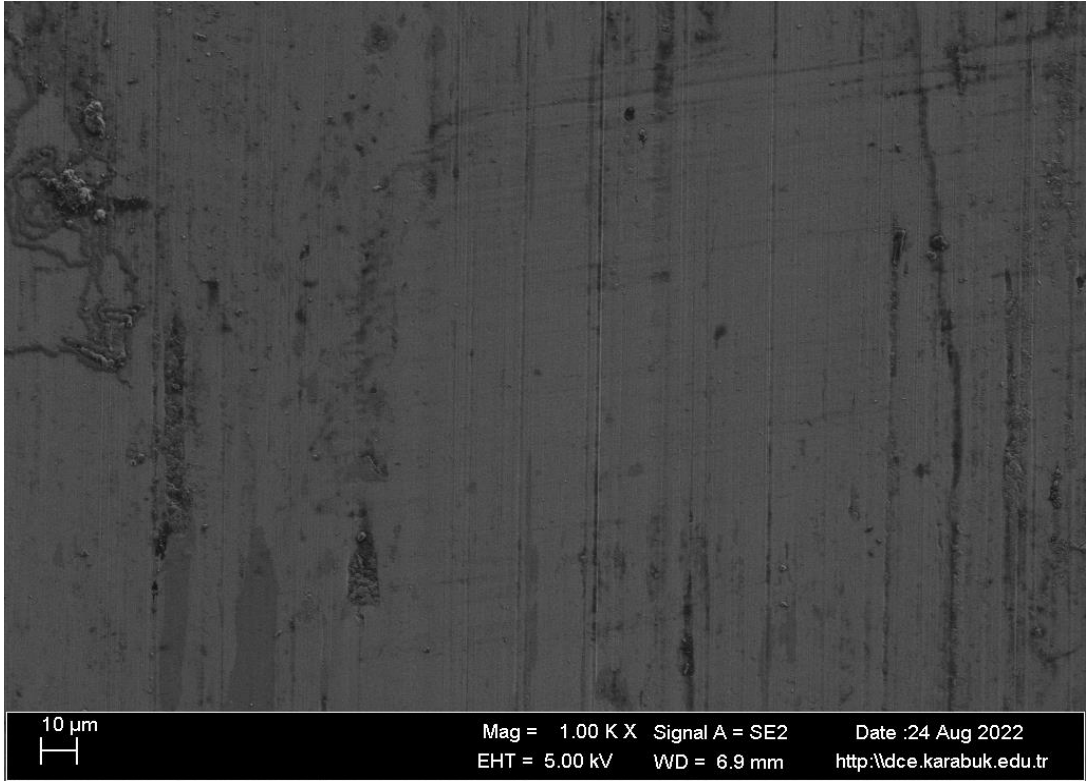


b)

Şekil 5.10. 40 N yük altında aşındırılmış orijinal tekerleğin a)100x b)1000x büyütmedeki yüzey görünümü



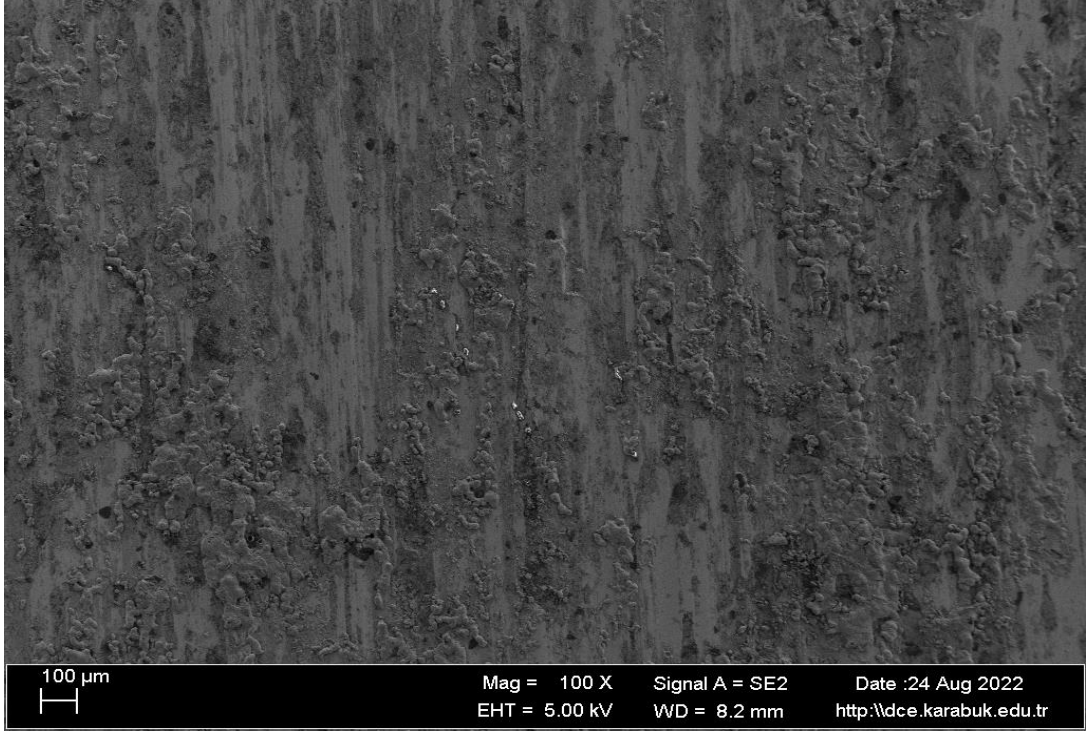
a)



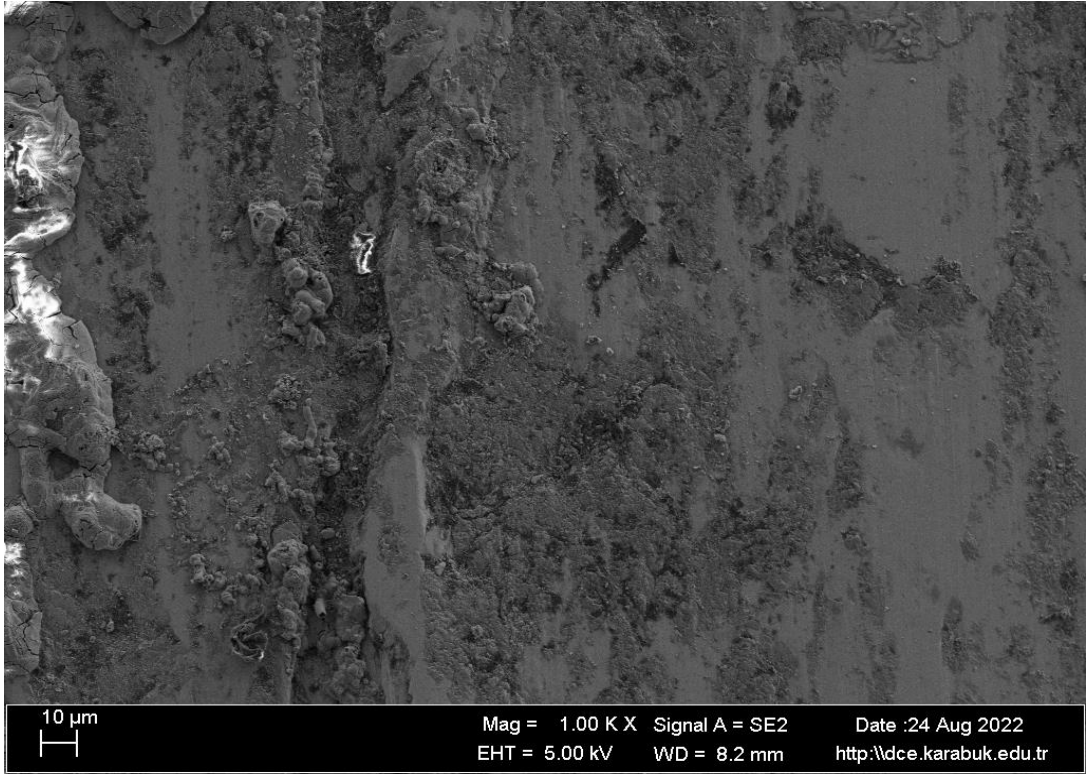
b)

Şekil 5.11. 40 N yük altında aşındırılmış 60 sn sertleştirilmiş tekerleğin a)100x b)1000x büyütmedeki yüzey görünümü





a)



b)

Şekil 5.12. 40 N yük altında aşındırılmış 120 sn sertleştirilmiş tekerleğin a)100x b)1000x büyütmedeki yüzey görünümü

## BÖLÜM 6

### GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada yapılan demiryolu tekerlerinde farklı ısı işlem koşullarının ve yüklerin aşınma miktarına etkilerinin sonuçlarında görülmüştür ki, aşınma hızı su verme süreleri arttıkça azalmıştır.

Mikroyapı incelemelerinde ise, perlitik yapının yanında ince iğnemsî ferrit yapıları ve az miktarda beynitik yapıların oluştuğu görülmüştür.

Bu çalışmada incelenen orijinal tren tekerinin yüzey sertliği 270 HB iken 60 sn su verme süresi ile 320 HB, 120 sn su verme süresi ile 520 HB sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Yüzeyden itibaren içeri bakıldığında orijinal tekerleğin sertliği 230 HB ye ve 60 sn ve 120 sn su verilmiş tekerin sertlikleri sırasıyla 271 ve 316 HB olduğu gözlenmiştir. Yüzey sertliğinin daha yüksek olması yüzeyde oluşan beynit ve iğnemsî ferritin oluşumuna dayandırılabilir.

Aşınma testleri sonucu orijinal tekerleğin aşınma hızı katsayısı 2,4 iken 60 sn ve 120 sn su verilmiş tekerleğin aşınma hızı katsayısı en düşük 0,01 değerine düşmüştür.

Aşınma testleri tamamlanan numunelerin yüzey durumları incelendiğinde temin edilen orijinal numunenin en çok plastik deformasyon abrazif iz oluşumu şeklinde aşınmaya maruz kaldığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Bc. Martin Gorol, "Analýza technologie tváření monobloku železničního kola", Master Degree Thesis, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 8-11 (2010).
2. Tassini, N., Quost, X., Lewis, R., Dwyer-Joyce, R., Ariaudo, C. and Kuka, N., "A numerical model of twin disc test arrangement for the evaluation of railway wheel wear prediction methods", **Wear** **268** 660–667, (2010).
3. Lewis, R., Dwyer-Joyce, R S., Olofsson, U., Pombo, J., Ambrósio, J., Pereira, M., Ariaudo, C., and Kuka, N., "Mapping railway wheel material wear mechanisms and transitions", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit**, Vol. 224, 1-7, (2010).
4. Rezende, A.B., Fonseca, S.T., Fernandes, F.M., Miranda, R.S., Grijalba, F.A.F., Farina, P.F.S. and Mei, P.R., "Wear behavior of bainitic and pearlitic microstructures from microalloyed railway wheel steel" **Wear** **203377**, 456-457, (2020)
5. Olofsson, U. and Telliskivi, T., "Wear, plastic deformation and friction of two rail steels—a full-scale test and a laboratory study", **Wear** **254**, 80–93, (2003)
6. Zhou, Y., Peng, J.F., Wang, W.J., Jin, X.S. and Zhu, M.H., "Slippage effect on Rolling contact wear and damage behavior of pearlitic steels", **Wear** **362-363**, 78–86, (2016)
7. Kardemir AR-GE Müdürlüğü, "AGM/2019/008 "BA004 DEMİRYOLU TEKERLEKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÜRETİMİ" PROJE RAPORU", **Kardemir**, 2-13, (2021)
8. Türk Standartları Enstitüsü, "EN13262 Demiryolu uygulamaları- Tekerlek takımları ve bojiler -Tekerlekler- Mamul özellikleri", **TSE**, 2-16, (2020)
9. Karaaslan, A., "Isıl İşlem Ders Notlar", **Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü**, İstanbul, (2012)
10. Totten, G. E., "Steel heat treatment: Metallurgy and Technologies", Editörleri, Totten, G. E, **Taylor&Francis**, Portland, 278-413, (2007)

## ÖZGEÇMİŞ

Kader ÖZBEY lise öğrenimini Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde öğrenime başlamış olup 2016 yılında mezun oldu. 2017 yılında KARDEMİR Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında Çelik Üretim Müdürlüğü 'ne bağlı olarak İşletme Mühendisi olarak işe başladı. 2018 yılında yine aynı firmada Demiryolu Tekerli Üretim Tesisi Müdürlüğü'nde İşletme Mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı birimde çalışmaya devam etmektedir.