



**PERLİTİK RAYLARIN MANTAR SERTLEŞTİRME  
İŞLEMLERİNDE FARKLI SOĞUTMA  
ORTAMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Muhammed Ali YENİDİNÇ**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

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

**PERLİTİK RAYLARIN MANTAR SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNDE  
FARKLI SOĞUTMA ORTAMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Muhammed Ali YENİDİNÇ**

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

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

**KARABÜK  
Temmuz 2021**

Muhammed Ali YENİDİNÇ tarafından hazırlanan “PERLİTİK RAYLARIN MANTAR SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNDE FARKLI SOĞUTMA ORTAMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

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

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Akif ERDEN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ (KÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Muhammed Ali YENİDİNÇ



## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **PERLİTİK RAYLARIN MANTAR SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNDE FARKLI SOĞUTMA ORTAMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Muhammed Ali YENİDİNÇ**

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

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**Temmuz 2021, 49 sayfa**

Ülkemizde, demiryolu projelerinin artmasıyla birlikte, kullanılan malzemelerde kaliteli ürün ihtiyacı doğmuştur. Bununla birlikte, maliyeti de düşürmek adına mantarı sertleştirilmiş demiryolu raylarının, yerli kaynaklarla geliştirilmesi ve üretilmesi için pek çok proje üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Raylarda kırılma meydana gelmesinin en önemli sebeplerinden bazıları; rayların içyapısı, yüzeyde meydana gelen aşınmalar ve kalıcı bozulmalardır. Meydana gelen bu hasarları en aza indirmek için mantar sertleştirme süreci uygulanmaktadır. Bu uygulama diğer raylara göre, rayın içyapısında ince perlit oluşturarak, daha sert bir yapıyla aşınmayı azaltır. Aşınmaların ve hasarların çoğu ray mantarı üstünde olduğundan dolayı mantar sertleştirme prosesine önem verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan başlangıç malzemesi R260 kalite demiryolu rayıdır. Mantar

sertleştirme işleminde, literatürdeki kaynaklardan yararlanarak optimum östenitleme sıcaklığı olarak 825°C belirlenmiştir. Bu östenitleme sıcaklığında östenitlenen raylar 2 farklı soğutma ortamında farklı sürelerde soğutulmuş olarak mantar sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Soğutma ortamı olarak oda sıcaklığındaki su ve oda sıcaklığındaki Quenchoil MB serisi ısıtma işlem yağı kullanılmıştır. Soğutma işlemi olarak, suda 10 saniye ve tam soğutma, yağda 10 saniye ve tam soğutma ortamı uygulanmıştır. EN 13674 standardında belirtilen değerler incelendiğinde, mikroyapı ve mekanik testler sonucunda optimum soğutma ortamı, numunenin suda 10 saniye süreyle soğutulması işlemi olduğu gözlemlenmiştir.

**AnahtarSözcükler** : Demiryolu Rayı, Mantar Sertleştirme, Mikroyapı, Mekanik Özellik.

**BilimKodu** : 91421

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF DIFFERENT COOLING ENVIRONMENTS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN HEAD HARDENING PROCESS OF PEARLITIC RAILS**

**Muhammed Ali YENİDİNÇ**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Harun ÇUĞ**

**Temmuz 2021, 49 pages**

With the increase in railway projects in our country, the need for quality products has arisen in the materials used. In addition, studies are being carried out on many projects to develop and produce head hardened rails with domestic resources in order to reduce the cost. Some of the most important causes of breakage in the rails; The internal structure of the rails are the abrasions and permanent deteriorations that occur on the surface. In order to minimize these damages, the head hardening process is applied. Compared to other rails, this application creates fine perlite in the inner structure of the rail, reducing wear with a harder structure. Most of the wear and damage is on the rail head, so the head hardening process has been given importance.

The starting material used in this study is R260 quality railway rail. In the head hardening process, 825°C was determined as the optimum austenitizing temperature,

using the resources in the literature. The head hardening process was carried out by cooling the rails austenitized at this austenitizing temperature at different times in 2 different cooling environments. Water at room temperature and Quenchoil MB series heat treatment oil at room temperature were used as cooling medium. As the cooling process, 10 seconds in water and full cooling, 10 seconds in oil and full cooling medium were applied. When the values specified in the EN 13674 standard are examined, it has been observed that the optimum cooling environment is the process of cooling the sample in water for 10 seconds as a result of microstructure and mechanical tests.

**Key Word** : Railroad Track, Head Hardening, Microstructure, Mechanical Properties.

**Science Code** : 91421

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında, araştırma ve yürütme, oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle tezimi bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Harun UĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalıőmamda, desteğini esirgeyemeyen değerli mühendis ağabeyim Abdulrezzak ERDEM'e teşekkürlerimide bildirmek isterim.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
DEMİRYOLUNDA KULLANILAN RAYLAR.....	1
BÖLÜM 2 .....	3
DEMİRYOLU RAY ÜRETİMİ.....	3
2.1 YÜKSEK FIRIN PROSESİ.....	3
2.2. ÇELİKHANE PROSESİ .....	4
2.2.1 Bazık oksijen konverteri.....	4
2.2.2. Pota firini ve vakum altında gaz giderme .....	6
2.2.3. Ray çeliğinin tavlama.....	6
2.2.4. Ray çeliğinin kalitesinin geliştirilmesi .....	7
2.2.5. Ray çeliğinin haddelenmesi.....	7
BÖLÜM 3 .....	9
RAY SINIFLARINA GÖRE ÖZELLİKLERİ.....	9
3.1 RAY SINIFLARINA GÖRE ÖZELLİKLERİ.....	9
3.1.1 Doğal sert raylar .....	9
3.1.2.Termal olarak işlem gören raylar.....	10
3.1.3 Yüksek alaşimli raylar .....	11

## **Sayfa**

3.1.4. Beynitik raylar .....	11
3.1.5 Korozyona dirençli raylar .....	12
<b>BÖLÜM 4 .....</b>	<b>13</b>
<b>MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİNİN GEREKLİLİĞİ.....</b>	<b>13</b>
4.1. MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİNİN GEREKLİLİĞİ .....	13
4.2. RAYLARA UYGULANACAK ISIL İŞLEM .....	16
4.3. RAYLARA SU VERİLMESİ VE SONUÇLARI.....	16
4.4. MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİ ÖZELLİKLERİ.....	19
<b>BÖLÜM 5 .....</b>	<b>20</b>
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR ÇALIŞMA VE METHOD.....</b>	<b>20</b>
5.1 RAY NUMUNELERİN UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	20
5.2. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ .....	21
5.3. RAY NUMUNELERİNİN MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	22
5.4. BASMA DENEYİ.....	23
<b>BÖLÜM 6 .....</b>	<b>24</b>
<b>DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>24</b>
6.1. ISIL İŞLEMLER .....	24
6.2. MANTAR KESİTİNE UYGULANAN SERTLİK ÖLÇÜMLERİ .....	24
6.3. RAY NUMUNELERİNİN MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	28
6.4. RAY NUMUNELERİNE UYGULANAN BASMA DENEYİ.....	38
<b>BÖLÜM 7 .....</b>	<b>41</b>
<b>SONUÇLAR.....</b>	<b>41</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>43</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>47</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Yüksek fırın tepkimeleri .....	4
Şekil 2.2. Bazik oksijen fırını ve ekipmanları.....	5
Şekil 2.3. Ray haddehanesi merdane pasoları .....	8
Şekil 2.4. Ray doğrultma ünitesi. ....	8
Şekil 3.1. Isıl işleme sertleştirilmiş rayların çekme diyagramları.....	10
Şekil 4.1. Sertlik değeri ve aşınma davranışı ilişkisi.....	14
Şekil 4.2. Farklı kalitedeki rayların aşınma davranışları.....	15
Şekil 4.3. Ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm diyagramı. ....	17
Şekil 4.4. Perlitik yapıda lameller arası mesafe – akma mukavemeti ilişkisi. ....	17
Şekil 4.5. Dönüşüm sıcaklığı-mekanik özellik ilişkisi.....	18
Şekil 5.1. Isıl işlen fırını.....	21
Şekil 5.2. Sertlik taraması yapılan bölgeler. ....	21
Şekil 5.3. QNESS marka sertlik cihazı. ....	22
Şekil 5.4. Nikon Eclipse MA 200 model optik mikroskop. ....	22
Şekil 5.5. Zwick/Roell Z600 Basma test cihazı. ....	25
Şekil 6.1. TS EN 13674 standardına göre sertlik ölçümü yapılan bölgeler .....	24
Şekil 6.2. Suda 10sn soğutulan numunelerin sertlik grafikleri. ....	25
Şekil 6.3. Suda tam soğutulan numunelerin sertlik grafikleri.....	25
Şekil 6.4. Yağda 10sn soğutma uygulanan numunelerin sertlik grafikleri. ....	26
Şekil 6.5. Yağda tam soğutma uygulanan numunelerin sertlik grafikleri.....	26
Şekil 6.6. Suda 10sn ve tam soğutma uygulanan numunelerin sertlik değerleri.....	27
Şekil 6.7. Yağda 10sn ve tam soğutma uygulanan numunelerin sertlik değerleri. ..	27



## **Sayfa**

Şekil 6.8. R260 rayın 200x ve 500x büyütmede mikroyapı görüntüleri.....	28
Şekil 6.9. Mikroyapı görüntülerinin yapıldığı bölgelerin harflendirilmesi.....	28
Şekil 6.10. 10sn suda soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	29
Şekil 6.11. 10sn suda soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	30
Şekil 6.12. Suda tam soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	31
Şekil 6.13. Suda tam soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	32
Şekil 6.14. 10sn yağda soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	33
Şekil 6.15. 10sn yağda soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	34
Şekil 6.16. Yağda tam soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	35
Şekil 6.17. Yağda tam soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.....	36
Şekil 6.18. Suda 10 saniye süreyle soğutulan numunenin SEM görüntüsü.....	37
Şekil 6.19. Suda tam soğutma uygulanan numunenin SEM görüntüsü.....	38
Şekil 6.20. Yağda 10 saniye süreyle soğutulan numunenin SEM görüntüsü.....	38
Şekil 6.21. Yağda tam soğutma uygulanan numunenin SEM görüntüsü.....	39
Şekil 6.22. Suda 10sn soğutulan numunenin basma grafiği.....	40
Şekil 6.23. Suda tam soğutulan numunenin basma grafiği.....	40
Şekil 6.24. Yağda 10sn soğutulan numunenin basma grafiği.....	41
Şekil 6.25. Yağda tam soğutulan numunenin basma grafiği.....	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 1.1. Ray sınıflarının sertlik değerleri ve tanımları .....	2
Çizelge 1.2. Rayların çeşitli kimyasal kompozisyonları .....	2
Çizelge 2.1. TCDD için ray çeliğinin kimyasal kompozisyonları .....	6
Çizelge 3.1. Farklı kalite rayların çekme mukavemeti ve kimyasal bileşimleri .....	10
Çizelge 3.2. Beynitik rayların mekanik özellikleri .....	11
Çizelge 4.1. TCDD hatlarındaki kurp yarıçapları. ....	14
Çizelge 4.2. Perlitik ve beynitik rayların mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 4.3. Ray çeliğinin mikroyapısına soğuma hızının etkisi .....	16
Çizelge 4.4. Farklı ray tiplerinin karşılaştırılması.....	18

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Al : Alüminyum

O<sub>2</sub> : Oksijen

Cu : Bakır

H<sub>2</sub> : Hidrojen

He : Helyum

Mo : Molibden

Ni : Nikel

HB : Brinel Sertlik Birimi

C : Karbon

TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

## **KISALTMALAR**

ASTM: American Society for Testing and Materials(Amerikan Test ve Malzeme Kurumu)

DIN : Deutch Industrie Normen(Alman Endüstri Normları)

IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)

TS : Türk Standardı

## BÖLÜM 1

### DEMİRYOLUNDA KULLANILAN RAYLAR

Ülkenin standartlarına nazaran veya demiryolu üstünde değişen şartlara göre demiryolu hatları bulunduğu ortam koşul ve koşullara göre kimyasal kompozisyonu farklı sınıflarda raylar kullanılmaktadır. Seçim yapılırken hassas olarak dikkat edilmesi gereken koşullar korozyon, virajların eğrilik yarıçapı (kurp çapı), çevresel etmenler (aşırı sıcak ya da soğuk gibi) demiryolunun eğimi veya üstünde çalışan trenin vasfı gibi hattın kendisinden kaynaklanmış etmenler ve ekonomik ölçütler büyük oranda etkin olmaktadır. Hatlarda kullanılan rayların sınıflandırılması aşağıda verilmiştir;

- R200, R220 sınıfı raylar; tane sınırlarında ferrit bulunan, beynit, martenzit, veya sementite müsaade edilmeyen, perlitik mikro yapıdaki raylardır.
- R260, R260Mn sınıfı raylarda; beynit, martenzit, veya tane sınırlarında sementite izin verilmeyen perlitik mikro yapıya sahip raylardır. Tane sınırlarında izin verilen ferrit miktarı Şekil 2.1’de görülmektedir.
- R320Cr raylar; tümüyle perlitik yapıya sahiptirler.
- R350HT, R350LHT sınıfı raylar; perlitik mikro söz konusudur ve tane sınırlarında müsaade edilen ferrit miktarı Şekil 2.1’de görülmektedir, martenzit, beynit veya tane sınırlarında sementite izin verilmez [8].

Rayların sınıflarına göre kimyasal kompozisyonları mantar üstü sertlikleri, mantar kesitindeki sertlik aralıkları ve haliyle diğer tüm mekanik özellikleri değişiklik göstermektedir.

Çizelge 1.1’de de rayların kodlarına göre sağlamaları gereken sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Ray sınıflarının sertlik değerleri ve tanımları[8].

Ray Sınıfı	Sertlik Değeri (HB)	Rayın Tanımı
R200	200-240	C-Mn/Isıl işlemsiz
R220	220-260	C-Mn/Isıl işlemsiz
R260	260-300	C-Mn/Isıl işlemsiz
R350HT	359-390	C-Mn/Isıl işlemlili

R350HT kalitesine sahip rayların elde edilme yöntemi ısıl işlem uygulamasıdır. Bu yüzden R350HT harici ray malzemeleri mantar üstü sertlik değerini elde etmelidirler. Bu çeşitlilikteki ray numuneleri haricindeki raylar haddelendikten sonra başka işleme tabi tutulmazlar.

Sertlik değişimleri çekme mukavemetinide etkiler. Bu değişimlerin bazıları kimyasal bileşiminden, bazıları ısıl işlemlerden kaynaklanır.

Aşağıda, rayların çeşitli kimyasal kompozisyonları ve çekme değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Ray çeşitlerinin kimyasal kompozisyonları[8].

Ray Sınıfı	%							R <sub>m</sub>	
	C	Si	Mn	P (max)	Cr	Al Max.	V Max.	H	(MPa)
R200	0,38-0,62	0,13-0,60	0,65-1,25	0,040	0,15 max.	0,004	0,030	3,0	680
R220	0,50-0,60	0,20-0,60	1,0-1,25	0,025	0,15 max.	0,004	0,030	3,0	770
R260	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,030	0,15 max.	0,004	0,030	2,5	880
R350HT	0,70-0,80	0,13-0,60	0,65-1,25	0,025	0,15 max.	0,004	0,030	2,5	1175

## **BÖLÜM 2**

### **DEMİRYOLU RAY ÜRETİMİ**

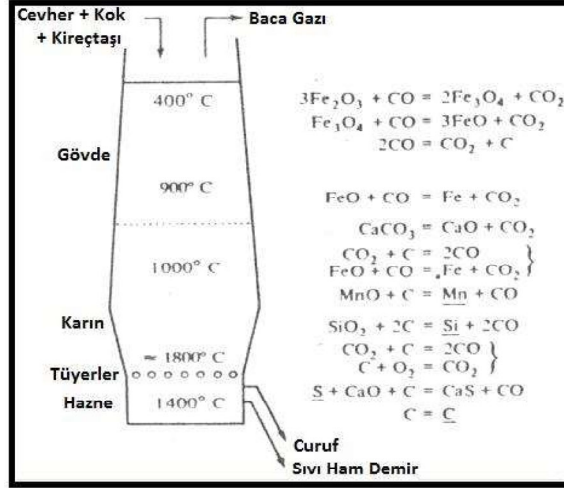
Ray çeliği üretiminde bazik Bessemer, asidik Bessemer, elektrik fırını ve Siemens-Martin fırınları kullanılmaktaydı. Oksijen üfleli üretim 1945-1965 yıllarında kullanılmaya başlandı. 1967 yılında ise OBM metodu kullanılmaya başlandı.

Ülkemizde ray çeliği BOF yöntemi ile üretilmektedir. Bu üretimin ana kademeleri şu şekildedir; Yüksek fırınlar, çelikhane prosesi ve haddehane prosesi.

#### **2.1. YÜKSEK FIRIN PROSESİ**

Yüksek fırın prosesinden sıvı ham demir eldesini incelediğimizde genellikle; kok, demir cevheri, curuf yapıcı katkıları, şarj malzemeleri olarak öne çıkar. Yüksek fırın şartlarına elverişli kimyasal ve fiziksel özellikleri taşıyan yakıt olan kok kömürü, taş kömürünün, kok fırınlarında uçucu maddelerden temizlenmesi sonucu oluşur. Demir cevheri, sinter veya pelet olarak yüksek fırına şarj edilen, demir oranınca zengin hammaddedir. Curuf yapıcı olarak genellikle kireç taşı kullanılmaktadır. Şarj içerisinde bulunan kirletici malzemeleri curuf fazından toplaması amacıyla fırın içerisine şarj edilir [10].

Şekil 2.1’de Yanma oluşması için kok kömüründe fırına sürekli üfleme borularından 1050<sup>0</sup>C sıcaklığında hararet verilir [11].



Şekil 2.1. Yüksek fırın tepkimesi[11].

Yüksek fırın devamlı çalışmakta olan bir sistem olduğundan dolayı, daima şarj edilir. Hammaddeler yüklendikten sonra, hazne kısmında biriken sıvı ham demir ve curuf alınır [10].

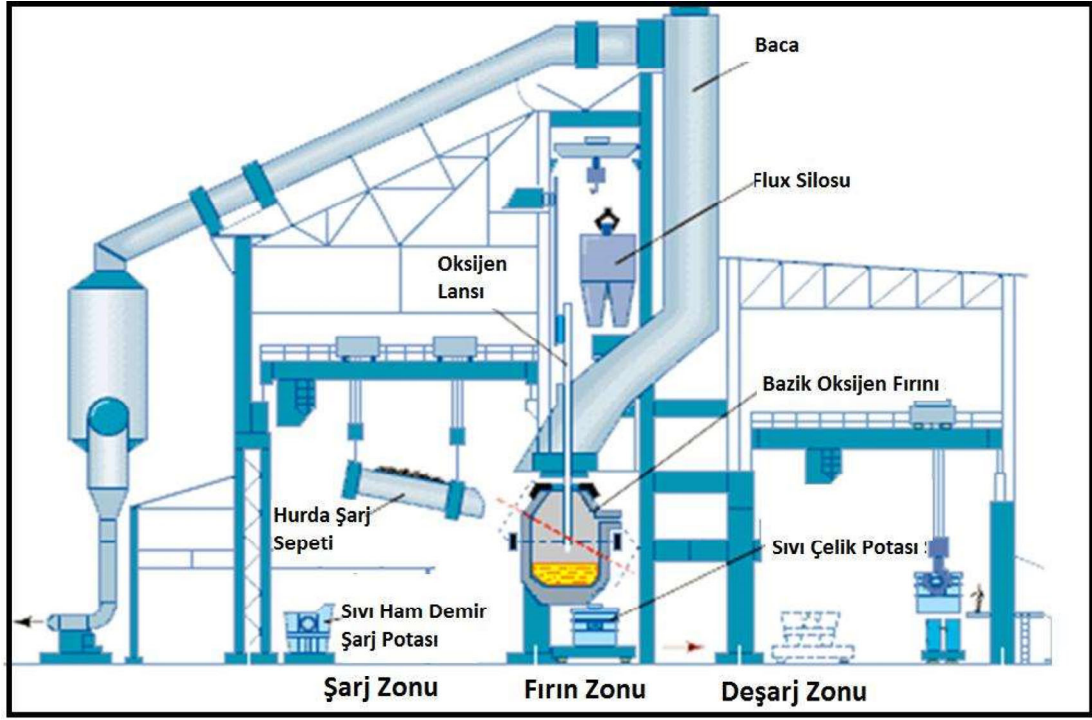
## 2.2. ÇELİKHANE PROSESLERİ

Çelikhanede fırından alınan ham demir ray çeliği için istenen kimyasal bileşimine kavuşur. Bu işlemler için ilk sıvı ham demir sıvı çelik haline gelmeli ayrıca beklenen kimyasal bileşime kavuşmalıdır.

### 2.2.1. Bazik Oksijen Konverteri

(BOF) olarak bilinen yöntem çelik üretiminde ciddi yere sahiptir. Modern bir fırın bir seferde yaklaşık 150-350 ton civarında malzeme alabilir ve bunu 35-40 dakikada çelik bileşimine getirebilmektedir. Buraya gelecek kirletici element miktarı da fazladır. Bu dezavantaj için sıvı haldeki ham demir, BOF’a gelmeden, kükürt giderme işlemine tabii tutulur [10].





Şekil 2.2. BOF ve ekipmanları[10].

Yükleme yapılan sıvı ham demir ve hurda üzerine lanslar denilen ekipman yardımıyla saf oksijen üflenir. Ayrıca oksijen üflemesi yapılırken akışkanlığın artması için ve curuf oluşumunu sağlamak için kireç ilave edilir. Bu sayede istenmeyen elementler oksitlenir ve curuf fazını oluştururlar. Düşük yoğunluklarından dolayı sıvı ham demirinin üzerinde birikirler. Bu aşamalardan sonra kimyasal bileşimi incelenmiş sıvı çelik, uygun bulunduğu takdirde, döküm deliğinden çelik potasına alınarak pota ocağına gönderimi sağlanır. Curuf ise BOF'un ağzından curuf potasına alınır. Kömür ilavesi , %C miktarını belirlerken, alüminyum sıvı çelikte içerisinde kalan oksijeni tutarak mukavemetinin düşmesini önler. Burada önemli olan oksijen üflemesidir. Çünkü az üflendiği takdirde sıvı çelik yeterince temizlenemez ve bu yüzden istediğimiz kimyasal bileşimi yakalayamayız. Üfleme fazla olduğunda sıvı çelik fazla oksijene maruz kalır ve deoksidasyon için çokca alüminyum kullanılacaktır. Alüminyumun fazla kullanılması da sürekli döküm işleminde sorun teşkil edecektir[10].

### 2.2.2. Pota Fırını ve Vakum Altında Gaz Giderme

Pota fırını sıvı çeliğin istenildiği şekle ulaştığı yerdir. Bu aşamada malzeme üzerinde oluşturulan bir curuf tabakası vardır. Oluşan tabakanın üstünden ark yardımı ile ısıtılıp, aynı zamanda potanın alt kısmından argon gazı ilave edilerek karışım işlemi sağlanır. Bu arada da alaşım için gerekli ilaveler yapılır. Pota, bu sayede döküm için uygun sıcaklığa getirilmiş olacaktır. [10].

Sıvı çelik içerisinde çözünen gazlar vakumla atılır. Bu aşama sıvı çelik içerisindeki oksijeni tamamen yok etmeye çalışırken, içerisindeki hidrojeni 2 ppm'in altına çeker. Hidrojen miktarının bu seviyede olması, malzemede gaz boşlukları oluşturmadığından mukavemeti de artmış olacaktır.

Çizelge 2.1. TCDD için ray çeliğinin kimyasal kompozisyonları[12].

Ray Tipi	TCDD Şartnameleri/ Ağırlık %				
	c	Si	Mn	P (max.)	S
R260	0,70-0,80	0,20-0,60	0,95-1,25	0,030	0,008-0,030
R350HT	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,025	0,008-0,030

### 2.2.3. Ray Çeliğinin Tavlama

Blumlar uygun haldeki kimyasal bileşimde, yarı mamul olarak, kesiti 260 x 360 mm olacak şekilde çelikhaneden alınır ve tav fırınlarında, tüm parça östenit bölgesine ulaşana dek ısıtılır. Tav fırınına soğuk olarak şarj edilen blumlar, fırında ilerleme kat ettikçe 1250<sup>0</sup>C sıcaklığa ulaşabilirler. [22].

Ray çeliğinin çok fazla karbon içermesinden dolayı, tavlama sırasında, oksijen ve yakıt oranı, fırın ısısı, tavlamanın süresi devamlı olarak kontrol edilmelidir. Bu kontroller homojen tavlama için de oldukça önemlidir. Kontroller sayesinde, oluşabilecek dekarbürizasyon, oksidasyon, aşırı ısınmadan dolayı yanmaların da önüne geçebiliriz.

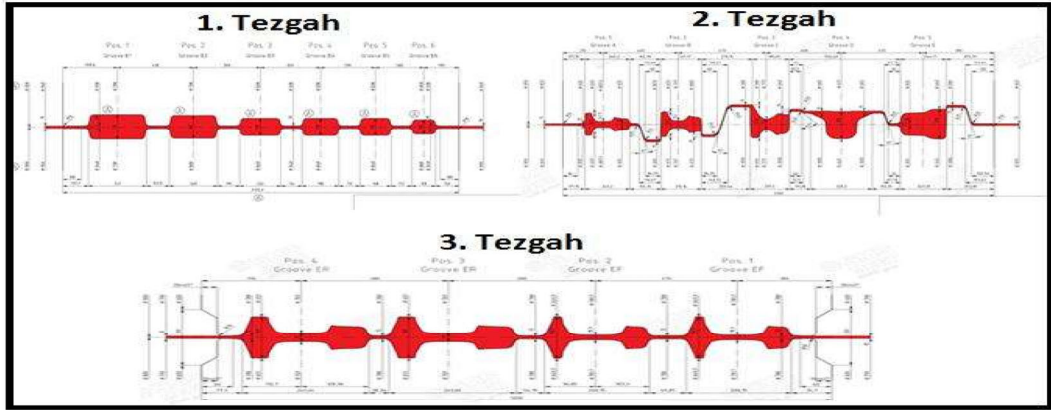
#### **2.2.4. Ray Çeliğinin Kalitesinin Geliştirilmesi**

Ray üretiminde uygulanabilecek çeşitli yöntemler vardır:

1. Karbon içeriğini artırmak; karbon içeriğindeki artış; çekme mukavemetinde, sertlikte ve akma noktasında artış, süneklikte azalmayla sonuçlanır.
2. Alaşım elementleri ilave etmek; ray çeliği üretiminde kullanılan başlıca alaşım elementleri; mangan, silisyum, nikel, krom, molibden ve vanadyumdur.
3. Isıl işlem; perlitik çeliklerde  $Fe_3C$  sert ve kırılğan bir yapıdır. Sementitin miktar, boyut ve şeklinin kontrolü ile çeliğin özellikleri kontrol edilebilir.
4. İnküzyonları azaltarak metalürjik temizliği geliştirmek; metalürjik temizlik, özellikle oksit ve sülfür olmak üzere içerdikleri kimyasal analizle ifade edilir.
5. Sertleştirme; sertleştirme, mantar sertleştirme işlemi ile yapılır. Sertlik ne kadar yüksekse aşınma o kadar azdır [13].

#### **2.2.5. Ray Çeliğinin Haddelenmesi**

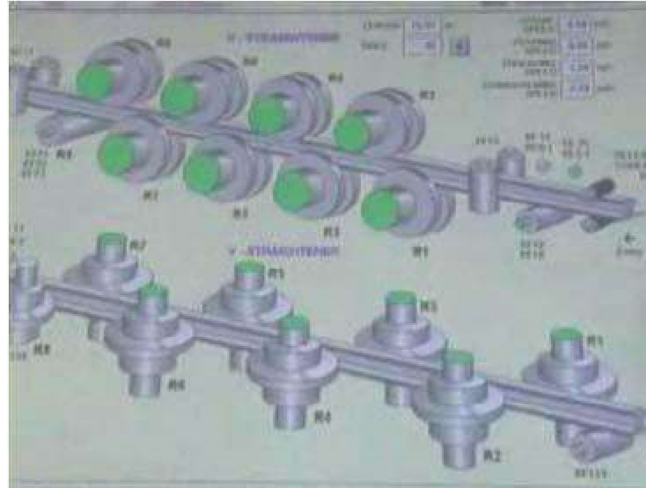
Östenitlenen yarı mamül ray çelikleri üç ayrı istasyonda haddelenirler. Fırından çıkmış malzeme Şekil 2.3'de görüldüğü üzere, toplamda 10 pasoda şekle gelir. Hadde tezgahlarına girmeden önce östenitlenmiş blumlar, yüksek düzeyde basınçlı suyla temizlenir, daha sonra üstünde oluşan tufal alınır, tufal temizlenmediği takdirde, haddeleme işleminden sonra malzemedede iz oluşur. Şeklini almış malzeme daha sonra soğuma ızgarasına alınır. Burada raylar kesit farklılıklarından dolayı çarpılmaktadır.



Şekil 2.3. Ray haddehanesi merdaneleri ve pasoları[13].

Sıcak rayların ortadan itilmesiyle, çarpılma kontrol altında tutulur ve doğrultmada giderilmesi sağlanır. Muhafaza altına alınan ızgara, alt kısmına konulan fanlar yardımıyla

Soğumanın kontrollü yapılması sağlanmaktadır. Kontrollü soğumadan sonra doğrultma aşamasına gönderilen rayların, düz halini alması sağlanır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, raylar istenilen formda metal tekerler arasından geçirilir ve çarpık haldeki durumları giderilir[22].



Şekil 2.4. Ray doğrultma ünitesi[22].

## BÖLÜM 3

### RAYLARIN SINIFLARINA GÖRE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. RAYLARIN SINIFLARINA GÖRE ÖZELLİKLERİ

Raylar, yük taşımacılığı, yolcu taşımacılığı gibi farklı ağırlık ve hız parametrelerine göre sınıflandırılabilir ve rayların bu hız ve yük değişimlerine karşı farklı özellikler sergilediğini söyleyebiliriz. Bu farklı özelliklere, rayların maliyet hesaplamalarını da katarak ilgili demiryolu hatlarında, en elverişli değerleri bize sağlayan rayların seçilmesi önemlidir.

##### 3.1.1. Doğal Sert Raylar

Genellikle ham sertliklerinde teslim edilen rayların, haddeleme, doğrultma ve soğutma işlemleri sırasında elde ettiği mekanik değerler de bu ürünün beklenen özellikleridir.

Bu raylar perlitik raylardır ve kristalleşme durumuna göre adlandırılır. Mesela R260 kalite raylar, düz yolda, yüz metrede bir ortalama 0,69-1,1 mm ve 610 m yarıçapındaki kurplarda 3-4 mm aşınma değeri gösterir.

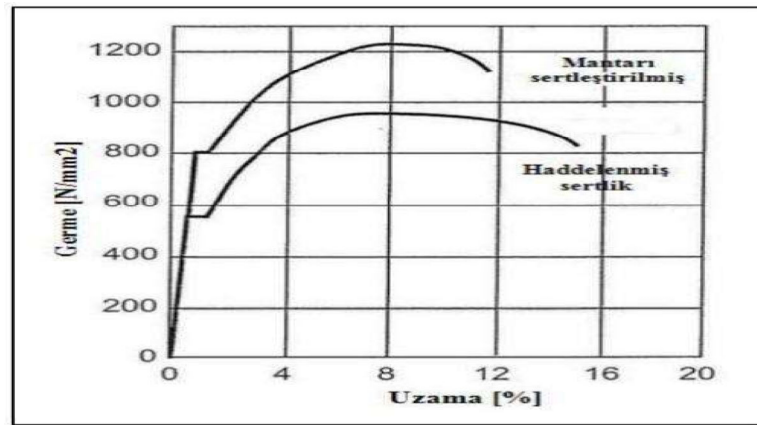
200 N/mm<sup>2</sup> ile sağlanan çekme mukavemeti artışı, verilen aşınma oranlarının yarısına tekabül eder ve ısıl işlemle elde edilmektedir. Farklı kalitede ki doğal sert rayları Çizelge 3.1' de görebiliriz[21].

Çizelge 3.1. Farklı kalite rayların çekme mukavemetleri ve kimyasal bileşimleri[20].

Kalite	Freze Son Katı	Gösterim	Kimyasal Bileşim (%)					R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
			C	Si	Mn	Cr	V	
700	“doğal sertlik”	Standart kalite	0,5	0,2	1	-	-	680
900 A	“doğal sertlik”	Aşınma direnci kalitesi	0,7	0,3	1	-	-	860
1100	“doğal sertlik”	Yüksek aşınma direnci kalitesi	0,72	0,6	1,1	0,9	0,1	1080
1200	“doğal sertlik”		0,77	1	1,1	0,9	0,15	1180
1200 HH	“doğal sertlik”		0,77	0,3	0,9	0,1	-	1175
1400	“doğal sertlik”	(beynitik)	0,3	1,8	2	2-3		1400

### 3.1.2. Termal İşlem Gören Raylar

Isıl işlem ile mekanik özelliklerinin yetersiz kaldığı doğal raylarda iyileştirmeler yapılmaktadır. Mantar sertleştirme işlemi bu işlemlerin en başında gelir. Demiryollarında tren tekerleklerinin en çok temasta bulunduğu rayların mantarları, en çok zorlamaya, daha çabuk aşınmaya ve hasara maruz kalır. Bundan dolayı bu bölgedeki perlit yapısı daha sıkı hale getirilerek, maruz kaldığı aşınmalara ve yorulmalara karşı mukavemeti artırılır[20].



Şekil 3.1. Isıl işlemle sertleştirilmiş ve doğal sertlikteki rayların çekme diyagramları[13].

Şekil 3.1’da da görüldüğü gibi, östenit halde bulunan raya soğutma şartlarında yapılan ayarlamalarla, rayın mekanik özelliklerinde farklı değişiklikler yapılabilir. Uygulanan ısıtma işlemi, kimyasal kompozisyonu aynı olan ama farklı mekanik özelliklere sahip raylar oluşturmaktadır.

### 3.1.3. Yüksek Alaşımli Raylar

Amaçlanan hedef malzemede yüksek çekme mukavemetidir. Çekme dayanımları  $1290 \text{ N/mm}^2$ ’ye kadar ulaşır. Bu değerler, perlitin büyüme oranının kontrol edilmesiyle, perlit lamellerinin arasındaki mesafenin düşük olmasından kaynaklanır[13]. Bu özellikteki rayların, kaynak hassasiyetinin artması dezavantajı olarak bilinir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmayı, mobil parlak uçlu kaynak makinesinin, yüksek alaşımli raylar için uygun soğuma ortamını sağlayarak giderebiliriz.

### 3.1.4. Beynitik Raylar

Beynit; martensit, karpit veya sonraki aşama olarak tortu östenit içeren, güçlü bir şekilde gerdirilmiş ferritten oluşan yapıdır. Bu raylardan da viskozite kaybı olmadan, yüksek mekanik mukavemet değerleri beklenir. Yeterli düzeyde su verme işlemi içeren geliştirme prosesi vardır. Mikro yapı, tabakalar halinde oluşmamış topaklanmış sementit ve plaka şeklinde ferritten oluşur.

Çizelge 3.2. Beynitik rayların mekanik özellikleri[13].

Mikroyapı	R <sub>m</sub> (MPa)	% A	K <sub>İC</sub> (MPa m <sup>1/2</sup> )	U çentikli Charpy (J, 20 <sup>0</sup> C)	Yorulma Dayanımı (MPa)	Aşınma (gr/saat)
Beynitik	1400	13,5	98	39	870	0,77

### **3.1.5. Korozyona Dirençli Raylar**

Yüzeylerinde yapışkan bir oksit filmine sahip üretilen bu raylar krom , silisyum, bakır ve alüminyum elementlerinin katkısıyla olmuştur. Korozyon direncinin olması, yüzey ile ortamın temasını kesen bu yapışkan film ile olmaktadır. Korozyona dirençli rayların mekanik özelliklerinde krom ile, uygun bir şekilde iyileştirme yapılabilir[20].



## BÖLÜM 4

### MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİNİN GEREKLİLİĞİ

#### 4.1. MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİNİN GEREKLİLİĞİ

Demiryollarında yaygın şekilde kullanılan R260 rayların, yorulma ve aşınmalara karşı yeteri kadar dayanıklı olmaması, mantarı sertleştirilmiş rayların son 10-12 yıldır demiryollarında önemli bir yer edinmesine olanak sağlamıştır.

Kaba perlitik yapıdaki mikroyapısı ve mantar üstünde 260 HB sertlik değerine sahip R260 kalite rayların, bu değerlerinin kurplarda ve hızlı tren uygulamalarında aşınmasına ve daha çabuk bir şekilde hasar görmesine neden olmaktadır. Ray çeliklerinin yapısında kaba taneli perlitik yapı değil, sıkı dizili perlitik iç yapı önerilmiştir.

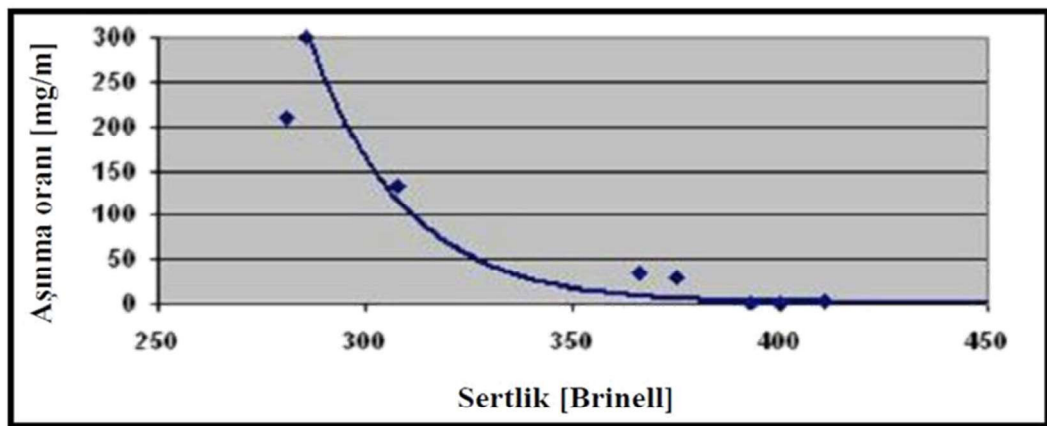
Şu anda R260 kalite raylara ısıtma işlemi uygulanarak üretilen R350HT kalite raylar kullanılır. Bu kalitede ki rayların kullanılmasının nedeni, perlit lamelleri arasındaki mesafenin darlığı ve daha sıkı olmasından dolayı mantar üstü sertliğinin yaklaşık 350 HB değerine ulaşmasıdır[1].

Kurplar, yarıçapı 2000m'den az ise dar yarıçaplı kurp olarak adlandırılır. Dar yarıçaplı kurplarda iç tarafta kalan raylar, aşırı sürtünmeden kaynaklı olarak daha kısa sürede aşınır ve rayların ömürleri düşmektedir[4]. Çizelge 4.1'de görebileceğimiz üzere, ülkemiz demiryollarının %34,2'si, dar yarıçaplı kurplardan oluşmaktadır.

Çizelge 4.1. TCDD hatlarındaki kurp yarıçapları[4].

Kurp Yarıçapı (m)	Adet	Uzunluk (km)	Tüm Hat Uzunluğuna Oranı (%)
200-500	6090	1574	18,1
501-1000	2963	1025	11,8
1001-1500	456	177	2,0
1501-2000	440	189	2,2
2000'den yüksek	342	117	1,3
Düz yol		5604	64,5
Toplam	10291	8686	100

R260 ve R350 HT kalite rayların, 400m yarıçaplı kurpta, üzerlerinden geçirilen yüklerle aşınmaları araştırmacılar tarafından incelenmiş ve R260 kalite rayların 15-30 mm'ye varan aşınmasına karşılık, R350HT kalite rayların 2-3mm'ye kadar aşındığı görülmüş, daha büyük yarıçaplı raylarda ise aşınma oranlarının hemen hemen birbirine yakın sonuçlar çıktığı görülmüştür. Farklı koşullardaki bu davranışların sonucunda da görüldüğü üzere R350HT rayların düşük yarıçaplı kurplarda kullanılması hem güvenilir olduğu, hem de az aşınmayla birlikte oluşan maliyetinin daha uygun olduğu saptanmıştır[1]. Uluslararası Demiryolları Birliği'nin talimatıyla, 400metre yarıçaptan daha az olan kurplarda mantarı sertleştirilmiş ray kullanılması zorunlu tutulmuş, 400-700 metre yarıçaplı kurplarda ise seçim tercihe bırakılmıştır.



Şekil 4.1. Aşınma davranışının sertlik değeriyle ilişkisi[30].

Aşınma mukavetinde açıkça sertlik değerlerindeki artış görülmektedir. Özellikle 280-340 HB aralığında sertlik artışı, aşınmayı hemen hemen 3 kat azaltmıştır. Raylardaki mukavemet

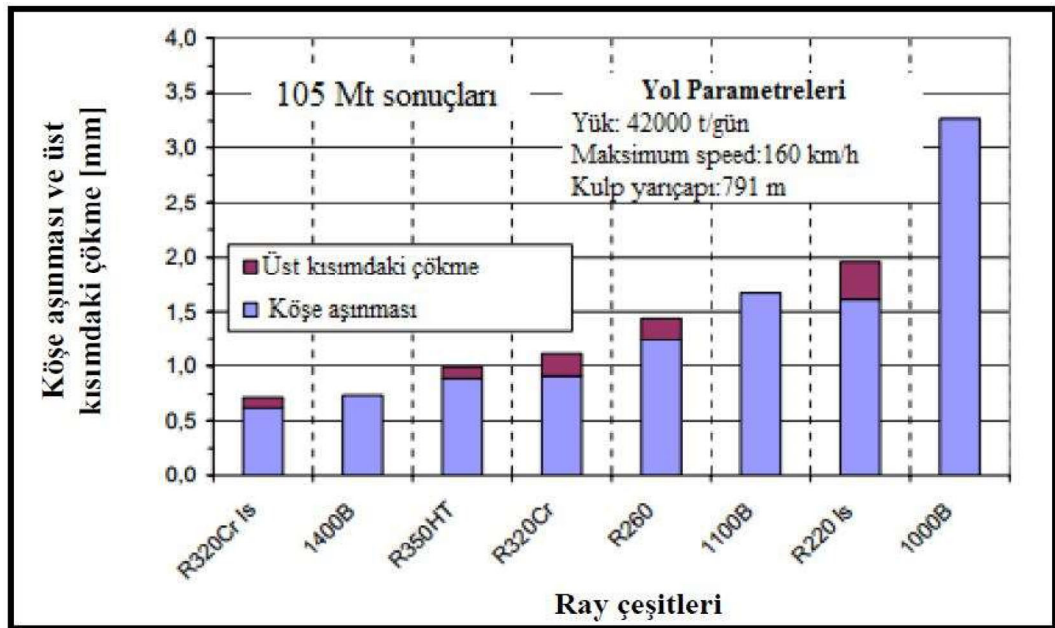
değerinin üzerine içyapının vermiş olduğu etki önemli bir husustur. Rayın içyapısı, raylardaki hasarın en önemli noktasıdır.

Çizelge 4.2. Mekanik özellikleri verilen perlitik ve beynitik raylar[20].

Rayın İçyapısı	R <sub>m</sub> (MPa)	A (%)	K <sub>ic</sub> (Mpa m <sup>1/2</sup> )	U Çentikli Charpy (J, 20 <sup>0</sup> C)	Yorulma Dayancı (MPa)	Aşınma (gr/saat)
Perlitik	1300	13,5	43	20	750	0,76
Beynitik	1400	13,5	98	39	870	0,77

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere, iki yapı arasında aşınma özellikleri konusunda fark yok denecek kadar az hatta yorulma direnci ve tokluk noktasında beynitik rayların daha mukavemetli olduğu açık lakin, beynitik yapıyı elde etmek perlitik yapıya göre daha masraflıdır[13].

Şekil 4.2’de, farklı kalitedeki rayların günlük 42000 ton yük altında, 791m kurp yarıçapında, üst kısımdaki çökme ve köşe aşınması değerleri gösterilmiştir. R250HT rayın üst kısım çökmesi yaklaşık 0,1mm ve köşe aşınması 1mm iken, R260 rayın köşe aşınması 1,5 mm, üst kısım çökme miktarı yaklaşık 0,3 mm’dir.



Şekil 4.2. Farklı kalitedeki rayların aşınma davranışları[13].

Ülkemizde hızlı tren uygulamalarında, demiryolu makası civarında ve dar çaplı kurplarda sertleştirilmiş mantarlı raylara ihtiyaç duyulmaktadır. Yerli imkanlar dahilinde bu rayların kullanılması ve geliştirilmesi TCDD'nin rolü için çok önemlidir[1].

#### 4.2. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Bu işlemin kullanılmasının asıl amacı, rayların temas yorulmasına ve aşınmaya karşı direncini artırmaktır ve bunu da ısıl işlem sayesinde yüzey sertliğini daha iyi hale getirerek amaçlar. En yaygın olarak kullanılan ray mantarı sertleştirme işlemi, östenit haldeki rayın soğutulmasıyla ince perlit oluşturulmasını sağlamaktır[13].

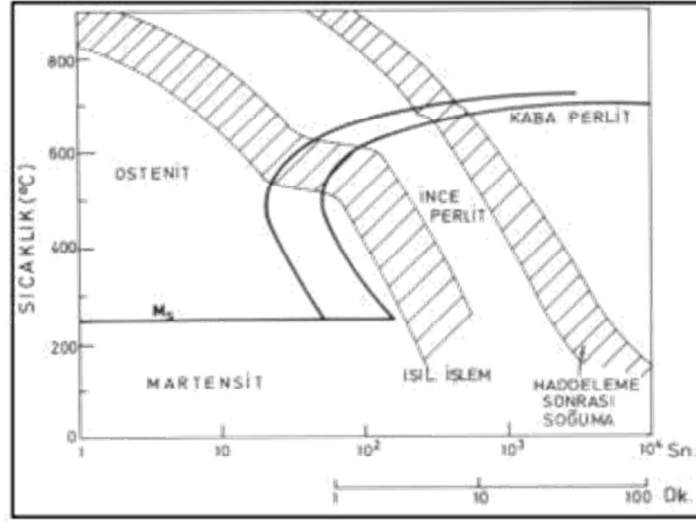
#### 4.3. RAYLARA SU VERİLMESİ VE SONUÇLARI

Su verme işleminin, çeliğin termik mekanik işleminde oldukça önemli yeri vardır. Ray çeliği olarak kullanılan, içeriğinde 0,77 C, & 0,95 Mn, % 0,1 Cr içeren bileşimi Çizelge 4.3'te incelediğimizde, bu çelik için, gerekli soğuma hızı ve istenilen mikroyapı değerleri gösterilmiştir[34].

Çizelge 4.3. Ray çeliğinin mikroyapısına soğuma hızının etkisi[35].

Soğuma Hızı	Faz
<240 °C/dk	Perlit
250 °C/dk	Perlit+Beynit
400 °C/dk	Perlit+Beynit+Martenzit
>643 °C/dk	Martenzit
Kesintili soğutma	İnce Perlit

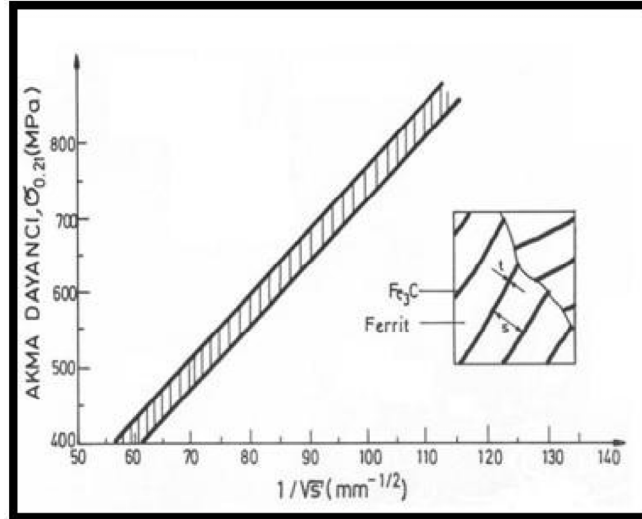
Şekil 4.3'ü incelediğimizde ise % 0,75 C + % 1 Mn içerikli ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm diyagramı görülmektedir. Soğuma hızını yükseltmek, istenilen sıkı perlit yapısını oluşturmak için önemlidir[13].



Şekil 4.3. Ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm diyagramı.

Şekil 4.4'e baktığımızda % 0,8 C + % 0,75 Mn içeren ray çeliğine, % 0,74 Cr + % 0,18 Mo ilavesiyle ısıl dönüşüm eğrilerinin konumunun nasıl değiştiği görülebilir.

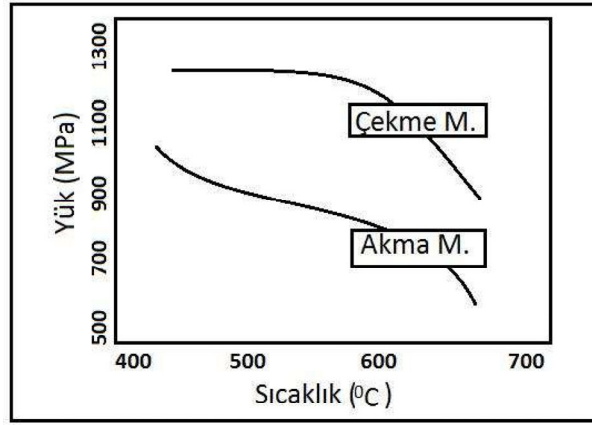
Şekil 4.4'de görülen ise, sertliği ve çeliğin akma mukavemetini artıran, belirli bir % C oranındaki perlitik yapıda lameller arası mesafenin azalmasıdır[13].



Şekil 4.4. Perlitik yapıda lameller arası mesafe – akma mukavemeti ilişkisi[13].

Difüzyon, östenit yapısından perlitik yapıya dönüşüm sürecini kontrol eder ve bu sırada hızı ise, karbonun östenit içerisindeki difüzyonu kontrol eder. Malzemedeki mekanik özelliklerin çoğu perlit oluşumuna bağlıdır. Lameller arası mesafenin düşük olması, ince ve tamamıyla perlitik olan yapıya bağlıdır. Bu sayede de aşınma, yorulma, akma ve çekme mukavemetlerinde yeterli düzeyde iyileşmeler görülür[13].

Lameller arası mesafe, ötektoid dönüşüm sıcaklığı altındaki alt soğuma ile ters orantılıdır. Dönüşüm sıcaklığı ne kadar düşük ise Lameller arası mesafenin inceliği, dönüşüm sıcaklığının ne derece düşük olduğuna bağlıdır. Bu sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi Şekil 4.5’de görülebilir [33].



Şekil 4.5. Dönüşüm sıcaklığı-mekanik özellik ilişkisi[36].

Çizelge 4.4’te kalitesi farklı olan rayların mikroyapı değerlerini ve çekme mukavemet değerlerini görebiliriz. Rayların çekme mukavemetlerinin artmasının, perlitik yapının oranının artmasına ve yapısının ne kadar ince olmasına bağlı olduğunu görmekteyiz[37].

Çizelge 4.4. Farklı ray tiplerinin karşılaştırılması[20].

Ray Tipi	%C	%Mn	%Cr	Çekme Mukavemeti	Mikroyapı
Vinç Rayı	0,35	0,80	-	600	% 50 Perlit + % 50 Kaba Perlit
700 Kalite		1,0	-	700	% 30 Ferrit + % 70 Kaba Perlit
900 Kalite	0,5	-	-	900	% 100 Kaba Perlit
1100 Kalite	0,75	1,1	0,9	1100	% 100 Sıkı Dizili Perlit
Mantarı Sertleştirilmiş 1100 Kalite	0,75	1,0	-	1100	% 100 Sıkı Dizili Perlit

#### **4.4. MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİ ÖZELLİKLERİ**

Mantar sertleştirme işlemi, demiryolu raylarına aŐŐađıdaki özellikleri katmaktadır;

- Yorulma ve aşınma direncinde artma
- Sertlik değerlerinde, akma dayanımında ve çekme mukavemetinde artma
- Gevrek kırılma direnci
- Kaynaklanabilirliğinde artma
- Saflık derecesinde artma
- Gerekli olan hızda ve tasarlanan aks yükünü taşıma [1]

## **BÖLÜM 5**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR ÇALIŞMA VE METHOD**

R260 kalite rayların, mukavemeti ve aşınma performansı yeterli gelmediği için, daha yoğun hatlarda ve hızlı tren hatlarında, daha uzun ömürlü raylara ihtiyaç duyulmuştur. Literatür çalışmalarını incelediğimizde, R260 kalite rayın mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla birçok tez çalışması yapılmıştır. Bu çalışma ise ısıtma işlem sıcaklıklarını, soğutma ortamlarını ve sürelerini değiştirerek, bu değişimlerin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini gözlemlemek ve literatüre katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Optimum olarak 825°C sıcaklık seçilmiştir. Farklı sürelerde, su ve Quenchoil MB serisi ısıtma işlem yağı ortamlarında soğutma işlemleri uygulanmıştır.

#### **5.1. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER**

Isıtma işlemine tabi tutulacak numuneler 10'ar cm kalınlığında kesilerek hazırlanmıştır ve aşağıda gördüğümüz PLF 120/45 marka ısıtma işlem fırınında, optimum sıcaklık olan, 825 °C östenitleme sıcaklığında 90 dakika bekletilmiştir. Daha sonra numunelere suda tam soğutma, suda 10 saniye süreyle soğutma, yağda tam soğutma ve yağda 10 saniye süreli soğutma olarak uygulanmıştır

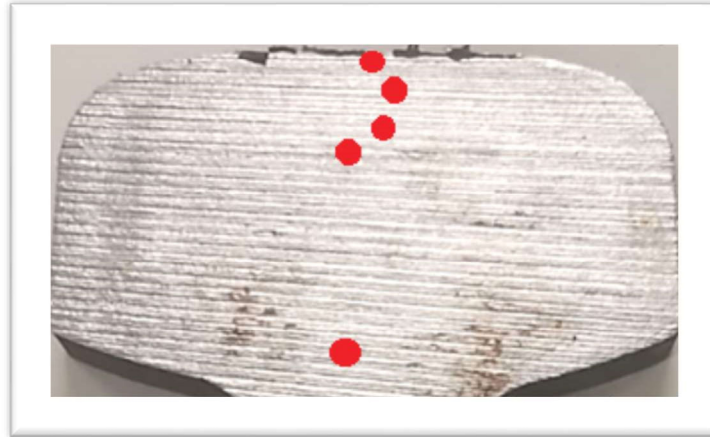




Şekil 5.1. Isıl işlem fırını (PLF 120/45).

## 5.2. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

R260 kalite raylara, östenitleme ve soğutma işlemleri uygulandıktan sonra, sertlik taramaları, Şekil 5.2’de görülen, ok ile gösterilen bölgelerde yapılmıştır. Suda tam soğutma ve suda 10 saniye soğutma, yağda tam soğutma ve yağda 10 saniye soğutma yapılan numunelerin sertlik değerleri, Şekil 5.3’te görülen QNESS marka sertlik cihazında yapılan işlemlerde 10 saniye süreyle ve 10 N yük altında yapılmıştır.



Şekil 5.2. Sertlik taraması yapılan bölgeler.



Şekil 5.3. QNESS marka sertlik cihazı.

### 5.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Mikroyapı çalışmalarında; standart metalografi süreci uygulanmıştır. Ray numuneleri kesme, zımparalama ve 3mikron elmas parlaticı ile parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Numunelerin %3 Nital ile dağlanmasıdan sonra, Şekil 5.4'te görülen Nikon Eclipse MA 200 model optik mikroskopta incelemesi yapılmış ve fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 5.4. Nikon Eclipse MA 200 model optik mikroskop.

#### 5.4. BASMA DENEYİ

Basma deneyi için hazırlanan numuneler Şekil 5.5'te verilen Zwick/Roell Z600 Basma test cihazında, basma mukavemet değerlerini belirlemek amacıyla, maksimum yüzde 50 deformasyonla deney yapılmıştır. Deney numunelerine 10-250000 N arasında yük uygulanmıştır. Ray numunesi basma mukavemet direncini kaybedince, diğer numunelere geçilmiştir. Deneysel çalışma bölümünde, elde edilen grafiklerle kıyaslamalar yapıp, sonuçlar kısmında verilmiştir.



Şekil 5.5. Zwick/Roell Z600 Basma test cihazı.

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR

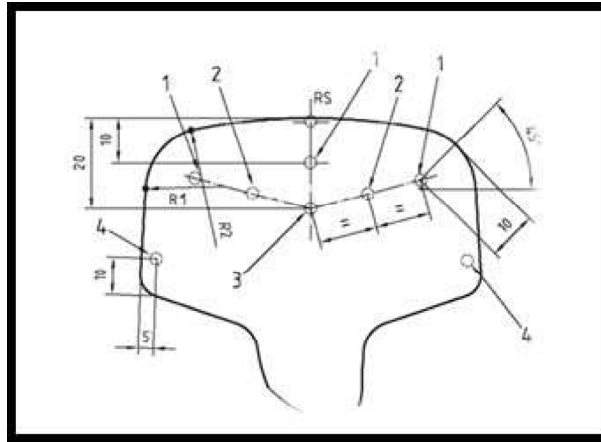
Bu deneysel çalışmada; R260 kalite raylardan kesilen numuneler kullanılmıştır.

#### 6.1. ISIL İŞLEMLER

Isıl işleme tabi tutulacak numuneler 10'ar cm kalınlığında kesilerek hazırlanmıştır ve ısıl işlem fırınında, optimum sıcaklık olan, 825 °C östenitleme sıcaklığında 90 dakika bekletilmiştir.

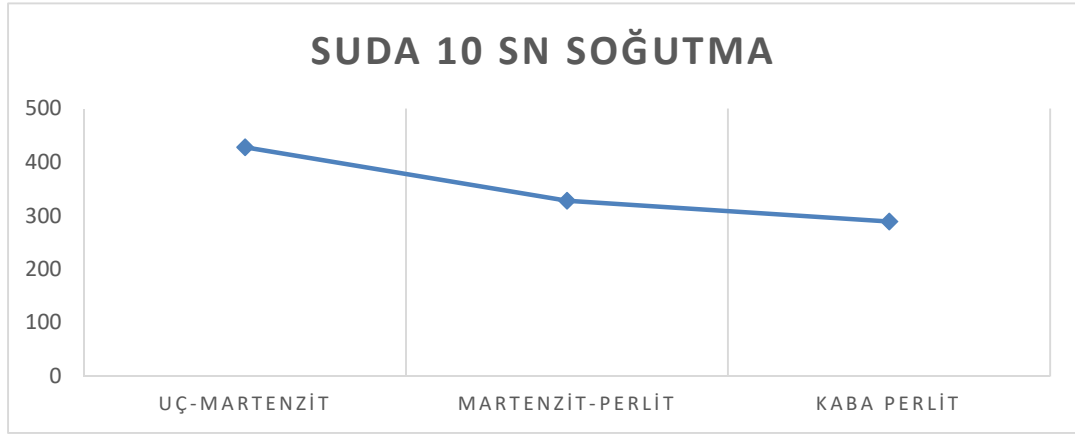
#### 6.2. MANTAR KESİTİNDE UYGULANAN SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Yapılan deneyde kullanılan R260 kalite rayın sertlik değeri 260-290 HB arasındadır. EN 13674 standardında belirtilen, ray tiplerine göre, kesitlerinin hangi bölgelerinde sertlik ölçümlerinin yapılacağı belirtilmiştir. Standartta belirtilen bölgeler Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Bütün ray cinslerinde, belirtilen noktaların tamamının ölçümlerini almak zorunlu değildir.



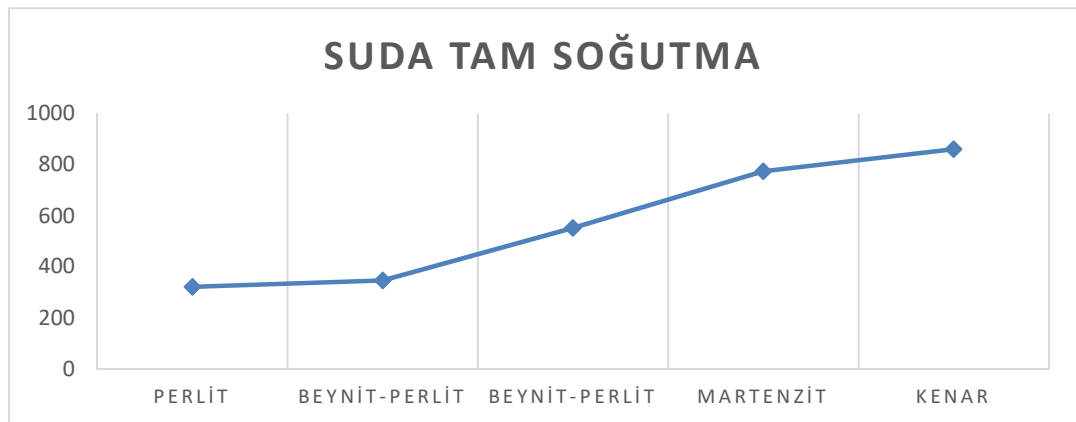
Şekil 6.1. EN 13674 standardına göre sertlik ölçümü yapılan bölgeler.

Şekil 6.2’de, suda 10 saniye soğutulan numunelerin, mantar üstündeki sertlik deneyi yapılan bölgelerdeki, sertlik değerleri verilmiştir. Bu değerler şekilde gösterildiği gibi 289-428 HB arasındadır. Değerlere baktığımızda martenzit yapının, kenar(uç) kısmında yoğunlaştığı ve sertlik değerinin de bu doğrultuda, kaba perlitik yapıya göre yüksek olduğu görülmektedir.



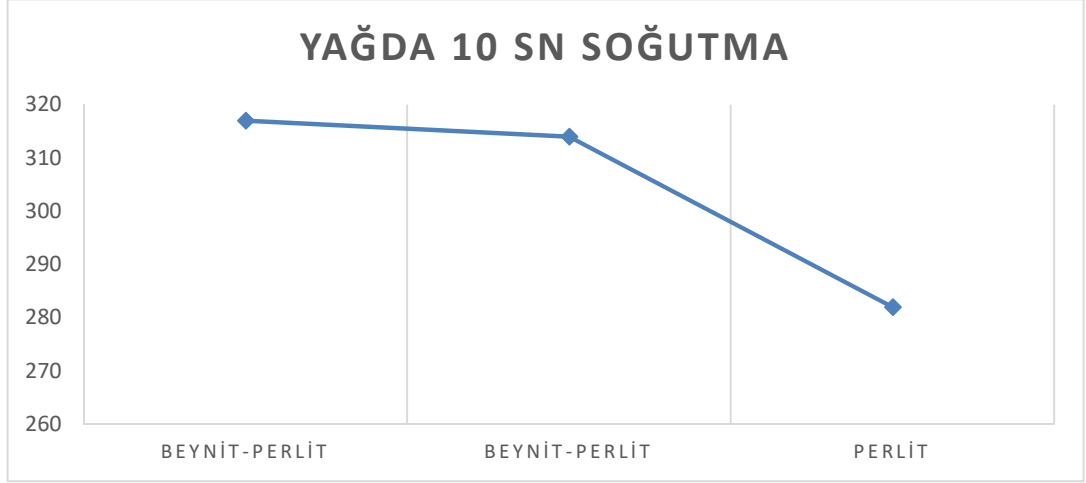
Şekil 6.2. Suda 10 saniye soğutulan numunelerin sertlik değerleri.

Şekil 6.3’te, suda tam soğutma uygulanan numunelerin, mantar üstündeki sertlik deneyi yapılan bölgelerdeki, sertlik değerleri verilmiştir. Bu değerler şekilde gösterildiği gibi 320-860 HB arasındadır. Değerlere baktığımızda mantarın üst(kenar) bölgesinde 860 HB gibi yüksek değer çıkması ve bu değer kaba perlit yapıya doğru giderek azalarak 320 HB’ye kadar azaldığı görülmektedir. Kaba perlitik yapının sertlik değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.



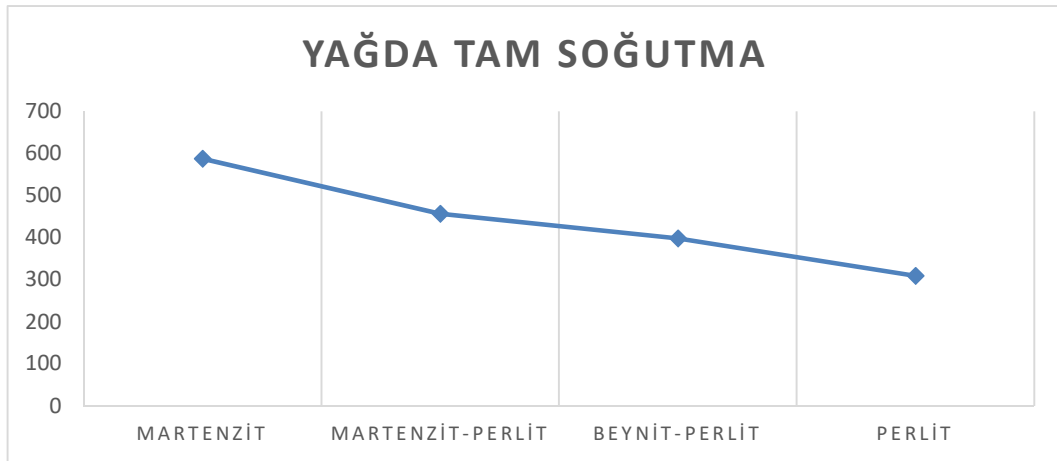
Şekil 6.3. Suda tam soğutma uygulanan numunelerin sertlik değerleri.

Şekil 6.4'te, yağda 10 saniye soğutulan numunelerin, mantar üstündeki sertlik deneyi yapılan bölgelerdeki, sertlik değerleri verilmiştir. Bu değerler şekilde gösterildiği gibi 282-317 HB arasındadır.



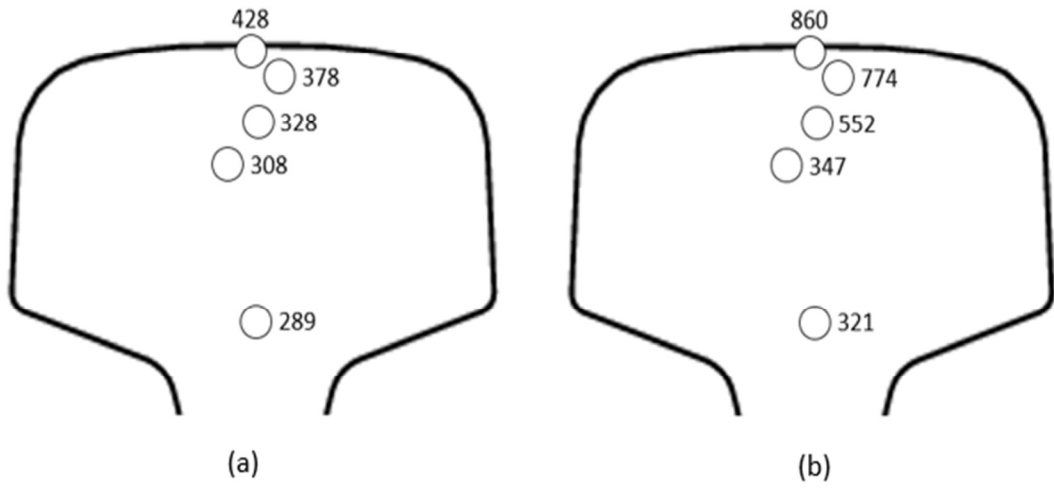
Şekil 6.4. Yağda 10 saniye soğutma uygulanan numunelerin sertlik değerleri.

Şekil 6.5'da, yağda tam soğutma uygulanan numunelerin, mantar üstündeki sertlik deneyi yapılan bölgelerdeki, sertlik değerleri verilmiştir. Bu değerler şekilde gösterildiği gibi 309-588 HB arasındadır.

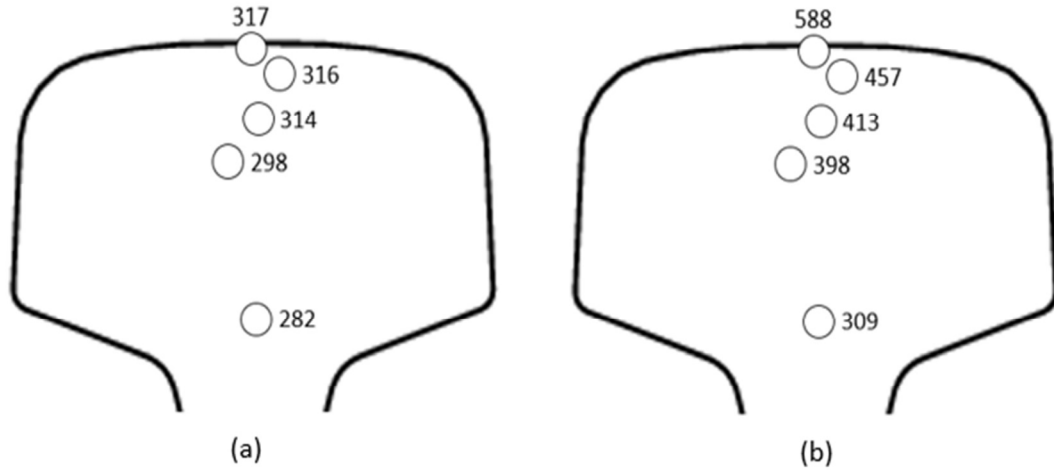


Şekil 6.5. Yağda tam soğutma uygulanan numunelerin sertlik değerleri.

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de suda ve yağda soğutma işlemi uygulanan numunelerin sertlik değerlerinin genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Suda 10 saniye (a) ve tam soğutma (b) uygulanan numunelerin sertlik değerleri.



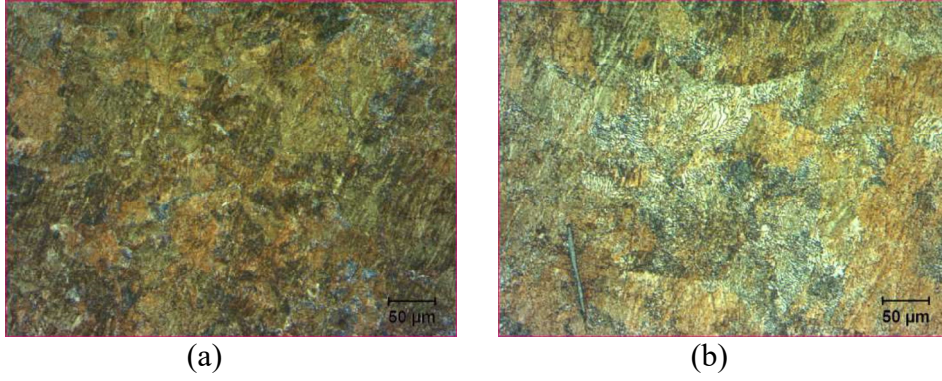
Şekil 6.7. Yağda 10 saniye (a) ve tam soğutma (b) uygulanan numunelerin sertlik değerleri.

Sertlik deney sonuçları incelendiğinde, mantarın üst kısımlarında ortaya çıkan değerlerin, sırasıyla suda tam soğutma, yağda tam soğutma, suda 10 saniye soğutma ve yağda 10 saniye soğutma şeklinde en yüksekten, aza doğru sıralandığı ve en yüksek değerlerin 860 HB değerini bulduğu ortaya çıkmaktadır.

R350HT kalite ray mantarının üst(uç) kısmının, EN 13674 standardına göre sağlaması gereken sertlik değerlerinin 350-390 HB arasında olduğunu göz önünde bulundurduğumuzda, suda 10 saniye soğutma işleminin bu değerleri sağladığı görülmüştür ve mantar sertleştirme prosesine uygun olabileceği gözlemlenmiştir.

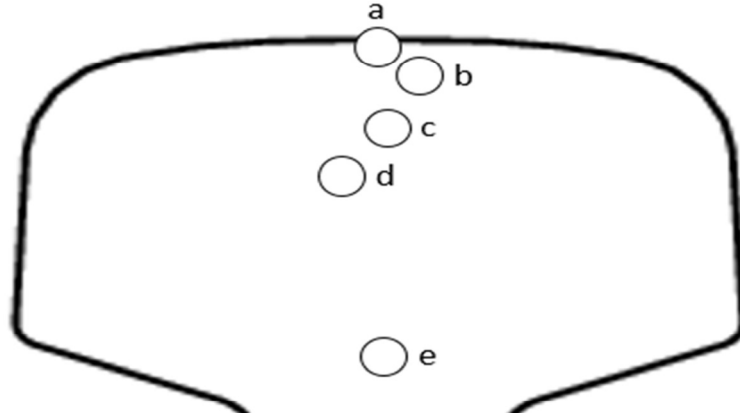
### 6.3. MİKROYAPI SONUÇLARI

Deneyde kullandığımız R260 kalite ray numunelerinin 200X ve 500X büyütülmesiyle bakılan mikroyapılar Şekil 6.8’da gösterilmiştir. Kaba perlitik yapıya sahip olmasının nedeni haddeleme işleminden sonra normal soğuma şartlarında beklemesidir.



Şekil 6.8. (a) 200X ve (b) 500X büyütmede mikroyapıların görüntüsü.

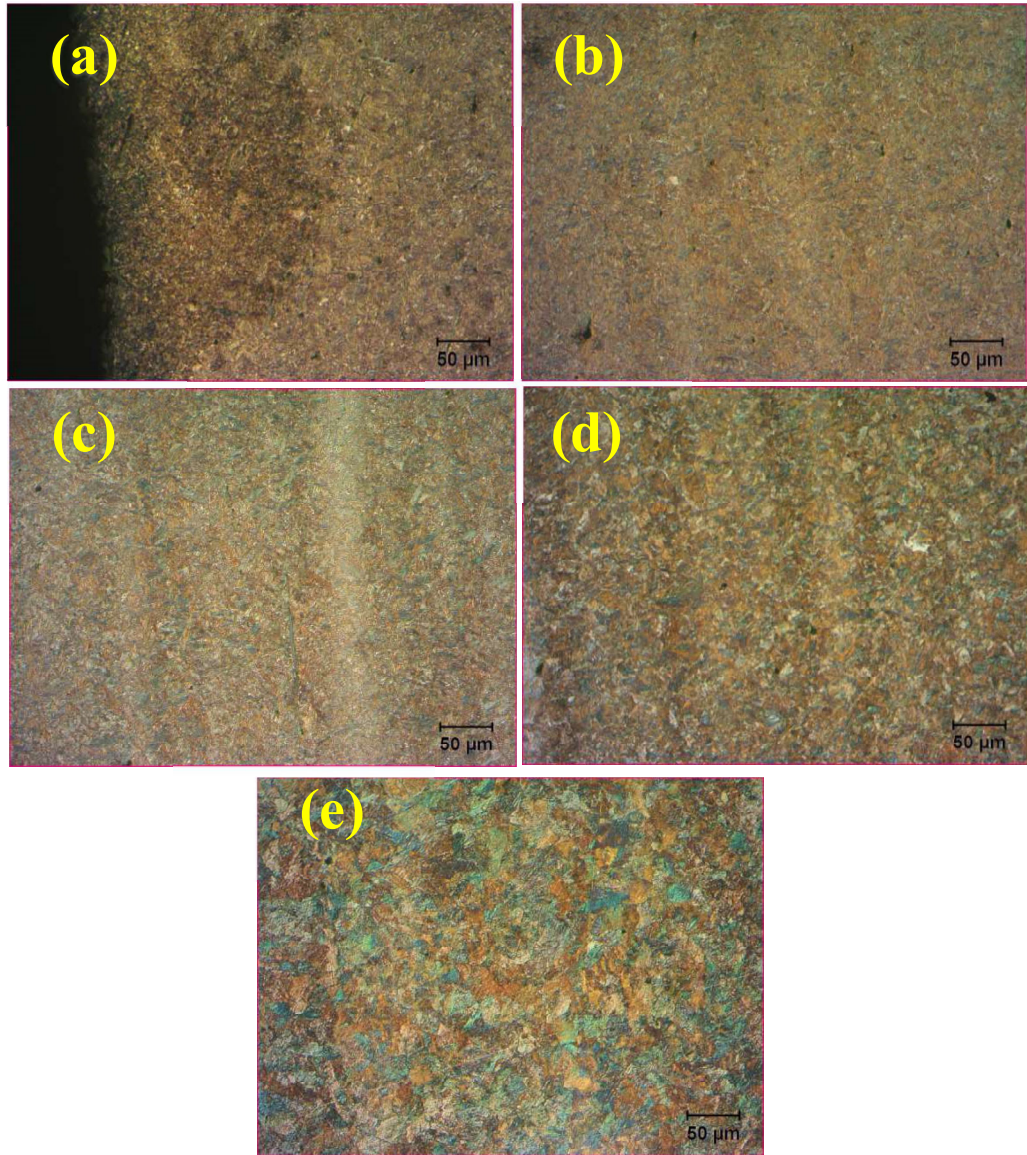
Şekil 6.9’da, mikroyapı görüntülerinin yapıldığı bölgeler harflendirilerek gösterilmiştir.



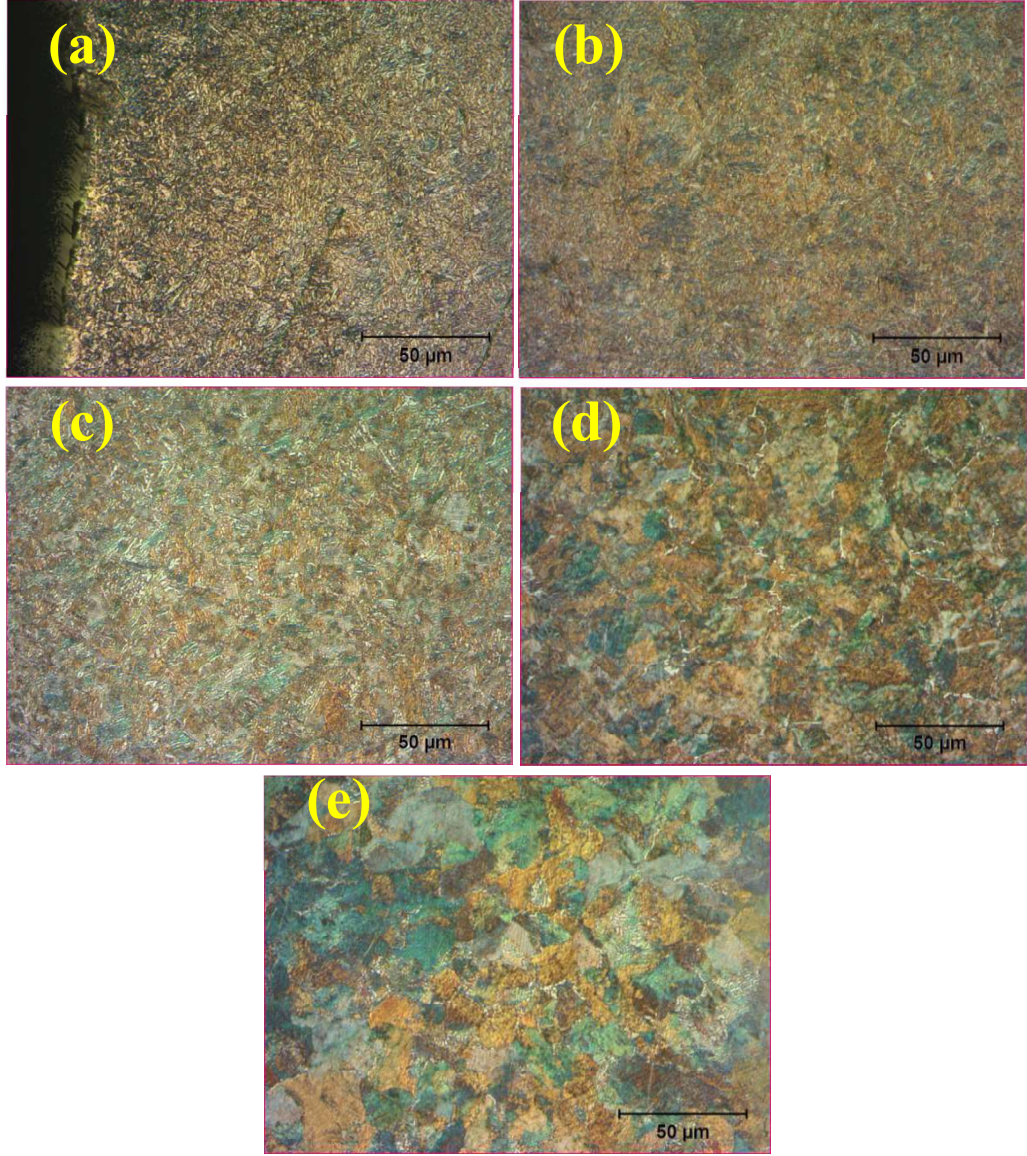
Şekil 6.9. Mikroyapı görüntülerinin yapıldığı bölgelerin harflendirilerek gösterilmesi.



10 saniye süreyle suda soğutma işlemiyle mantar sertleştirme yapılan numunenin mikroyapı görüntüleri Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilmiştir. İncelenen bölgelerdeki mikroyapıların farklı olmalarının nedenleri, rayın sadece mantar kısmının su ile belirli saniyede soğutulmasıdır. Dolayısıyla mantarın üst kısmının mikroyapılarında daha ince bir yapı vardır. Mantarın iç kısımlarına doğru inildikçe ince yapı kaba hal alır. Ölçtüğümüz sertlik değerleriyle karşılaştırma yaptığımızda bu durumun makul olduğunu söyleyebiliriz.



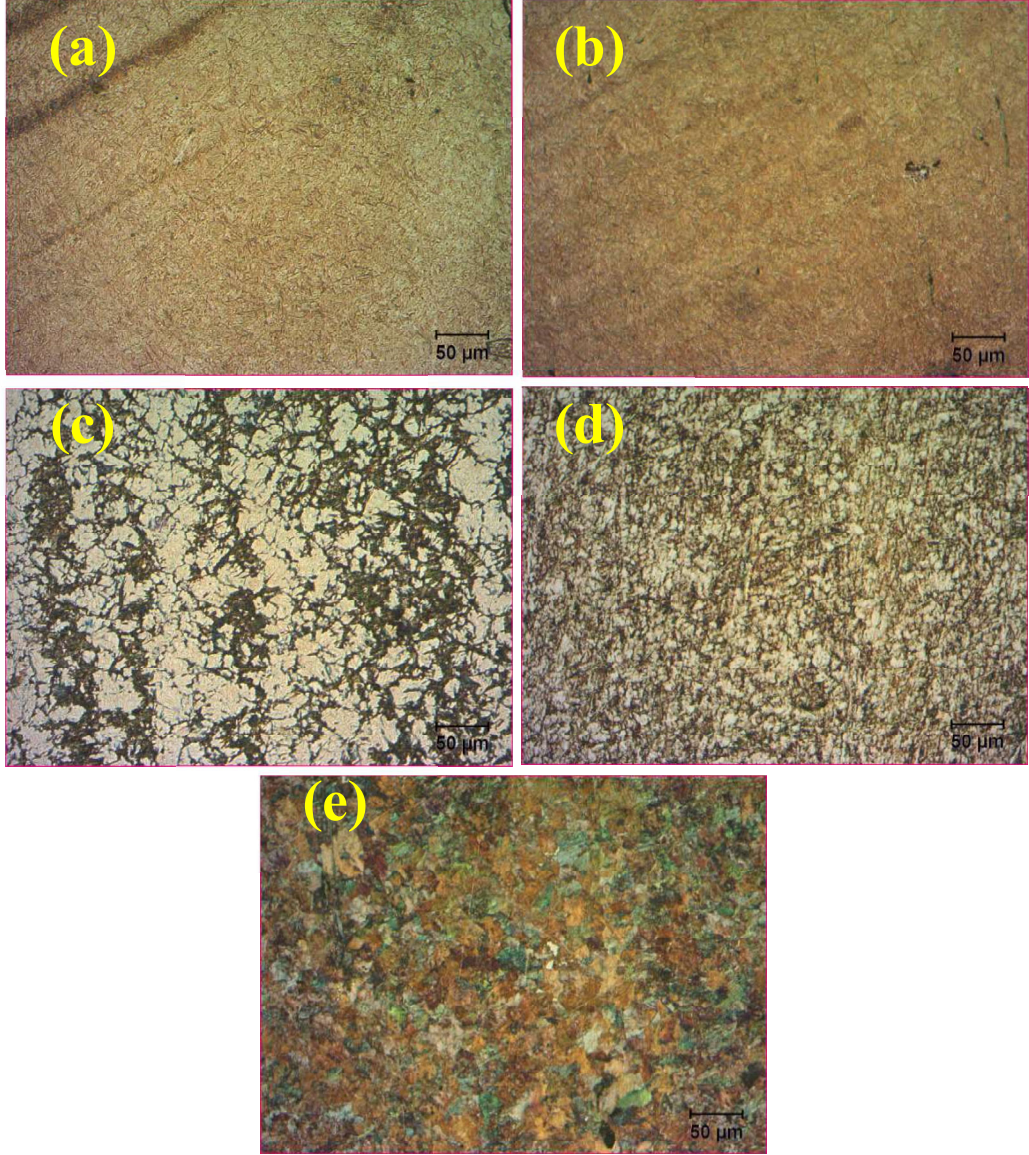
Şekil 6.10. 10 saniye suda soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.



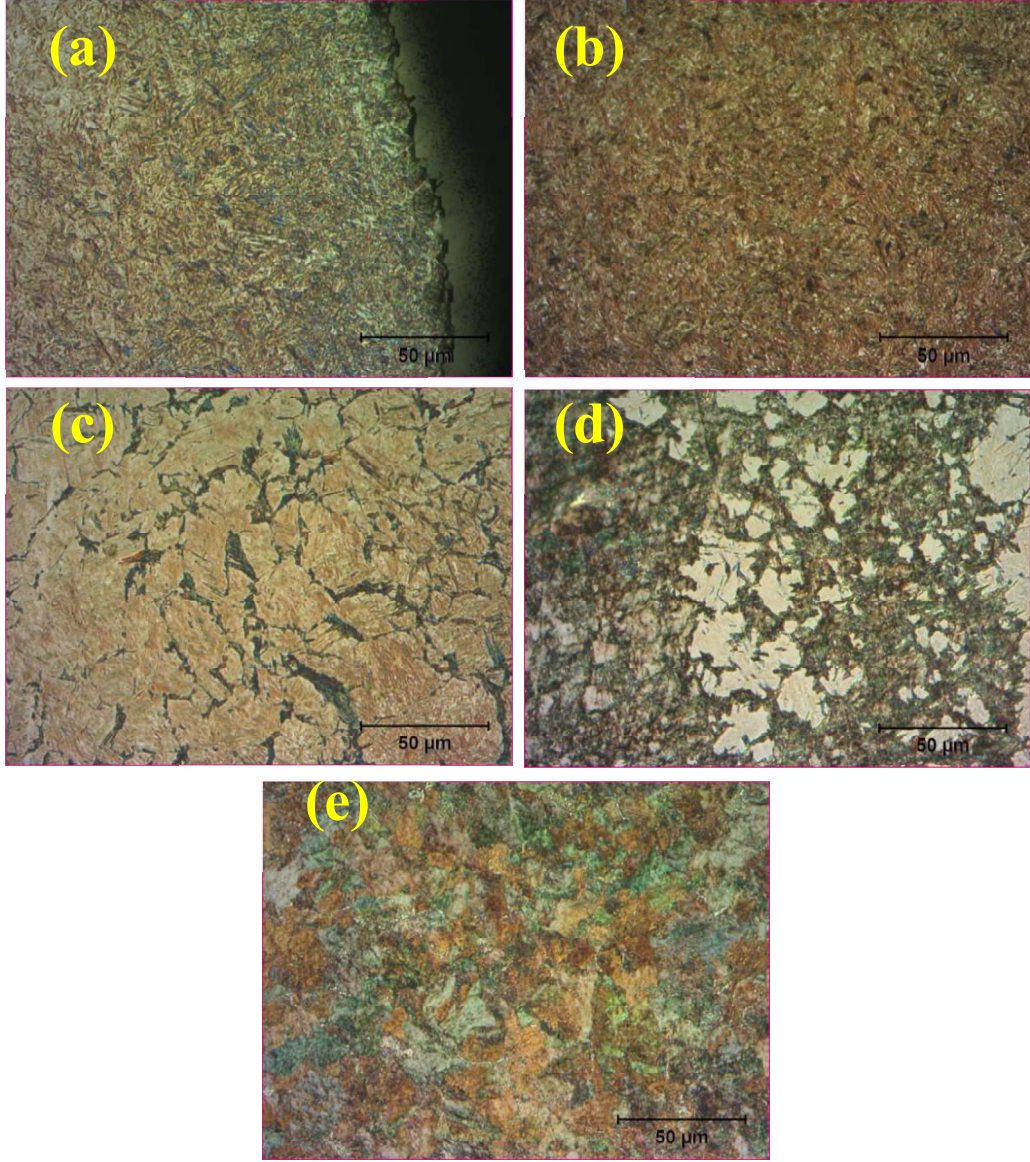
Şekil 6.11. 10 saniye soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.



Suda tam soğutma işlemiyle mantar sertleştirme yapılan numunelerin 200x ve 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilmiştir.



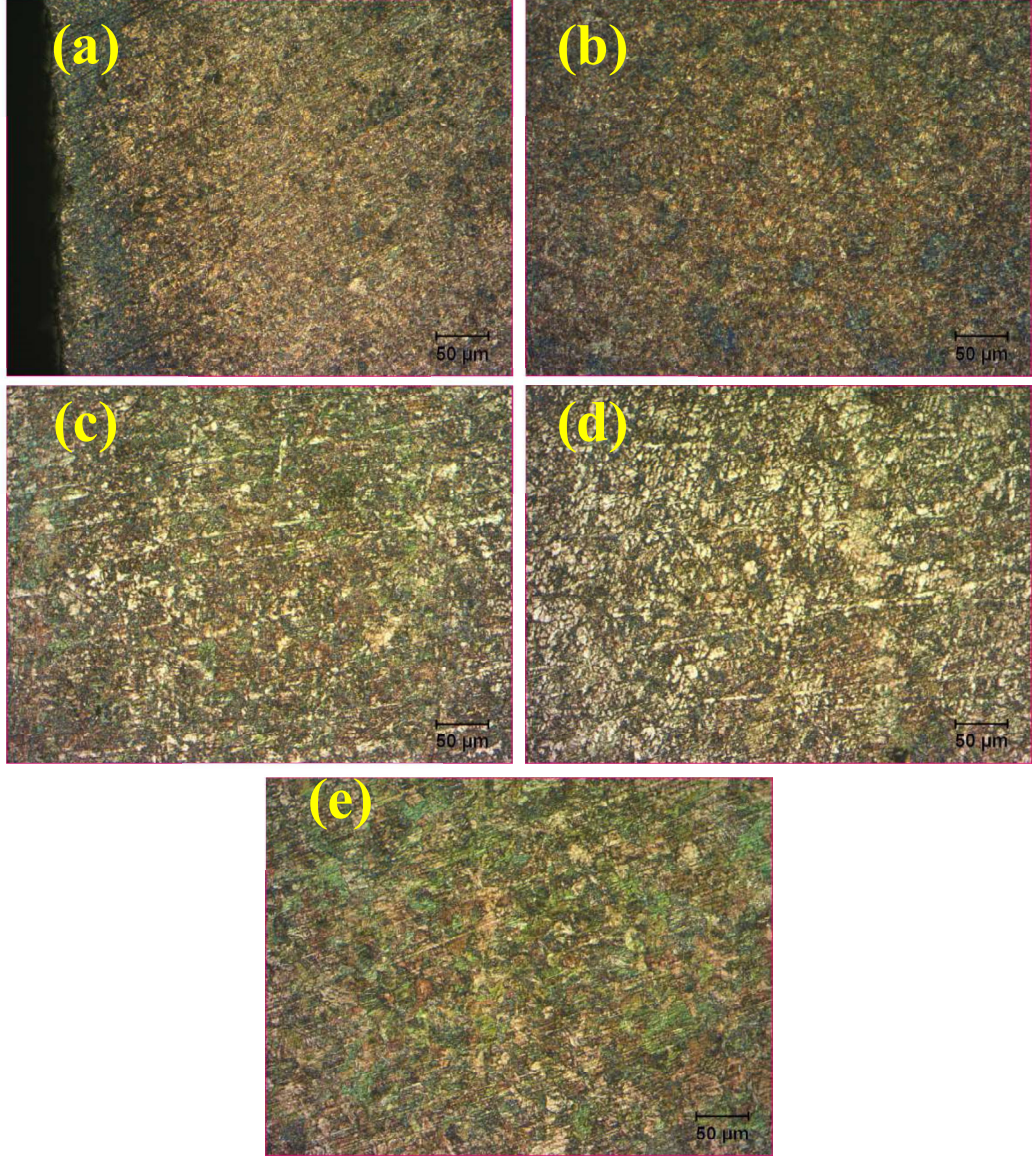
Şekil 6.12. Suda tam soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.13. Suda tam soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.

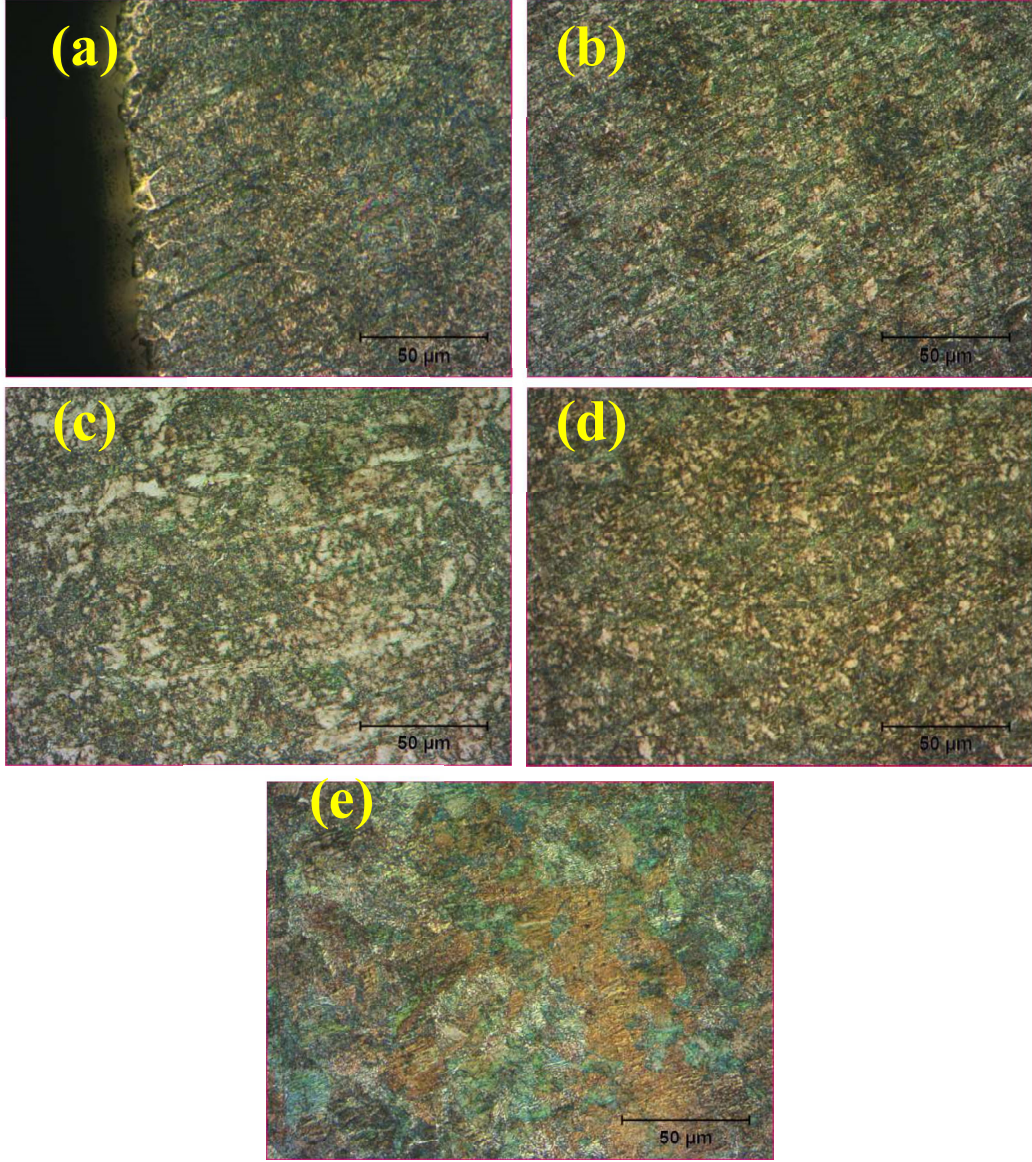


Yağda 10 saniye soğutma ve tam soğutma işlemiyle mantar sertleştirme yapılan numunelerin 200x ve 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri Şekil 6.14-6.17’de verilmiştir.

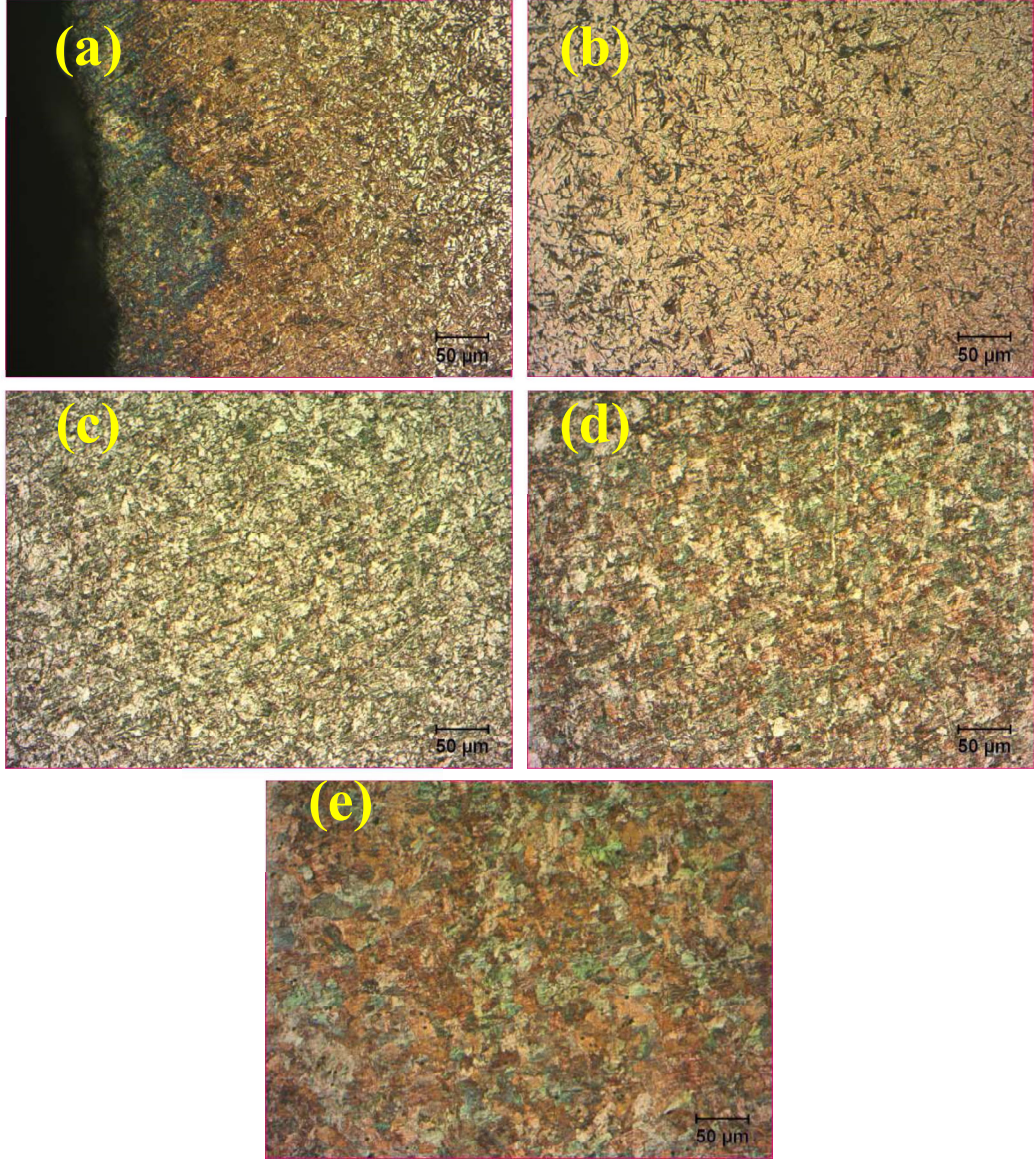


Şekil 6.14. Yağda 10 saniye soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.



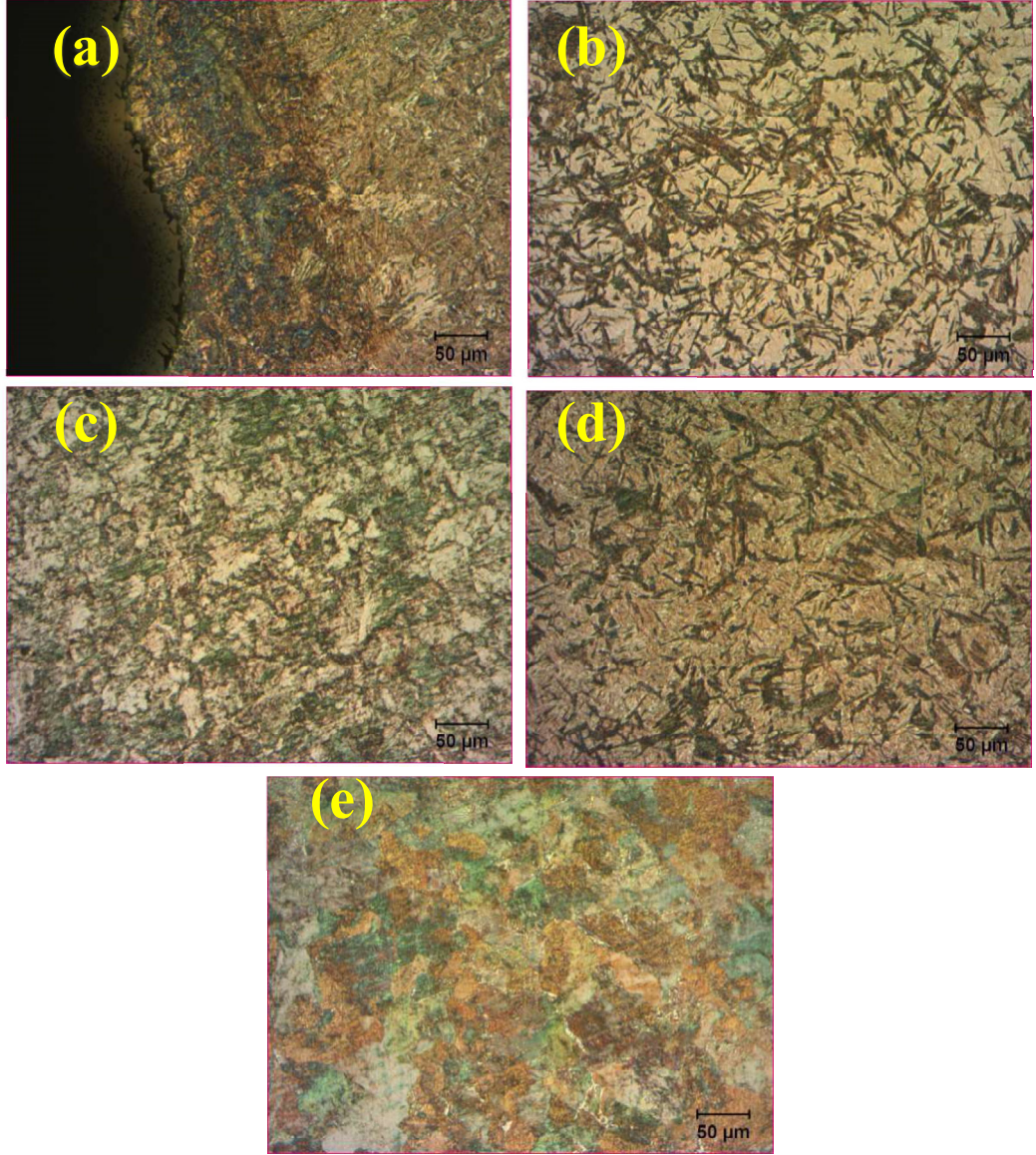


Şekil 6.15. Yağda 10 saniye soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.16. Yağda tam soğutmada 200x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.





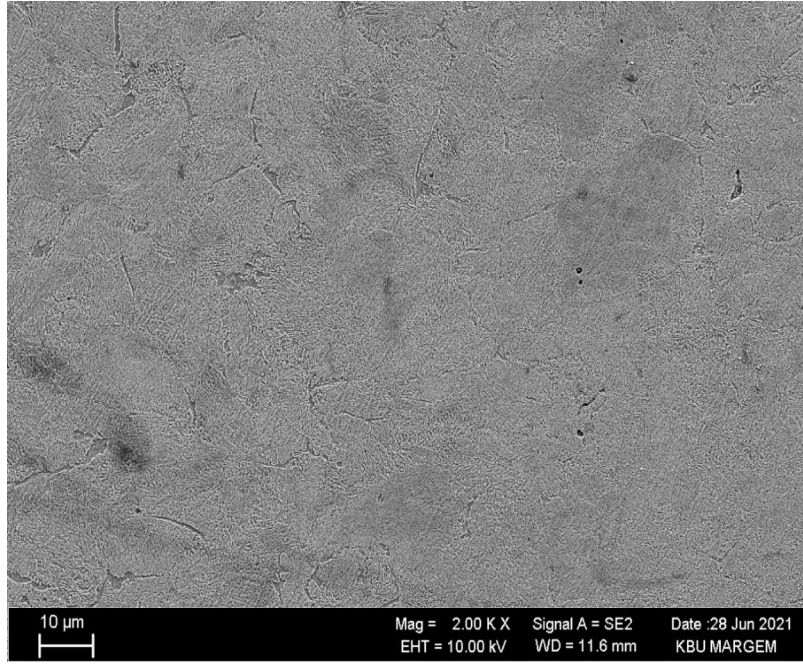
Şekil 6.17. Yağda tam soğutmada 500x büyütmeyle mikroyapı görüntüleri.

Mikroyapı çalışmalarında, suda tam soğutulan numunenin mikroyapıları incelendiğinde, soğutma işleminin daha yoğun olduğu, kenar (uç) kısımdan mantarın iç kısmına gidildikçe kaba perlitik yapının arttığı ve bu iki kısım arasında beynitik ve martenzitik yapının olduğu gözlemlenmiştir. Suda 10 saniye soğutulan numunenin mikroyapıları incelendiğinde ise, beynitik ve martenzitik yapının daha az olduğu, bunun da kırılabilirliği azaltmasından dolayı istenilen değerlere yakın olduğu saptanmıştır. Yağda tam soğutulan numunenin mikroyapı görüntülerini incelediğimizde, suda tam soğutma uygulanan numuneye göre benzerlik gösterdiği görülmektedir. Yağda 10 saniye soğutma uygulanan numunenin mikroyapı

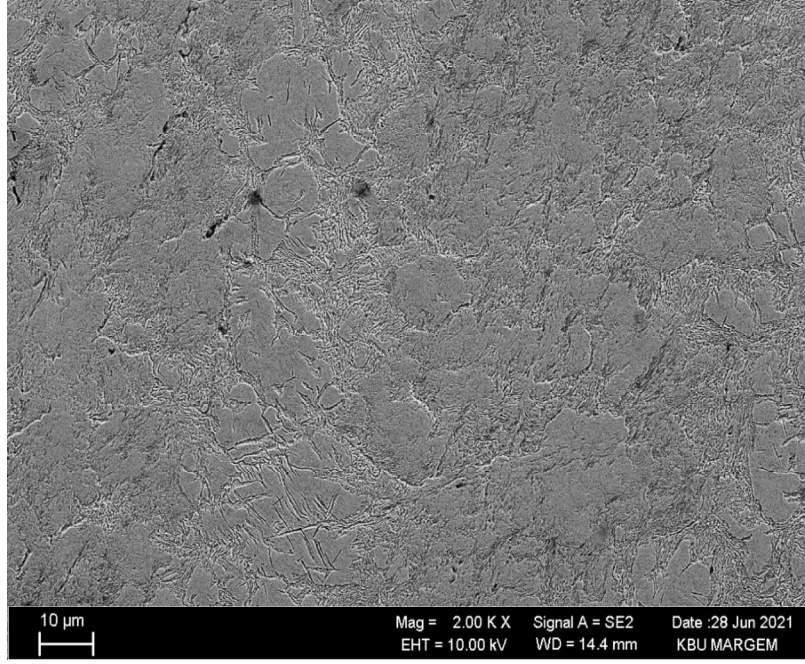


görüntülerinde ise, perlitik ve beyritik yapının birlikte yoğunlaştığı görülmüştür. EN 13674 standartında belirtilen değerler incelendiğinde, mikroyapı incelemeleri sonucunda, optimum soğutma ortamının, suda 10 saniye süreyle soğutma işlemi olduğu gözlemlenmiştir.

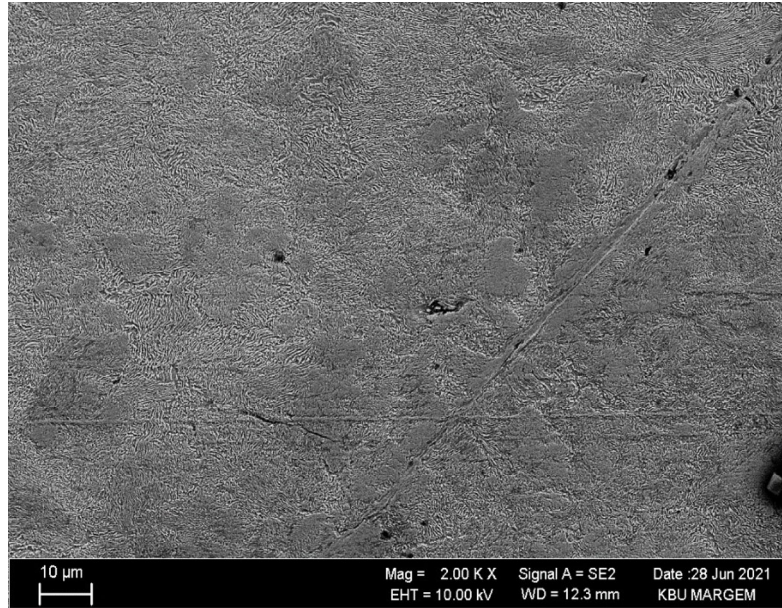
Şekil 6.18 ve Şekil 6.21 arasında verilen resimlerde farklı soğutma ortamlarının SEM görüntüleri verilmiştir.



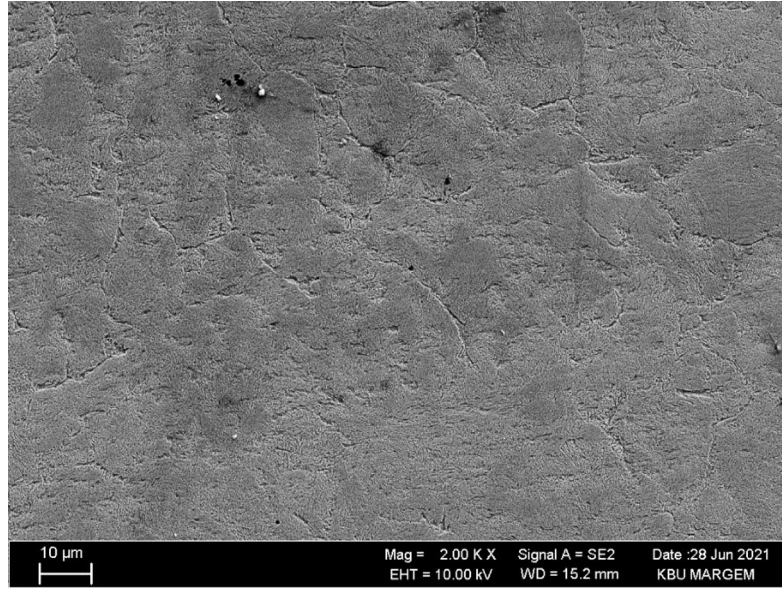
Şekil 6.18. Suda 10 saniye süreyle soğutulan numunenin SEM görüntüsü.



Şekil 6.19. Suda tam soğutma uygulanan numunenin SEM görüntüsü.



Şekil 6.20. Yağda 10 saniye süreyle soğutulan numunenin SEM görüntüsü.



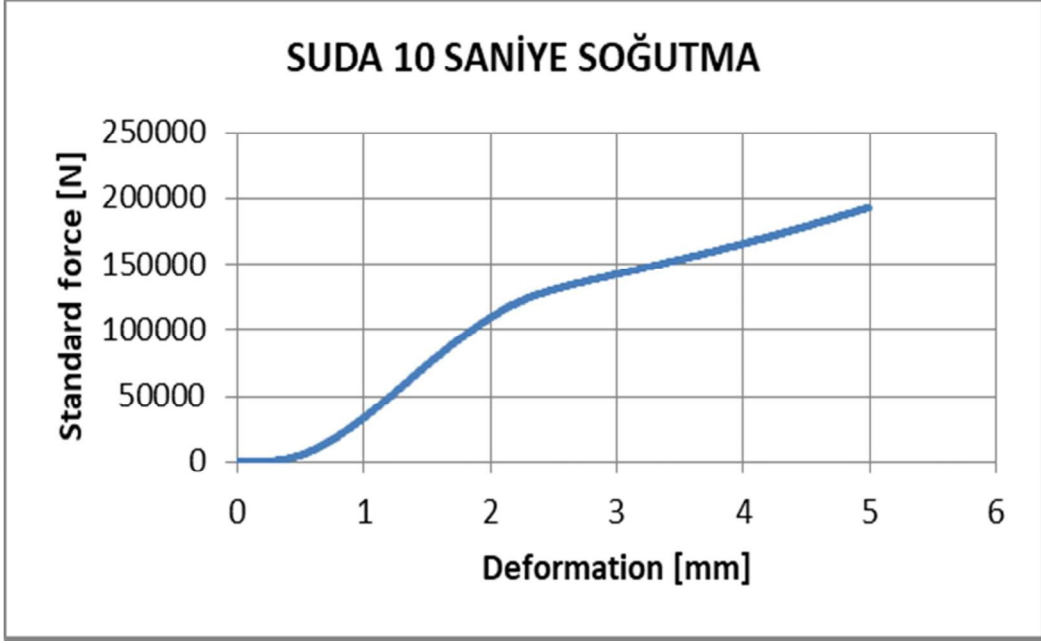
Şekil 6.21. Yağda tam soğutma uygulanan numunenin SEM görüntüsü.

SEM görüntülerine baktığımızda mikroyapı çalışmalarına göre benzer görüntülerle karşılaşılmaktadır. Suda 10 saniye ile tam soğutma yapılan numunenin görüntülerine baktığımızda, perlitik yapısının koruyabildiği, literatürde de istenen ince perlitik yapıları karşıladığı görülmektedir.

#### **6.4. RAY NUMUNELERINE UYGULANAN BASMA DENEYİ SONUÇLARI**

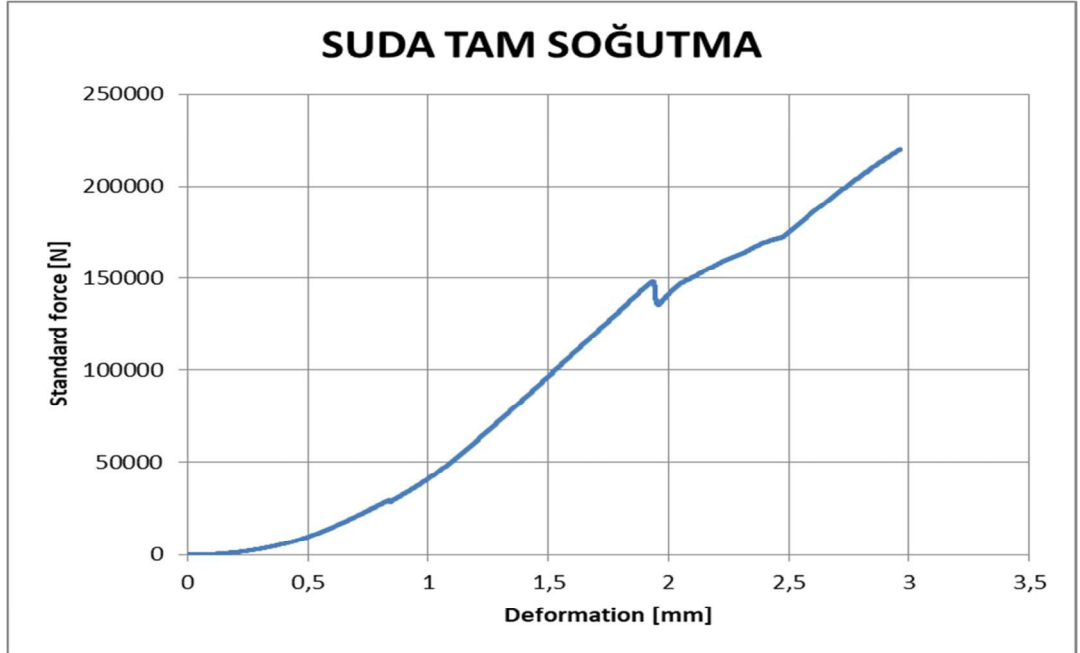
Aşağıda, suda 10 saniye soğutma, suda tam soğutma, yağda 10 saniye soğutma, yağda tam soğutma deneyleri yapılan numunelere ait basma değerlerinin grafikleri verilmiştir.





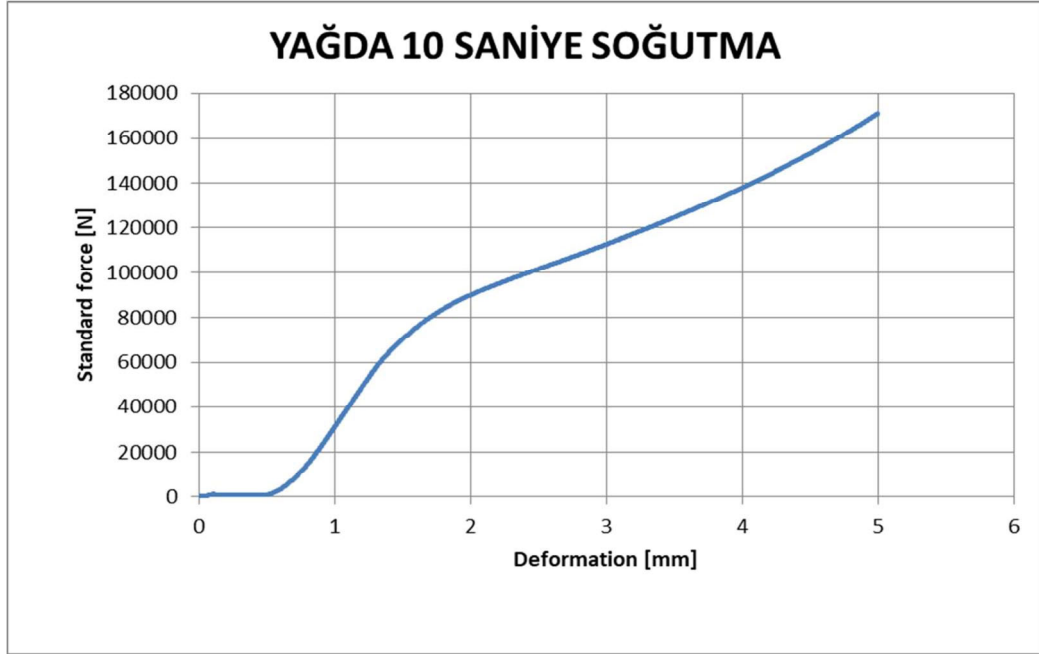
Şekil 6.22. Suda 10 saniye soğutulan numunelerin basma grafiği.

Suda 10 saniye soğutma uygulanan numuneye ait basma grafiğine baktığımızda, basma değeri 200000 N yüke yaklaştığında deformasyon dayanımının azaldığı görülmüştür.



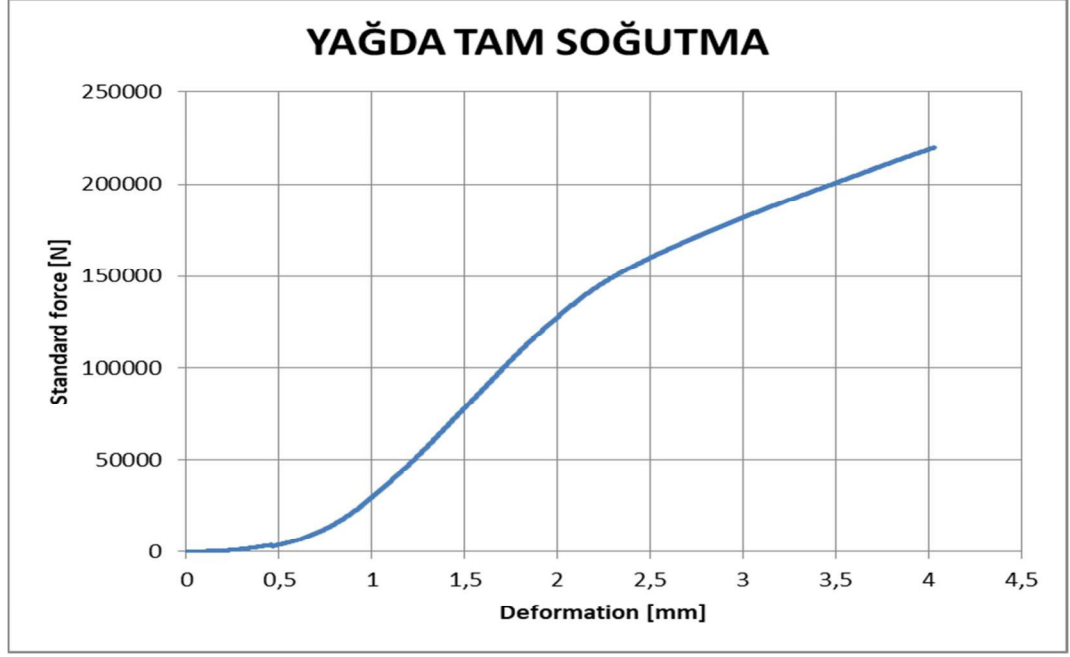
Şekil 6.23. Suda tam soğutulan numunelerin basma grafiği.

Suda tam soğutma uygulanan numuneye ait basma grafiğine baktığımızda, basma değeri yaklaşık 220000 N yüke ulaştığında deformasyon dayanımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.24. Yağda 10 saniye soğutulan numunelerin basma grafiği.

Yağda 10 saniye soğutma uygulanan numuneye ait basma grafiğine baktığımızda, basma değeri yaklaşık 170000 N yüke ulaştığında deformasyon dayanımının azaldığı görülmüştür. Diğer numunelere göre, deformasyon dayanımı en az olan soğutma ortamı yağda 10 saniye soğutma olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.25. Yağda tam soğutulan numunelerin basma grafiği.

Yağda tam soğutma uygulanan numuneye ait basma grafiğine baktığımızda, basma değeri yaklaşık 220000 N yüke ulaştığında deformasyon dayanımının azaldığı görülmüştür. Yağda tam soğutulan numunelere ait basma yükleri ve deformasyon değerleri, suda tam soğutma ortamıyla hemen hemen aynı değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 7

### GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 7.1. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan başlangıç malzemesi R260 kalite demiryolu rayıdır. Mantar sertleştirme işleminde, 825°C östenitleme sıcaklığı kullanılmıştır. Bu östenitleme sıcaklığında östenitlenen raylar 2 farklı soğutma ortamında farklı sürelerde soğutularak mantar sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan testler neticesinde elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- R350HT kalite ray mantarının üst(uç) kısmının, EN 13674 standardına göre sağlaması gereken sertlik değerlerinin 359-390 HB arasında olduğunu göz önünde bulundurduğumuzda, suda 10 saniye soğutma işlemi uygulanan numunenin bu değerleri karşıladığı ve optimum soğutma ortamı olduğu görülmüştür.
- Suda tam soğutma, yağda 10 saniye soğutma ve yağda tam soğutma uygulanan numunelerin sertlik değerleri, R350 HT kalite raylarının EN 13674 standardına göre belirtilen sertlik değerleri sınırlarının dışında olduğu gözlemlenmiştir.
- Suda tam soğutulan numunenin mikroyapıları incelendiğinde, soğutma işleminin daha yoğun olduğu, kenar kısımdan mantarın iç kısmına gidildikçe kaba perlitik yapının arttığı ve bu iki kısım arasında beynitik ve martenzitik yapının oluştuğu gözlemlenmiştir. Yağda tam soğutulan numunenin mikroyapı görüntülerini incelediğimizde, suda tam soğutma uygulanan numuneye göre benzerlik gösterdiği görülmektedir.

- Suda 10 saniye soğutulan numunenin mikroyapıları incelendiğinde ise, beynitik ve martenzitik yapının daha az olduğu, bunun da kırılabilirliği azaltmasından dolayı istenilen değerlere yakın olduğu saptanmıştır.
- Yağda 10 saniye soğutma uygulanan numunenin mikroyapı görüntülerinde ise, perlitik ve beynitik yapının birlikte yoğunlaştığı görülmüştür.
- EN 13674 standartında belirtilen değerler incelendiğinde, mikroyapı incelemeleri sonucunda, optimum soğutma ortamının, suda 10 saniye süreyle soğutma işlemi olduğu gözlemlenmiştir.
- Basma deneyi sonuçları karşılaştırıldığında, suda tam soğutma numunesinin, suda 10 saniye süreyle soğutma numunesine göre, deformasyona karşı direncinin daha mukavemetli olduğu görülmüştür.
- Yağda tam soğutma numunesinin, yağda 10 saniye süreyle soğutma numunesine göre deformasyona karşı direncinin daha mukavemetli olduğu görülmüştür.
- Basma deneyi sonucunda, numuneler arasında, deformasyon dayanımı en az olan soğutma ortamı yağda 10 saniye süreyle soğutma işlemi olduğu gözlemlenmiştir. Dayanımı en fazla olan numunelerin ise, suda tam soğutma ve yağda tam soğutma işlemleri olduğu saptanmıştır.

## 7.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada, R260 kalite raya uygulanan mantar sertleştirme işlemlerinin, farklı soğutma ortamlarındaki mikroyapı ve mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Daha farklı östenit sıcaklığı ve soğutma ortamlarının, mantar sertleştirme işlemine tabi tutulması incelenilebilir ve en uygun mikroyapı özelliklerinin yanında, mekanik özellik değerlerinin değişimleri de göz önünde bulundurulduğunda, aşınmayı ve hasarı en aza indireyecek, daha uzun ömürlü demiryolu rayı üretimi sağlanabilir.



## KAYNAKLAR

1. Xiao-fei, Li., Langenberg, P., Münstermann, S. and Bleck, W., “Recent Developments of Modern Rail Steel” *Technology Center, Anshan Iron and Steel Corporation*, China, 2-5 (1963).
2. Svejksky, U. and Nerzak, T., “Modern rail production using CCS and railcool technology” *Stahl und Eisen*, 127: 55-60 (2007).
3. Singh, U.P., Singh, R. and Jha, S., “Influence of microalloying on fracture toughness and wear resistance of rail steel” *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 30: 180-186 (1995).
4. Lee, K.M. and Polycarpou, A.A., “Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels” *Wear*, 259: 391-399 (2005).
5. Danieli R., “Head hardening process” *Danews*, 158: 62-64 (2010).
6. Satoh, Y., Tatsumi, M., Kasiwaya, K., Ueda, M. and Yokoyama, H., “Development of anti-darkspot bainitic steel rail” *Railway Technical Research Institute Report*, 12: 15-20 (1998).
7. Yokoyama, H., Mitao, S., Yamamoto, S., Kataoka, Y. and Sugiyama, T., “High strength bainitic rails for heavy haul railways with superior damage resistance” *NKK Gihou*, 169: 17-23 (2000).
8. Bhadeshia, H.K.D.H., “High performance bainitic steels” *Materials Science Forum*, 500-501: 63-74 (2005).
9. Bhadeshia, H.K.D.H., “Novel Steels For Rails” *Encyclopedia of Materials Science: Science and Technology*, 170: 1-7 (2002).
10. Franklin, F. J., Garnham, J.E., Fletcher, D.I., Davis, C.L. and Kapoor, A., “Modelling rail steel microstructure and its effect on crack initiation” *Wear*, 265: 1332-1341 (2008).
11. Pointner, P., “High strength rail steels” *Wear*, 265: 1373-1379 (2008).
12. TCDD, “1100 Kalite Rayların Kırılma Nedenlerini Belirleme Araştırma Projesi Raporu” *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 5: 1-26 (1993).
13. Martens, J. H. and Wirick, D.P., “Premium Rail Steels For The 21st. Century” *Pennsylvania Steel Technologies*, Pennsylvania, 7: 50-60 (1994).

14. Kalousek, J., Fegredo, D. and Laufer E., "Proc. int. conf. on wear of materials" *Vancouver, B.C*, 2: 212-231 (1985).
15. Lichtberger Dr. B., "Track Compendium" *Hamburg Printed in Germany*, 17: 200-250 (2005).
16. Inchinose, H. and Takahara, J., "An investigation on contact fatigue and wear resistance behaviour in rail steel" *Proc 1st. Int. Heavy Haul Conf.*, Australia, 307: 1-10 (1978).
17. Wu, J. and Shih, P., "Dynamic responses of railway and carriage under high-speed moving loads" *Journal of Sound and Vibration*, 236: 61-78 (2004).
18. Economopolous, M. and Lambert, N., "A New Process For In-Line Head Hardening of Rails: Part 1- Metallurgical and Thermal and Principles of the Process" *Mechanical Working and Steel Processing Proceedings*, 21: 143-152 (1990).
19. Brantfitt, B. L., "Advanced In Line Head hardening of Rail" *Research Department, Bethlehem Steel Corporation. R.L Cross and D. P. Wirick Pennsylvania Steel Technologies*, Pennsylvania, 15: 20-30 (1994).
20. Pan, A.V. and Shumilin E.N., " Production of wear -resistans rail at the ntmk" *Tagil Iron and Steel Plant*, 40: 21-25 (1994).
21. Brooks , C.R., "Heat Treatment of Steels", *ASM Handbooks*, 140: 3-19 (1991).
22. Eker, B., Taşeri, L. ve Günaydın, L. "Makine Tasarımı El Kitabı" *Trakya Üniversitesi Yayınları*, Tekirdağ, 7: 214-220 (1994).
23. Baydur, G., "Malzeme Bilgisi" *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları*, Ankara, 18: 55-66 (1979).
24. Yalçın, H. ve Gürü, M., "Malzeme Bilgisi" *Palme Yayıncılık*, Ankara, 15: 203-205 (2002).
25. Bramfitt, B. L., "Accelerated cooling of rail," *Iron and Steelmaker*, 18: 33-41 (1991).
26. Başkonuş, M., ve Tekin, E., (2012). "Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri", International Iron and Steel Symposium, 02-04 Nisan 2012, Karabük.
27. TCDD, (2010). T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006-2010, Yayın No: 24, Ankara.

28. UIC, (2005). Recommendation For The Use Of Rail Steel Grades, Yayın No: 8, Paris.
29. TCDD, (1993). 1100 Kalite Rayların Kırılma Nedenleri Belirleme Araştırma Projesi Raporu, Yayın No: 5, Ankara.
30. Kardemir A.Ş., (2008). Stajer Öğrenci Eğitim Notları, Yayın No: 4, Karabük.
31. TCDD, (2012). Ray Alım Teknik Şartnamesi, TCDD 1. Bölge Müdürlüğü, İstanbul.
32. Koymatçık, H., (2012). R260 Kalite Rayların Optimum Mantar Sertleştirme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
33. Anil, K. S., “Dynamic strain ageing of various of steels”, *Metallurgical Transactions A*, 13 (A): 1793-1798 (1982).
34. Bystritskii, V., Garate, E., Earthman, J., Kharlov, A., Lavernia, E. ve Peng, X., (1999). “Fatigue Properties of 2024-T3, 7075 T6 Aluminum Alloys Modified Using Plasma-Enhanced Ion Beams”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 32: 47-53.
35. Magel, E., Sroba, P., Sawley, K., ve Kalousek, J., (). Control of Rolling Contact Fatigue of Rails, Centre for Surface Transportation Technology National Research Council Canada, Alberta.
36. Vidaud, M., ve Zwanenburg, W., (2009). “Current Stuation on Roolling Contact Fatigue – A Rail Wear Phenomena”, 9th Swiss Transport Research Conference, 9-11 September 2009.
37. Çelikyürek, İ., “Demir alüminantların borlanması ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen BilimleriEnstitüsü*, Eskişehir, 107-108 (2006).
38. Akbulut, H., “Malzemelerin sürtünme ve aşınma ders notları”, *Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, 1-22 (2006).
39. Yıldızlı, K., Odabaş, D. ve Nair, F., “Borlanmış AISI 1020 çeliğinin erozif aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Balıkesir Üniversitesi Fen BilimleriDergisi*, 131-139 (2003).
40. Öz Saraç, U. ve Durman, M., “Aşınma deney yöntemleri” *Makine Magazin*, 46: 40-46 (2000).
41. Klaasen, H. Vainola, V. and Kübarsepp, J., “Abrasive wear and mechanical properties of carbide composites”, *Materials Science*, 12 (1): 520-526 (2006).

42. Taşgın, Y. ve Kaplan, M., “Dubleks tekniğiyle üretilen FeCrC katkı malzemenin abrasif aşınma davranışlarının araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7: 217-224 (2007).

## ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Ali YENİDİNÇ; ilk ve orta öğrenimini Çankırı'da tamamladı. 2014 yılında Çankırı Nevzat Ayaz Anadolu Öğretmen Lisesi'den mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği bölümüne başlayıp, 2019 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Kısa süreli çalışma geçmişi oldu ve en son Eminönü-Alibeyköy Tramvay Hattı inşasında hat işleri mühendisi olarak görev yaptı.