



**R260 KALİTE RAY ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM
SONRASI MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Merve TEKGÖZ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr.Khangardash ASGAROV**

**R260 KALİTE RAY ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM SONRASI MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Merve TEKGÖZ

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

Merve TEKGÖZ tarafından hazırlanan “R260 KALİTE RAY ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM SONRASI MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Khangardash ASGAROV (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (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.”

Merve TEKGÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

R260 KALİTE RAY ÇELİĞİNİN ISIL İŞLEM SONRASI MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Merve TEKGÖZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV

Temmuz 2021, 71 sayfa

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında R260 kalite ray çeliğine uygulanan mantar sertleştirme işleminin mekanik özellikler ve mikroyapı üzerinde etkileri araştırılmıştır. Isıl işlem görmüş raylara sertlik ve basma deneyleri yapılmıştır. Optik ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobunda (SEM) mikroyapı görüntüleri incelenmiştir.

Rayın östenitleşme sıcaklığı 800 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma yöntemi olarak daldırma metodu seçilmiştir. Soğutma süreleri 1,10 saniye ve tam soğuma olarak belirlenmiştir. Soğutma ortamı sadece su ve su+hava olarak belirlenmiştir. İki numune 800 °C'de 1 ve 10 saniye sürelerle suda bekletildikten sonra havada soğumaya bırakılmıştır. Diğer numune ise 800 °C'de uç kısımları suya daldırılarak tam su verme ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sertlik değerleri, mantar sertleştirme yönteminde artan ısı işlem süresi ile artış göstermektedir. 10 sn süreyle su verilen ray numunesi R350HT kalite ray için gerekli olan sertlik değerlerini karşılama eğilimindedir. Tam su verme ısı işleminde ise yapı artık martenzit olmuştur.

SEM görüntülerinde, su verme süresi arttıkça mikro yapıların incelendiği gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulanmayan ray kaba perlit yapıdayken, 1 ve 10 sn sürelerle ısı işlem uygulanan raylarda ince perlitik yapı gözlemlenmiştir.

Basma deneyinde en gevrek malzeme tam su verilen ray numunesidir. Tam su verilen ray numunesi en yüksek mukavemet değerine ulaşmıştır. Diğer su verilen numuneler ise sünek özellik göstermişlerdir.

Anahtar Sözcükler : R260 kalite ray çeliği, ısı işlem, mikroyapı ve mekanik özellikler, sertlik deneyi, basma deneyi.

Bilim Kodu : 92421

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF R260 QUALITY RAIL STEEL AFTER HEAT TREATMENT

Merve TEKGÖZ

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

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV

July 2021, 71 pages

In this study, the effects of cork hardening applied to R260 quality rail steel on the mechanical properties and microstructure were investigated in the laboratory environment. Hardness and compression tests were carried out on the heattreated rails. Microstructure images were examined under optical light microscope and scanning electron microscope (SEM).

The austenitization temperature of the rail was determined as 800 °C. The immersion method was chosen as the cooling method. Cooling times were determined as 1.10 seconds and full cooling. The cooling medium is determined as water and water+air only.

Two samples were kept in water at 800 °C for 1 and 10 seconds and then allowed to cool in air. In the other sample, full quenching heat treatment was carried out by immersing the ends in water at 800 °C.

The hardness values increase with increasing heat treatment time in the cork hardening method. The rail sample, which is quenched for 10 seconds, meets the hardness values required for the R350HT quality rail. In the complete quenching heat treatment, the structure is now martensite.

In the SEM images, it was observed that the microstructures became thinner as the quenching time increased. While the rail that is not heat treated is in coarse perlite structure, the rails that are heat treated for 1 and 10 seconds are in fine pearlitic structure.

The most brittle material in the compression test is the fully quenched rail sample. The fully quenched rail sample reached the highest strength value. Other quenched samples showed ductile properties.

Key Word : R260 quality rail steel, heat treatment, microstructure and mechanical properties, hardness test, compression test.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Khangardash ASGAROV'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel alıőmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Harun UĞ'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca attığım her adımda yanımda olan, manevi desteklerini benden asla esirgemeyen sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ayrıca KBÜBAP-21-YL-024 nolu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
DEMİR YOLU RAYLARI	3
2.1. RAYLARIN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1.1. Rayların Görevleri	3
2.1.2. Rayların Bölümleri	4
2.1.3. Rayların Sınıflandırılması.....	4
2.1.3.1. Profil Özelliklerine Göre.....	4
2.1.3.2. Çelik Kalitelerine Göre	5
2.1.4. Rayların Üzerinde Yazan Bilgiler	6
2.2. RAYIN ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	7
2.2.1. Kimyasal Analiz	7
2.2.1.1. Karbon.....	7
2.2.1.2. Mangan	7
2.2.1.3. Silisyum	8
2.2.1.4. Fosfor	8
2.2.1.5. Kükürt	8

	<u>Sayfa</u>
2.2.1.6. Krom	8
2.2.1.7. Nikel.....	9
2.2.1.8. Alüminyum	9
2.2.1.9. Volfram.....	9
2.2.1.10. Vanadyum	10
2.2.1.11. Kobalt.....	10
2.2.1.12. Molibden	10
2.3. ÇELİKLERDE GÖRÜLEN FAZLAR.....	11
2.3.1. Ferrit	11
2.3.2. Sementit	12
2.3.3. Östenit.....	12
2.3.4. Perlit.....	13
2.3.5. Beynit.....	14
2.3.6. Martenzit.....	14
2.4. RAY TİPLERİ.....	15
2.4.1. Doğal Olarak Sert Raylar	15
2.4.2. Yüksek Alaşımli Raylar.....	16
2.4.3. Beynitik Raylar	16
2.4.4. Korozyona Dirençli Raylar.....	17
2.4.5. Mantarı Sertleştirilmiş Raylar	17
2.4.5.1. Geleneksel Isıl İşleme Sertleştirme.....	17
2.4.5.2. Hat Dışı Sertleştirme Metodu ile Mantar Sertleştirme	17
2.4.5.3. Hat İçi Sertleştirme Metodu ile Mantar Sertleştirme	18
2.5. DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN RAY STANDARTLARI.....	19
BÖLÜM 3	23
RAY ÇELİĞİ ÜRETİMİ	23
3.1. YÜKSEK FIRIN PROSESİ	23
3.1.2. Çelikhane Prosesi	24
3.1.2.1. Bazik Oksijen Fırını.....	25
3.1.2.2. Pota Fırınları	26
3.1.2.3. Vakum Altında Gaz Giderme	27

	<u>Sayfa</u>
3.1.2.4. Sürekli Döküm.....	27
3.1.3. Haddehane Prosesi.....	27
3.1.3.1. Tavlama.....	28
3.1.3.2. Haddeleme	28
3.1.3.3. Soğutma	29
3.1.3.4. Doğrultma	30
3.1.3.5. Tahribatsız Malzeme Muayenesi	30
BÖLÜM 4	31
ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ.....	31
4.1. ISIL İŞLEMLER	31
4.2. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER	34
4.2.1. Raylarda Su Verme İşlemi.....	35
4.2.2. Raylarda Su Verme Sistemleri	38
4.2.3. Su Verme İşleminin Sonuçları.....	40
4.3. MANTAR SERTLEŞTİRME İŞLEMİNİN GEREKLİLİĞİ.....	41
BÖLÜM 5	44
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	44
BÖLÜM 6	48
MALZEME VE YÖNTEM	48
6.1. NUMUNE HAZIRLAMA VE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	49
6.2. SERTLİK DENEYİ.....	50
6.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ	51
6.3.1. Optik Mikroskop Çalışmaları	51
6.3.2. SEM Analizi	52
BÖLÜM 7	54
DENEYSEL SONUÇ DEĞERLERİ VE TARTIŞMA	54
7.1. MİKROYAPI ANALİZ SONUÇLARI.....	54
7.1.1. Optik Mikroskop Analizi.....	54

	<u>Sayfa</u>
7.1.2. SEM Analizi	59
7.2. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI.....	60
7.3. BASMA DENEYİ SONUÇLARI.....	64
BÖLÜM 8	66
GENEL SONUÇLAR.....	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Rayın bölümleri.....	4
Şekil 2.2. Rayın üzerinde yazan bilgiler.....	6
Şekil 2.3. Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi.....	11
Şekil 2.4. Ferrit yapısı.....	12
Şekil 2.5. Östenit yapısı.....	13
Şekil 2.6. Perlit yapısı.....	13
Şekil 2.7. Beynit yapısı.....	14
Şekil 2.8. Martenzit yapısı.....	15
Şekil 2.9. Sertleştirme yöntemlerinde üretilen sertlik dağılımları.....	20
Şekil 2.10. Demiryollarında kullanılan standart kitapçıkların kapak sayfaları.....	19
Şekil 2.11. Standartlarda belirtilen çelik kaliteleri.....	20
Şekil 3.1. Yüksek fırının bölümleri.....	24
Şekil 3.2. Bazık oksijen fırını bölümleri.....	25
Şekil 3.3. Ray tezgah pasoları.....	29
Şekil 4.1. Kademeli su verme yöntemi.....	34
Şekil 4.2. %0,75 C+%1 Mn içeren ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm eğrisi .	36
Şekil 4.3. %0,8 C+ %0,75 Mn içerikli ray çeliğine %0,74 Cr+ %0,18 Mo eklenmesinin dönüşüm eğrilerine etkisi.....	36
Şekil 4.4. Perlitik bir yapıda lameller arası mesafe- akma dayanımı ilişkisi	40
Şekil 4.5. Dönüşüm sıcaklığı- mekanik özellik ilişkisi.....	40
Şekil 4.6. In-Line tipi su verme sistemi	38
Şekil 4.7. Off-Line tipi su verme sistemi	39
Şekil 4.8. Daldırma yöntemini kullanarak su verme	39
Şekil 4.9. Sprey yöntemini kullanarak su verme.....	40
Şekil 4.10. R350ht Kalite raylar için en 13674-1 standardındaki sertlik dağılımı.....	40
Şekil 4.11. Mantar sertleştirme işlemi öncesi ve sonrasında çekme diyagramları.....	41
Şekil 4.12. Sertlik değeri ve aşınma davranışı ilişkisi	43
Şekil 5.1. Karbon oranının mikroyapı ve çekme mukavemetine etkisi.....	49
Şekil 5.2. Sertliğin aşınma davranışı ile ilişkisi.....	50
Şekil 6.1. Standart ray numunesi.....	49

Sayfa

Şekil 6.2.	Isil işlem fırınında bekletilen ray numunesi	49
Şekil 6.3.	Farklı sürelerle mantari sertleştirilen raylar	50
Şekil 6.4.	Ts-En 13674-1 standardına göre sertlik değerlerinin alınacağı bölgeler	51
Şekil 6.5.	Zwick/Roell marka sertlik cihazı.	51
Şekil 6.6.	Nikon Eclipse Ma 200 optik ışık mikroskobu.....	52
Şekil 6.7.	Carl-Zeiss ultra plus cihazı.....	52
Şekil 6.8.	Kesilen numuneler ve su verme süreleri.	53
Şekil 7.1.	En 13674 standardına göre ray mantarında sertlik ölçümü yapılacak yerler	60
Şekil 7.2.	1 Sn su verilen numunenin sertlik diyagramı.....	61
Şekil 7.3.	10 Sn su verilen numunenin sertlik diyagramı.....	62
Şekil 7.4.	Tam su verilen ray numunesinin sertlik diyagramı.....	63
Şekil 7.5.	Farklı sürelerle su verilen numunelerin basma diyagramı.	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. TCDD hatlarında kurp yarıçapları, adetleri, uzunlukları ve tüm hatların uzunluğuna oranları	2
Çizelge 1.2. Çeşitli Avrupa demiryolları yönetimleri aracılığıyla tavsiye edilen kurp çapına göre ray çeliği kaliteleri	2
Çizelge 2.1. Rayların profillerine göre sınıflandırılması	5
Çizelge 2.2. Rayların çelik kalitelerine göre sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2.3. Farklı kalitelerdeki rayların kimyasal bileşimleri ve çekme dayanımları	16
Çizelge 2.4. Beynitik rayların mekanik özellikleri	17
Çizelge 2.5. UIC 860–0 standardında rayların katı analiz sonuçları.....	20
Çizelge 2.6. EN 13674-1 standardında rayların katı ve sıvı analiz sonuçları	21
Çizelge 2.7. R350HT ray kalitesinin kimyasal analiz ve mekanik özellikleri.....	21
Çizelge 2.8. R350HT ray kalitesinin maksimum artık elementleri.....	22
Çizelge 4.1. Soğutma maddeleri ve hızları	33
Çizelge 4.2. Soğuma hızının ray çeliği mikroyapısına etkisi.....	35
Çizelge 4.3. Farklı ray tiplerinin karşılaştırılması.....	38
Çizelge 4.4. Perlitik ve beynitik rayların mekanik özellikleri	43
Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan rayın kimyasal kompozisyonu.	48
Çizelge 6.2. R260 kalite tren rayının mekanik özellikleri.	48
Çizelge 7.1. 800 °C’de 1 saniye suya daldırma ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın optik ışık mikroskop görüntüsü.	55
Çizelge 7.2. 800 °C’de 10 saniye suya daldırma ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın optik ışık mikroskop görüntüsü.	56
Çizelge 7.3. 800 °C’de tam su verme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın optik ışık mikroskop görüntüsü.	57
Çizelge 7.4. Farklı su verme sürelerinde soğutulan ray numunelerinin mantar kesitinden SEM görüntüsü.....	59
Çizelge 7.5. 1 sn su verilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	61
Çizelge 7.6. 10 sn su verilen numunenin mikroyapı görüntüleri.	62
Çizelge 7.7. Tam su verilen ray numunesinin mikroyapı görüntüleri.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Cr	: krom
Co	: kobalt
Al	: alüminyum
kN	: kilonewton
Si	: silisyum
Cu	: bakır
V	: vanadyum
Mn	: mangan
m	: metre
mm	: milimetre
Mo	: molibden
MPa	: megapascal
μ	: mikron
N	: newton
σ	: normal gerilme
R _m	: çekme mukavemeti
S	: kükürt
Fe	: demir

KISALTMALAR

UIC	: International Union of Railway (Uluslararası Demiryolları Birliği)
BOF	: Basic Oxygen Furnace (Bazik Oksijen Fırını)
OBM	: Oxygen and Lime Bottom Blowing Process (Alttan oksijen ve kireç üfleme prosesi)

- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
- ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
- TS : Türk Standardı
- ISO : International Organization of Standardization (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu)
- HB : Hardness of Brinell (Brinell Sertlik)
- PPM : Part Per Million (Miyonda bir)
- LD : Linz- Donowiz
- HMK : Hacim Merkezli Kübik
- YHT : Yüksek Hızlı Tren

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hem çevresel faktörler hem de karayolu taşımacılığının güvenilirliğini ve ekonomikliğini giderek kaybetmeye başlamasıyla ülkeler ulaşım alanında yeni fikirler üretmek mecburiyetinde kalmışlardır. Deniz ve hava yolu ulaşım türlerinin seçenек olamayacağı yerlerde demir yolu mecburi bir yöntem olmuştur. YHT, diğer taşıma türlerine göre %10 daha az karbondioksit salınımı yapmaktadır [1].

Ülkemizde demir yolu sektöründeki gelişmelerle birlikte daha kaliteli malzeme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır ve bu malzemelerin maliyetleri yerli kaynaklarla karşılanarak dışa bağımlılığın azaltılması fikrini ortaya çıkarmaktadır. Raylar, demiryollarının en önemli elemanıdır. Demir yolu rayları, kurplarda ve düz hatlarda çeşitli zorlamalarla karşılaşır. Bilhassa yarıçapı 2000 m'den az kurplarda rayların kullanım ömürleri % 50 oranında azalmaktadır. Ülkeden ülkeye değişiklik gösterse de; demiryollarında 2000 metre ve daha az eğrilik yarıçapına sahip olan virajlara “dar viraj” denir. Ülkemizde bulunan demir yolu hatlarının ortalama % 34,2'si dar virajlı yollardır. Ray ömrü; düz hatlarda 20-25 yıl arasında değişirken, dar virajlı yollarda bu süre 2-3 yıla kadar inmektedir. Bu durumda, mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması UIC tarafından tavsiye edilmektedir. Uluslararası Demiryolları Birliği'nin yayınladığı rapora göre, yarıçapı 400 m'den düşük ve senede 20 milyon tondan çok tekerlek yüküyle karşılaşılan yollarda mantarı sertleştirilmiş ray kullanımı zaruri olarak görülmektedir. Mantarı sertleştirilen ray, iç raylarda aşınmayı geciktirerek rayın ömrünü uzatmaktadır [2].

Demir yolu raylarında, aşınma ve yorulma çatlakları daha çok rayın mantar bölümünde olduğundan raylara mantar sertleştirme işlemi yapılmaktadır. Mantarı sertleştirilmiş raylar, demiryolu raylarında meydana gelen yuvarlanma temas yorulmasını ve kayma aşınmasını engellemek için daha çok dar yarıçaplı kurplarda bulunmaktadır. Perlitik mikroyapıya sahip R260 kalite ray çeliklerine, mantar sertleştirme ısıl işlemi

uygulanarak R350HT kalite ray çeliği haline gelir [1,2,7]. Türkiye’de bulunan demir yolu hatlarında kurp yarıçaplarına göre hat uzunluklarının dağılımı Çizelge 1.1’de gösterilmektedir. Bu çizelgedeki bilgilere bakarak mantarı sertleştirilmiş demir yolu raylarını hatlarımızın çoğunda kullanmak zorundayız [7].

Çizelge 1.1. TCDD hatlarında kurp yarıçapları, adetleri, uzunlukları ve tüm hatların uzunluğuna oranları [3,7].

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

Demir yolu hatlarında uygun malzemelerin seçimi çok önemlidir. Bu malzemelerin seçimini yaparken ekonomik ve güvenli olması ön planda tutulur. Bu konuda duyarlı davranılmazsa çok büyük can ve mal kayıplarıyla karşı karşıya gelinebilir. Avrupa’da çeşitli demir yolu yönetimleri aracılığıyla kullanılması tavsiye edilen ray çeliği kaliteleri Çizelge 1.2’de verilmektedir.

Çizelge 1.2. Çeşitli Avrupa demiryolları yönetimleri aracılığıyla tavsiye edilen kurp çapına göre ray çeliği kaliteleri [4,7].

Kurp Çapı	≤300	≤400	≤500	≤600	≤700	≤800	≤1500	≤3000	≤30000
DK	R350HT					R350HT			
UIC	R350HT		R350HT/R260			R260			
DB	R350HT(≥30000 t/d)							R260	
CH	R350LHT		R350LHT /R320Cr			R350LHT /R320Cr		R260	
AT	R350HT	R260							
SWE	R350HT	R260							
NOR	R350HT					R260			
UK	R260								

BÖLÜM 2

DEMİR YOLU RAYLARI

2.1. RAYLARIN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Kaliteli çelikten imal edilen demiryolu sistemlerinde kullanılan raylar; sabit olmayan zorlamalar altında çalışan, maruz kaldığı yükleri üzerinde bulunduğu traverslere ileten bir üstyapı elemanıdır. Demiryolu sistemlerinde yüksek güvenilirlikli ve daha uzun kullanım ömrüne sahip malzemelerin seçilmesi giderek önem kazanmıştır. Buna bağlı olarak kullanılan malzemelerin de mekanik etkilere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Raylar; aşınmaya karşı gerekli dayanımı sağlayabilecek kadar sert, fakat darbeler ve taşıdığı yükler nedeniyle oluşabilecek deformeler sebebiyle hemen kırılmayacak kadar esnek çelikten imal edilirler. Ray çeliğinin yapısında demir, silisyum, karbon, kükürt, fosfor ve manganez bulunur. Rayı daha dayanıklı hale getirmesi için karbon, silisyum ve manganezin yeterli miktarda bulunması yararlıdır. Çelik yapısından tamamen çıkarılamayan fosfor ve kükürt ise zararlı elementlerdir.

Özellikle son yıllarda rayın taşıma gücü artırılarak, daha fazla dingil basıncıyla yüksek hızlarda işletmecilik yapmak ray kesitinin büyütülmesi ile sağlanabilmektedir. Ray çeliğinin çekme dayanımı UIC standartlarına göre en az 880 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Rayları aşınmaya karşı daha güçlü hale getirmek için rayın mantar kısmı ısıtılarak geçirilerek sertleştirilir. Böylelikle rayın sertliği 280 HB değerinden 360 HB değerine çıkarılır. Ray mantarında yapılan bu sertleştirmeler sonucunda derinliği 14-40 mm arasında değişen sert bir bölge elde edilir [5].

2.1.1. Rayların Görevleri

- Tekerleklerle düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- Tekerleklerden gelen yükleri traverslere aktarmak,
- Tekerleklerle yön göstermek,

- Sinyalizasyon akımını ve elektrikleri, hatlarda kataner geri dönüş akımını iletmek,

rayların görevleri arasındadır.

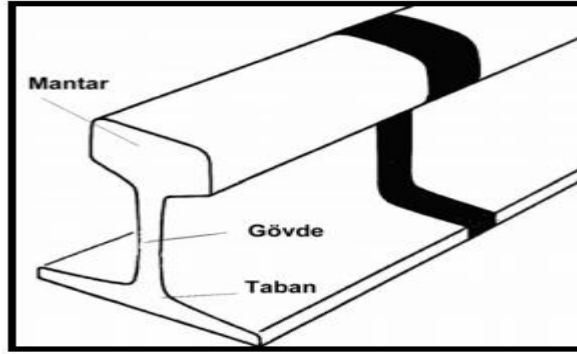
2.1.2. Rayların Bölümleri

Demiryollarında geçmişten günümüze kadar çeşitli boyut ve şekillerde raylar tasarlanmıştır. Fakat günümüzde tüm dünya demiryollarında, “Vinyol tipi” olarak adlandırılan ve tasarımcısının adını taşıyan düztabanlı (patenli) raylar kullanılmaktadır. Vinyol (Vignol) tipi raylar, üç kısımdan oluşur. Bunlar:

Mantar: Demir yolu hattında, tekerlekle rayın temas ettiği ve yükün üstyapıya aktarıldığı kısımdır.

Gövde: Rayın mantar kısmından gelen yükleri tabana iletir. Zarar görmeyecek kadar yeterli kalınlıkta, ancak maliyeti en aza indirecek kadar ince olarak yapılır.

Taban: Ray gövdesinin altında bulunan kısımdır. Rayın travers ile olan bağlantısı tabandan yapılır [5].



Şekil 2.1. Rayın bölümleri [6].

2.1.3. Rayların Sınıflandırılması

2.1.3.1. Profil Özelliklerine Göre

Raylar; önceden kullanıldıkları hat bölgesine göre, daha sonradan bir metresinin ağırlığına göre sınıflandırılmıştır. Ray tiplerinin benzer olmasına karşın değişik

isimlerle anılmasının yol açtığı karışıklıklara son vermek amacıyla, TCDD Genel Müdürlüğü rayların tanımlanmasında UIC standartlarının kullanılmasını kararlaştırmıştır.

Günümüzde hala kullanımda olan başlıca rayların adları ve ölçüleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.1. Rayların profillerine göre sınıflandırılması [5].

Yeni İsmi	Eski İsmi	Rayın Birim Ağırlığı		Taban Genişliği	Yüksekliği	Mantar Genişliği
60 E1	UIC 60	TCDD 15. SERİ	60.340 kg/m	150 mm.	172 mm.	72 mm.
		EN 13674-1	60.210 kg/m			
60 E2	---	EN 13674-1	60.030 kg/m.	Mantar profili farklı makas rayı		
49 E1	DIN S 49	TCDD 15. SERİ	49.430 kg/m	125 mm.	149 mm.	67 mm.
		EN 13674-1	49.390 kg/m			
49 E2	S 49 T	TCDD 15. SERİ	49.050 kg./m	125 mm.	148 mm.	67 mm.
		EN 13674-1	49.100 kg./m			
46 E2	S 46 (U33)	TCDD 15. SERİ	46.303 kg./m	134 mm.	145 mm.	64 mm.
		EN 13674-1	46.270 kg./m			
--	S 39	TCDD 15. SERİ	39.520 kg./m	120 mm.	138 mm.	62 mm.

2.1.3.2. Çelik Kalitelerine Göre

Rayların üretiminde kullanılan çeliğin kalitesine göre yapılan sınıflandırma aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.2. Rayların çelik kalitelere göre sınıflandırılması [5].

Çelik türü	Ray Kalitesi	Sertlik aralığı HBW*	Asgari Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Hadde işareti (Sembol)
R 200	700	200-240	680	Hadde işareti yok
R 220	800	220-260	780	—
R 260	900 A	260-300	880	==
R 260 Mn	900 B	260-300	880	===
R 320 Cr (% 1)	1100	320-360	1080	====
R 350 HT	900 A (HH)	350-390	1175 Mantar 880 Taban ve gövde	== —

2.1.4. Rayların Üzerinde Yazan Bilgiler

Rayların gövdeleri üzerinde

- Rayın tipi
- Üretici firma
- Çelik kalitesi
- Üretim tarihi gibi yazılı bilgiler bulunur.



Şekil 2.2. Rayın üzerinde yazan bilgiler [5].

KARDEMİR: Üretici firma

———— : Rayın çelik kalitesi

14 (2014) : İmalat tarihi

60 : Rayın ağırlığı (kg/m)

E1 : Rayın profil ve ölçü özellikleri

2.2. RAYIN ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

2.2.1. Kimyasal Analiz

Çeliklerin mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli aşamalardan biri alaşım elementleridir. Ray çeliğinde de diğer çeliklerde olduğu gibi en temel alaşım elementi karbondur.

2.2.1.1. Karbon

Karbon, çeliğin özelliklerini belirleyen en önemli katkı elemanıdır. Karbon miktarı çeliğin mekanik ve yapısal özelliklerini etkiler. Çeliğin yapısındaki karbon oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artarken, süneklilik azalmaktadır. Karbon elementi, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırırken yüzde uzama oranını azaltır. Karbon çeliği sertleştirir.

2.2.1.2. Mangan

Neredeyse bütün çeliklerde %0,3 ya da daha fazla miktarlarda mangan bulunmaktadır. Oksit ve kükürt giderici bir özelliğe sahiptir. Mangan bütün karbonlu çeliklerde yüzey kalitesini iyileştirir, şekillendirilebilirliği ve kaynak kabiliyetini iyi yönde etkiler. Kükürtle birleşerek MnS bileşimini oluşturur ve FeS bileşiminin olumsuz etkisini azaltır. Böylece çeliğin talaşlı işleme kabiliyeti de artar. Tren raylarında kullanılan manganez oranı 0,65 ile 1,25 aralığında değişim göstermektedir.

2.2.1.3. Silisyum

Çeliklere yeni özellikler kazandırabilmek ve katkı elemanı olarak kullanabilmek için malzeme yapısında en az %0,5 Si bulunması gerekir. Akma ve çekme mukavemetini artırır, aynı zamanda çeliğin oksidini alır. Silisyum miktarı fazla olan çeliklerde kaba dokulu yapı meydana gelir. Demiryollarında kullanılan raylarda üretim metoduna ve kullanan ülkelere göre Si oranı %0,15 ile %0,6 aralığında değişim göstermektedir.

2.2.1.4. Fosfor

Çelik iç yapısında bulunması istenmeyen elementlerden biridir. Çelikte soğuk kırılmalığa sebep olur yani malzeme soğuk biçim değiştiremez. Çoğu çelikte fosfor oranı %0,05 ile sınırlandırılmıştır. Fosfor, yüzde uzama ve eğilme özelliklerini olumlu yönde etkilerken akma ve çekme özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Çelik üretim aşamalarında ortaya çıkan bir elementtir ve yapıdan uzaklaştırılması istenir. Tren rayı ve dingili için izin verilen maksimum değerler %0,25 ve %0,35'dir.

2.2.1.5. Kükürt

Çelik iç yapısında bulunması istenmeyen bir diğer element kükürttür. Kaynak kabiliyetini ve malzemenin sertleşebilirliğini zorlaştırır. S, Fe ile birleşerek FeS bileşimini oluşturur. Tane sınırlarında birikir ve yapının gevrekleşmesine neden olur. Yapısında kükürt bulunduran çelik, haddeleme ya da sıcak dövme işlemine tabi tutulduğunda taneleri arasındaki bağlar kopar ve çatlama meydana gelir. Diğer bir deyişle sıcak yırtılma oluşur. Manganın kükürtü bağlama özelliğinden faydalanılarak bu olumsuz etkiden kurtarılabilir. Perlitik ray çeliklerinde kükürt içeriği genellikle %0,025 ile sınırlandırılmıştır.

2.2.1.6. Krom

Çeliklere en çok eklenen alaşım elementidir. Paslanmaz çelikler ve ısıya dayanıklı çelikler yüksek miktarda krom içerirken; yaylar, dişliler ve yapı çelikleri az miktarda krom içerir. Çekme dayanımı, ısı dayanımı ve sertleşme kabiliyetini artırır. Manyetik özellikleri olumlu yönde etkiler. %25'e varan krom ilavesiyle, yapı üzerinde Cr_2O_3

(oksit tabakası) meydana getirerek paslanmaya karşı dayanıklılık gösterir ve malzeme yüzeyinde daha canlı bir görünüm sağlar.

2.2.1.7. Nikel

Daha çok paslanmaz çeliklerde kullanılır. Son yıllarda nikel alaşım elementinin yalnız kullanımında düşüş olmuş; Ni-Mo, Ni-Cr ya da Ni-Cr-Mo alaşımları yaygınlaşmıştır. %5'e varan Ni ilavesiyle sertlik, çekme dayanımı ve tokluğu artırırken; %5'ten fazla Ni ilavesiyle korozyon ve oksidasyon direncini artırır. Çeliklerin sertleştirilme işleminde soğutma çok hızlı yapılırsa çekirdeğe kadar sertleşememe sorunu ortaya çıkar ve bu sorun Ni ilavesiyle çözülür. Ni, çeliğin kritik soğuma hızını düşürerek daha derinlere kadar sertleşmesini sağlar.

2.2.1.8. Alüminyum

Çeliğin iç yapısındaki olumsuzlukları gideren en güçlü deoksidandır. Çelik sıvı haldeyken Al ilavesi yapılır. Isıya dayanıklı çeliklerde sıcaklığa karşı dayanımı artırır. Çeliğin ısıtılması sırasında tane büyüklüğünü kontrol etmek amacıyla kullanılır. Alüminyum, silisyuma benzer özellikler gösterir. Çelik üretimi esnasında, cüruf oluşturarak çeliğin iç yapısında bulunan yabancı maddelerin uzaklaşmasına yardımcı olur. Çeliklerin yüksek sıcaklıklarda korozyona uğramasına engel olur. Alüminyumun, çeliklerde %5 oranında gaz giderici etkisi vardır.

2.2.1.9. Volfram

Tungsten olarak da bilinir. Çeliklerde dayanımı ve sertleşme kabiliyetini artırır. Çeliğin iç yapısında bulunan C ile birleşerek volfram karbür oluşturur ve böylelikle çeliğin sert bir yapıya ulaşmasını sağlar. Ancak burada önemli bir detay vardır; karbür oluşumu sağlayan volfram, çeliğin iç yapısındaki karbon miktarının azalmasına sebep olur. Çeliğin yapısındaki karbon miktarının azalması malzemenin sertleşmesine engel olur. Bu olumsuz durumun giderilmesi için volfram miktarı ile karbon miktarının doğru orantılı olarak ilave edilmesi gerekir. Genel olarak takım çeliklerinde kullanılır.

2.2.1.10. Vanadyum

Volfram ve molibdenin yeterli ve istenilen özelliği sağlamadığı durumlarda kullanılır. Volframda olduğu gibi karbür yapıcı özelliği vardır. Karbür, çeliğin sert olmasını sağlar. Çelikte sertlik ve dayanımı artırırken, çeliğin özlü olmasına da neden olur. Bu özlü yapı, vanadyum ilaveli çeliklerin darbeli ve vurutulu yerlerde kullanılmasını sağlar. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı artırır. %0,1 gibi düşük miktarda kullanılsa dahi, sertleştirme süreci sırasında tane büyümesini (irileşmesini) büyük oranda önler.

2.2.1.11. Kobalt

Karbür ya da grafit oluşturamadığı için çeliklerde sertleşme kabiliyetini azaltan tek elementtir. Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini yavaşlattığı için genellikle sıcağa dayanıklı çeliklere ve hız çeliklerine ilave edilir. Çeliğin manyetik özelliklerini olumlu yönde etkiler. Isıya dayanıklılığı ve aşınma direncini artırır. Genellikle takım çeliklerine, mıknatıs yapımında kullanılan çeliklere ilave edilir.

2.2.1.12. Molibden

Tek başına nadiren kullanılır. Genellikle krom, nikel ya da her ikisi ile birlikte kullanılır. Çeliklerde çekme ve ısıya karşı dayanımı artırır. Kesit daralması ve yüzde uzamayı azaltır. Volframın çelik üzerindeki etkilerinde olduğu gibi malzemenin ısı özelliklerinde iyileştirme yaparak tavlama karşı gösterdiği bozuklukları yok eder. Bu katkı elemanın aside karşı dayanıklılığı hava çeliklerinde kullanılmasına imkân sağlar. Karbonla birleşerek kuvvetli karbür meydana getirdiği için takım çeliklerinde kullanılır [8].

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ															
ALAŞIM	SERTLİK	DAYANIM	AKMA NOKTASI	UZAMA	KESİT DARALMASI	DARBE DİRENCİ	ELASTİKİYE T	YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIM	SÖĞÜTME HIZI	KARBÜR OLUŞUMU	AŞINMA DİRENCİ	DÖVÜLEBİLİRLİK	İŞLENEBİLİRLİK	OKSİTLENME	KOROZYON DİRENCİ
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↓↓↓	↑	↓	~	-
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
Ni	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓↓↓	-	↓	↓	↓	↓	-
Ni**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	-	↑↑↑	↓↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑↑
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	-	↓↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	~	-	↑↑↑	↓↓↓	↑↑	↑↑↑	↓	↓	↓↓↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	-	↑↑	↓↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S	-	-	-	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑↑

* Perlitik çeliklerde
** Östenitik çeliklerde

↑ Arttırır ↓ Azaltır ~ Değiştirmez - Onemsiz yada bilinmiyor

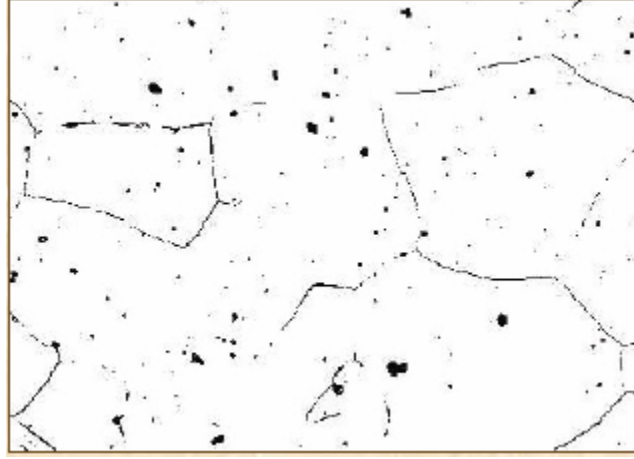
Şekil 2.3. Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi [7].

2.3. ÇELİKLERDE GÖRÜLEN FAZLAR

Çelikler; yapılarındaki karbon oranına, yapılarında buldukları alaşım elementlerine, buldukları sıcaklıklara ve uygulanan çeşitli ısıl işlemlere göre ferrit, östenit, martenzit, sementit ve perlit gibi fazlardan bir ya da birkaçını bulundurabilmektedirler [9].

2.3.1. Ferrit

Oda sıcaklığındaki saf demirin hacim merkezli kübik (HMK) yapısına verilen addır. Ferrit, içerisinde çok az miktarda karbon (C) çözündürür. İçerisindeki karbon miktarı çok az olduğundan dolayı neredeyse saf demirin özellikleriyle aynı özelliklere sahiptir. Sertliği ve mukavemeti düşük ancak sünekliliği ve işlenebilirliği yüksektir. Demir-karbon denge diyagramının en yumuşak yapısıdır ve manyetik özelliğe sahiptir.



Şekil 2.4. Ferrit yapı [10].

2.3.2. Sementit

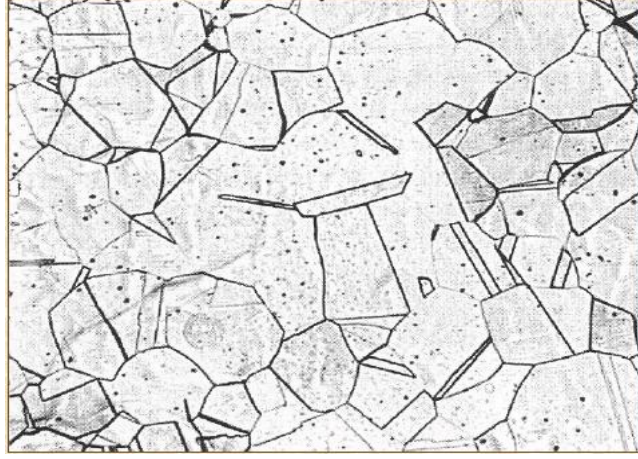
Ortorombik bir kristal kafes yapısı vardır. İntermetalik bir fazdır. Metaller arası (intermetalik) faz yapısında 3 Fe (demir) ile 1 C (karbon) atomu bir araya gelerek

sementit fazını meydana getirirler. Çeliğin yapısındaki en sağlam fazdır ve aynı zamanda kırılgandır.

Çekme dayanımı düşük fakat basma dayanımı yüksektir. %100 perlitik yapıda olan mantarı sertleştirilmiş rayın, sementit katmanları ile arasındaki mesafe düşürülerek mekanik özelliklerinin olumlu yönde değişim gösterdiği gözlemlenmiştir [7].

2.3.3. Östenit

Yüzey merkezli kübik (YMK) kafes yapısı vardır. Çelikler sertleştirilirken ulaşılan östenit yapının tane büyüklüğü, ısıtma işlemlerinden sonra oluşacak olan malzeme özelliklerinde önemli bir etkisi vardır [7]. Östenitin tane büyüklüğü arttıkça daha büyük taneli bir yapı oluşacağı için malzemenin mekanik özellikleri kötüleşir. İnce taneli yüksek dayanımlı yapı çeliklerinin üretiminde, malzeme östenit sıcaklığında fazla süre bekletilmez. Bu kural tüm çeliklerde olduğu gibi ray çeliğinde de geçerli bir kuraldır.

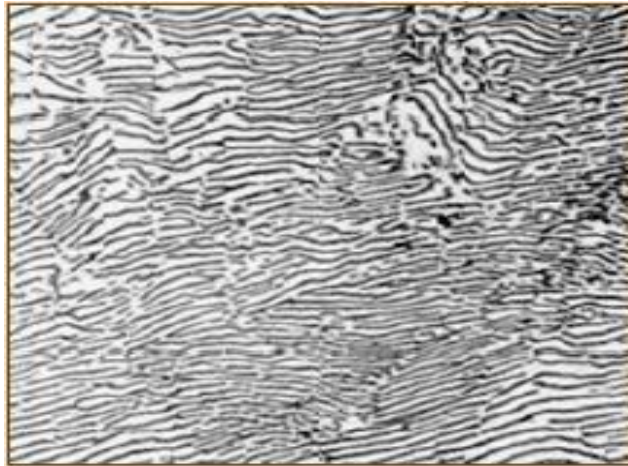


Şekil 2.5. Östenit yapı[10].

2.3.4. Perlit

Ferrit ve sementit fazlarının karışımından oluşan katmanlı ya da tabakasal bir mikro yapıdır. %88 ferrit ve %12 sementit içerir.

Perlit, ötektoid dönüşüm sonucunda oluşur, bu nedenle perlit oluşurken sıcaklık daima aynı kalır. Ötektoid dönüşüm, 723 °C sıcaklıkta ve %0,8 oranında karbon bulunduran yapının yavaş soğuması ile oluşur. Perlit fazı oluşurken, östenit kafesinde bulunan C atomları tane sınırlara kadar yol alır. Tane sınırlarında, karbon ile demir atomları birleşerek sementit fazını oluştururlar. Karbon miktarı azalan YMK yapıdaki östenit fazı, HMK yapısındaki ferrit olur. Bu dönüşüm neticesinde ferrit üzerine sementit lamelleri dizilerek perlit yapısını oluşturmuş olurlar [7].



Şekil 2.6. Perlit yapı [9].

2.3.5. Beynit

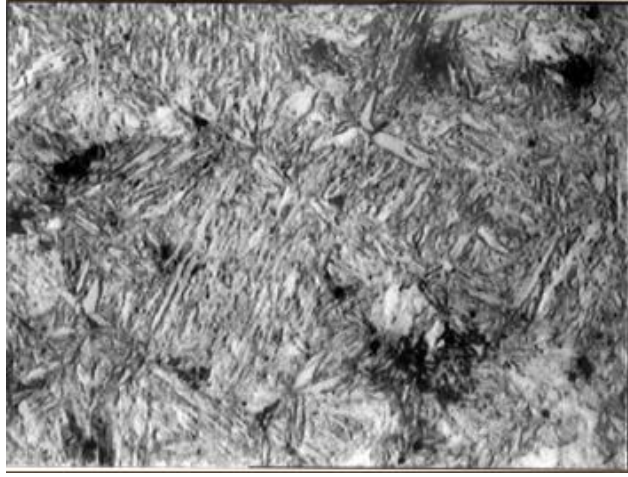
Östenit fazından sabit sıcaklıkla (izotermal) değişim neticesinde meydana gelen bir mikro yapıdır. Demir ve sementit fazlarından oluşan iki fazlı bir yapıdır. Beynit yapısı, perlit yapı oluşum sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda oluşur [7]. Mikro yapısı iğnemsidir, sünek özellik göstermez. Üst ve alt beynit olarak iki farklı mikro yapısı vardır [9].



Şekil 2.7. Beynit yapısı [10].

2.3.6. Martenzit

Östenit fazının hızlı soğutulması sonucu elde edilen sert ve kırılgan bir mikro yapıdır. Hacim merkezli tetragonal bir kristal yapıya sahiptir. %0,6 oranından daha çok karbon bulunduruyorsa HMK yapıda olur [9]. Dayanımı yüksektir.



Şekil 2.8. Martenzit yapı [9].

2.4. RAY TİPLERİ

Raylar, tren hızlarına ve ağırlıklarına bağlı olarak farklı özellikler içerebilir. Bu farklı özellikteki rayların demiryolu hattındaki kullanım durumuna göre maliyet parametreleri önemlidir. Bundan dolayı demiryolu hatlarında en uygun değerleri sağlayan ve maliyet açısından da uygun raylar kullanılmalıdır [8].

2.4.1. Doğal Olarak Sert Raylar

Demir yolu rayları çoğunlukla doğal sertliklerinde sunulur. Bu raylar, kristalleşme durumuna göre isimlendirilen perlitik raylardır. Haddelme işleminin ardından soğutma ve doğrultma yöntemleri sırasında ulaşılan sonuçlar rayların son şeklini almış halidir. Örnek olarak R260 kalitesindeki demir yolu rayları, düz hatlarda her 100 metrede ortalama olarak 0,71-1 milimetre ve 600 metre yarıçaplı kurplarda 2-3 milimetre aşınma oranı sergilemektedir. 200 N/mm² ile çekme dayanımındaki yükselme, aşınma oranının yarısına tekabül etmektedir. Çekme dayanımındaki bu yükseliş, ısı işlemi ile elde edilmektedir [2,9].

Çizelge 2.3. Farklı kaliteleredeki rayların kimyasal bileşimleri ve çekme dayanımları [31].

Kalite	Freze Son Katı	Gösterim	Kimyasal Bileşim (%)					R_m (N/mm ²)
			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 özel kaliteleri	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	başlık sertliği		0,77	0,3	0,9	0,1	-	1175
1400	“doğal” sertlik	(beynitik)	0,3	1,8	2	2-3		1400

2.4.2. Yüksek Alaşımli Raylar

Bu malzemelerde temel amaç yüksek çekme dayanımıdır. Yüksek alaşımli ray çeliklerinin çekme dayanımları 1300 N/mm² ye çıkabilmektedir. Bu sonuçlar, perlit yapısının büyüme miktarının kontrolü sebebiyle, katmanlar arasındaki uzaklığın az olmasının neticesidir [2]. Ancak yüksek alaşımli rayların olumsuz tarafı, azalan kırılma sertliği ve artan kaynak hassasiyetidir. Yapıda istenmeyen parçaların var olmasını engellemek için kaynak işleminden sonra soğutma hızına dikkat edilmelidir [7,12].

2.4.3. Beynitik Raylar

Beynit; martenzit, karpit veya ikinci adım olarak kalıntı östenit barındıran, güçlü bir şekilde gerdirilmiş ferritten oluşan yapıdır. Beynitik ray çeliklerinde akışkanlığın kaybı söz konusu değilken, daha yüksek değerlerde mekanik dayanım değerleri gözlemlenmektedir. Bu kategorideki ray çelikleri; az miktarda karbon, molibden ve krom içerir. [1,7,9].

Çizelge 2.4. Beynitik rayların mekanik özellikleri [7].

Mikroyapı	Rm (MPa)	% A	K _{1c} (MPa m ^{1/2})	U çentikli Charpy (J, 200C)	Yorulma Dayancı (MPa)	Aşınma (gr/saat)
Beynitik	1400	13,5	98	39	870	0,77

2.4.4. Korozyona Dirençli Raylar

Alüminyum, bakır, silisyum ve krom gibi alaşım elementlerinin eklenmesiyle elde edilen ray çelikleri, yüzey tabakalarında oksit bir yapışkan film bulundurur. Bu yapışkan film, rayların yüzey tabakası ile ortamın bağlantısını engelleyerek korozyon direncini oluşturmaktadır. Mekanik özelliklerde de bir düzelme istenirse, ray çeliğine Cr eklenmesi en iyi yoldur [7,9].

2.4.5. Mantarı Sertleştirilmiş Raylar

2.4.5.1. Geleneksel Isıl İşleme Sertleştirme

Bu yöntemde ray, östenitleme sıcaklığına (840-860°C) kadar ısıtılır ve ince perlitik bir yapı elde etmek için 40 °C'deki yağ banyosunun içine daldırılır. Üretilen gerilimi yok etmek için 450 °C' de temperlenir. Ray, üniform bir dayanım ve sertliğe kavuşur ve mantar yüzeyinde 365-375 HB sertlik değeri ölçülür. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ek bir prosese gereksinim duyulması ve bu yüzden yüksek maliyete ve üretimde azalmaya neden olmasıdır.

2.4.5.2. Hat Dışı Sertleştirme Metodu ile Mantar Sertleştirme

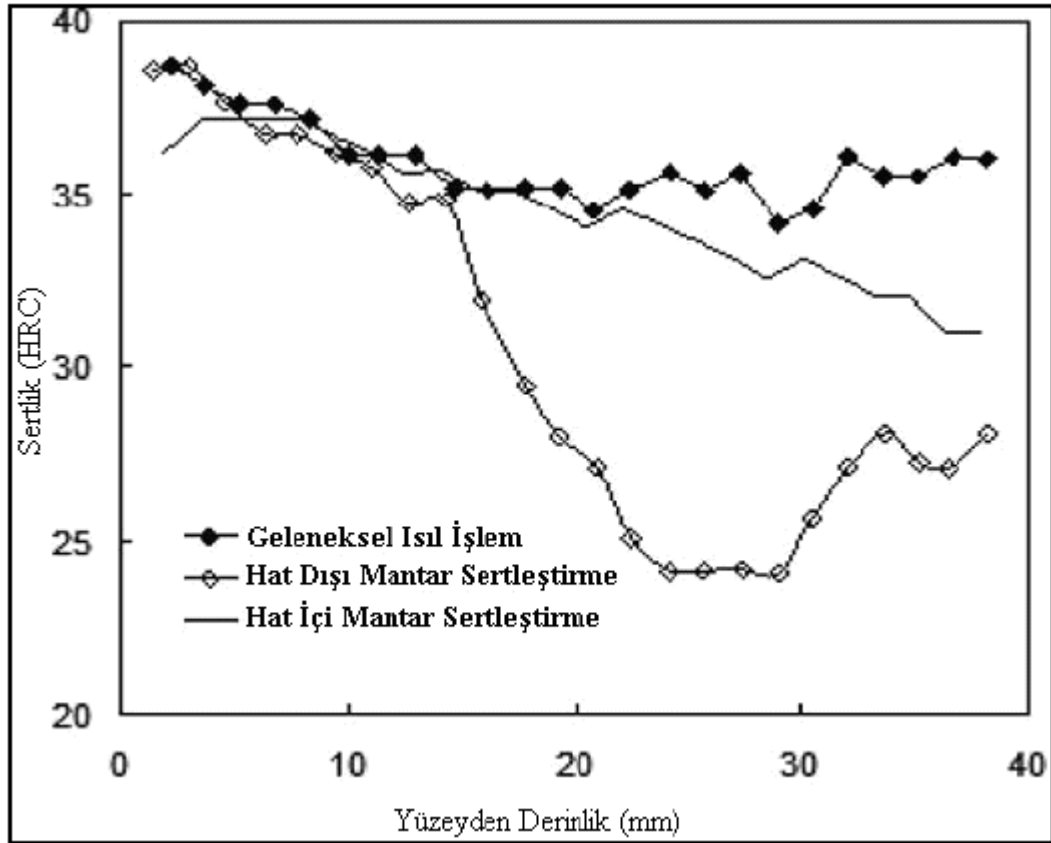
Bu yöntemde ray, 2-6 dakika arası östenitleşme sıcaklığında (850-950 °C) alevle ya da indüksiyon yöntemiyle ısıtılır. Daha sonra rayın mantar bölgesi; hava, su veya hava+su karışımıyla 650-500 °C' de söndürülür. Bu yöntemde, söndürme durumu sınırlıdır ve raylar ısıl işlemde önce-sonra doğrultulmalıdır. Geleneksel ısıl işlemle sertleştirme yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de en büyük dezavantaj ilave bir

prosesine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu yüzden yüksek maliyet ve üretim hızında düşüşe neden olmaktadır.

2.4.5.3. Hat İçi Sertleştirme Metodu ile Mantar Sertleştirme

En etkili yöntem olarak bilinen hat içi sertleştirme yöntemi, haddeleme işleminden sonra ray sıcaklığı 800 °C' den fazla ise direk olarak tesise taşınır. Sertleştirme banyosunda veya su püskürtme yöntemiyle ray mantarının tamamı söndürülür. Bu işlem yaklaşık olarak 2-2,5 dakika sürmektedir. Doğrultma ve test işleminin yapılabilmesi için ray sıcaklığının yaklaşık olarak 60 °C'ye düşürülmesi gerekir. Hat içi sertleştirme yönteminde, ilave bir prosese gereksinim duyulmaz ve sertleştirme işleminde devamlılık söz konusudur. Üretim hızı olarak bu yöntem hat dışı sertleşmeye göre 4-5 kat daha fazladır.

Sertlik düşüş oranına; geleneksel ve hat içi sertleştirme yöntemlerinde, hat dışı yöntemlere göre yüzeyden derinlere doğru inildikçe rastlanmamaktadır [9].



Şekil 2.9. Sertleştirme yöntemlerinde üretilen sertlik dağılımları [34].

2.5. DEMİRYOLLARINDA KULLANILAN RAY STANDARTLARI

Demiryolu raylarının üretiminde birçok standart olmasına rağmen, dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan ray standartları UIC 860-0 ve EN 13674-1'dir. Bu iki standartta materyallerin unvan ve özellikleri belirtilmektedir. Bu demir yolu standartları, ürünün niteliğini güvence altına alabilmek için ürünü elde edenii ilgilendirir [7,9].



Şekil 2.10. Demiryollarında kullanılan standart kitapçıkların kapak sayfaları [6,23].

UIC 860-0 ve EN 13674-1 demiryolu ray standartları, çelik kalitelerini belirtirken aralarında çok az farklılık bulundurmaktadır [2,9].

<ul style="list-style-type: none"> • UIC 4 kalite – 700 – 900A – 900B – 1100 – 1100 HH 	<ul style="list-style-type: none"> • EN 7 kalite – R 200 – R 220 – R 260 – R 260Mn – R 320Cr – R 350HT – R 350LHT 	Mantarı sertleştirilmiş raylar
--	---	--------------------------------------

Şekil 2.11. Standartlarda belirtilen çelik kaliteleri [6,9,23].

DIN EN 13674-1 standardı genellikle R220, R260, R320Cr ve R350HT gibi C oranları 0,6-0,8 aralığında olan perlitik çelikleri içerir. Bu çelikleri aşağıdaki gibi gösterebiliriz:

- Isıl işlem koşulları ile R220, R260 ve R320Cr ray kaliteleri için “doğal olarak sert raylar”, R350HT kalite için “mantarı sertleştirilmiş raylar”
- Minimum sertlikleri ile R220 için 220HB, R260 için 260HB ve R320Cr için 320HB ve R350HT için 350 HB’dir [2,9].

Çizelge 2.5. UIC 860–0 standardında rayların katı analiz sonuçları [9,23].

Kalite	Kimyasal Analiz (% Ağırlık)						Çekme Muk. (N/mm ²)	Çatlak Sonrası Uzama (%)
	C	Mn	Si	Cr	P	S		
700	0,40-0,60	0,80-1,25	0,05-0,35	-	≤ 0,05	≤ 0,05	680-830	≥ 14
900 A	0,60-0,80	0,80-1,30	0,10-0,50	-	≤ 0,04	≤ 0,04	880-1030	≥ 10
900 B	0,55-0,75	1,30-1,70	0,10-0,50	-	≤ 0,04	≤ 0,04		
1100	0,60-0,82	0,80-1,30	0,30-0,90	0,80-1,30	≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 1080	≥ 9

Çizelge 2.6. EN 13674-1 standardında rayların katı ve sıvı analiz sonuçları [9,23].

Kalite		Kimyasal Analiz										% 10-4 ppm Ağırlık	
		% Ağırlık										O	H
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	N			
R200	Sıvı	0,40-0,60	0,15-0,58	0,70-1,20	≤0,035	0,008-0,035	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,009	≤20	≤3,0	
	Katı	0,38-0,62	0,13-0,60	0,65-1,25	≤0,040	0,008-0,040	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,010	≤20	≤3,0	
R220	Sıvı	0,50-0,60	0,20-0,60	1,00-1,25	≤0,025	0,008-0,025	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,008	≤20	≤3,0	
	Katı	0,50-0,60	0,20-0,60	1,00-1,25	≤0,025	0,008-0,025	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,008	≤20	≤3,0	
R260	Sıvı	0,62-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	≤0,025	0,008-0,025	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,009	≤20	≤2,5	
	Katı	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	≤0,030	0,008-0,030	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,010	≤20	≤2,5	
R260 Mn	Sıvı	0,55-0,75	0,15-0,60	1,30-1,70	≤0,025	0,008-0,025	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,009	≤20	≤2,5	
	Katı	0,53-0,77	0,13-0,62	1,25-1,75	≤0,030	0,008-0,030	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,010	≤20	≤2,5	
R320 Cr	Sıvı	0,60-0,80	0,50-1,10	0,80-1,20	≤0,020	0,008-0,025	0,80-1,20	≤0,004	≤0,18	≤0,009	≤20	≤2,5	
	Katı	0,58-0,82	0,48-1,12	0,75-1,25	≤0,025	0,008-0,030	0,75-1,25	≤0,004	≤0,20	≤0,010	≤20	≤2,5	
R350 HT	Sıvı	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	≤0,020	0,008-0,025	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,009	≤20	≤2,5	
	Katı	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	≤0,025	0,008-0,030	≤0,15	≤0,004	≤0,030	≤0,010	≤20	≤2,5	
R350 LHT	Sıvı	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	≤0,020	0,008-0,025	≤0,30	≤0,004	≤0,030	≤0,009	≤20	≤2,5	
	Katı	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	≤0,025	0,008-0,030	≤0,30	≤0,004	≤0,030	≤0,010	≤20	≤2,5	

EN 13674–1 standardında mantarı sertleştirilmiş R350HT ray çeliği kalitesindeki rayların sıvı-katı analiz değerleri ve artık element değerleri aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir [9,12].

Çizelge 2.7. R350HT ray kalitesinin kimyasal analiz ve mekanik özellikleri [9,23].

Çelik Numune Kalitesi		% Kütle olarak										10 ⁻⁴ % ppm max. Kütle olarak		R _m min. MPa	min. uzama A %	Merkez çizgi üzerinde yüzey sertliği HBW R.S.
		C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Al max	V max	N max	O ₂	H ₂				
R350HT	Sıvı	0,72/0,80	0,15/0,58	0,70/1,20	0,020	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,009	20	2,5	*	*		
	Katı	0,70/0,82	0,13/0,60	0,65/1,25	0,025	0,030	0,15 max	0,004	0,030	0,010	20	2,5	1175	9	350/390	

Çizelge 2. 8. R350HT ray kalitesinin maksimum artık elementleri [23].

	Mo	Ni	Cu	Sn	Sb	Ti	Nb	Cu & 10 Sn	Diğerleri
R350HT	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,04	0,35	0,25 (Cr + Mo + Ni + Cu + V)

BÖLÜM 3

RAY ÇELİĞİ ÜRETİMİ

II. Dünya Savaşı'nın olduğu yıllara kadar ray çeliği üretiminde bazik-asidik Bessemer, Siemens-Martin ve elektrik fırınları kullanılmaktaydı. 1950 ile 1970 yılları arasında oksijen üfleme yöntemiyle ray çeliği üretimine başlandı. OBM yöntemi, sıcak metal banyosuna oksijen üflenerek uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, BOF yönteminde olduğu gibi saf oksijen harcanır. Saf oksijenin verildiği nozul ağzında alev meydana geliyorsa soğutma oldukça önem arz eder [2,9].

Ülkemizdeki ray çelikleri, BOF yöntemiyle üretilmektedir. Bazik oksijen fırınları (BOF) ya da diğer bir adıyla LD konverterleri yüksek fırından elde edilen sıvı ham demirin çelik haline getirilmesinde kullanılan fırınlardır [23].

Bu üretim yöntemi aşağıdaki ana bölümlerden oluşmaktadır;

- Yüksek Fırın Prosesi
- Çelikhane Prosesi
- Haddehane Prosesi

3.1. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

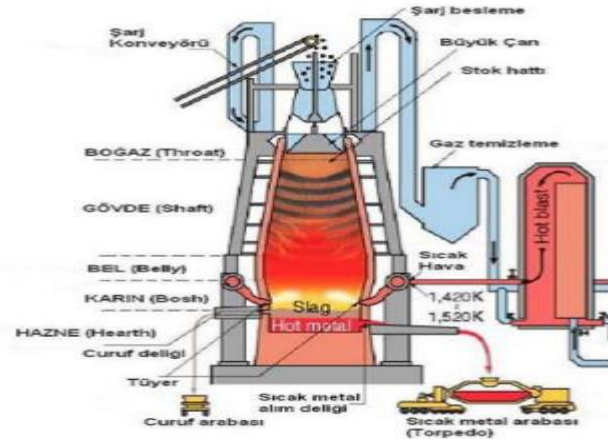
Yüksek fırınlar, demir cevherinin geçirdiği süreçler sonucunda sıvı ham demire dönüştürüldüğü tesislerdir. Elde edilen sıvı ham demirin S, F gibi kirlenmeye yol açan elementlerden arındırılması gerekmektedir [2,9].

Yüksek fırınlarda kullanılan şarj elemanlarından; demir cevheri, kok ve cüruf yapıcı malzemeler daha fazla önemlidir. Kok malzemesi, taş kömürünün fırınlarda uçucu nesnelere arındırılmasıyla oluşur. Yüksek fırın koşullarında, elverişli kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olan bir yakıttır [2,9]. Demir cevheri malzemesi; sinter veya

pelet olarak bilinen yüksek fırına şarj edilen demir bakımından zengin olan bir ham maddedir [2,9,13]. Cüruf ise, demir cevherinde bulunan gang minerallerinden, kok ve kömür tozlarından oluşur. Cüruf yapıcı olarak çoğunlukla kireç taşı kullanılır.

Demir doğada oksitleri halinde bulunduğundan yüksek fırınlarda redüklenerek (oksitlenmenin tam tersi) sıvı ham demir haline dönüşür. Redüklenmenin olması için kok kömürü malzemesi yanmalı ve karbonmonoksit oluşturmalıdır. Kok kömürü malzemesisini yakmak için fırına devamlı tüyerlerden (boru) ortalama 1000 °C sıcaklığında hava girdisi sağlanır. Ortama giren havanın oranı; fırının kapasitesine, çalışma şekline ve üretimine bağlı olarak değişiklik gösterir [2,9].

Yüksek fırının ağız tarafından şarj edilen elemanın redüklenmesi, sıvı ham demirin bünyesine C katması ve cürufun meydana gelmesi ortalama olarak 9 saat sürer [9]. Yüksek fırındaki işlemler devamlı olarak devam ettiğinden dolayı fırın düzenli olarak şarj edilir. Ham maddeler fırına yüklenerek, hazne bölümünde toplanan cüruf ve sıvı ham demir belirli bir yere alınır [2,9,14].



Şekil 3.1. Yüksek fırının bölümleri [11].

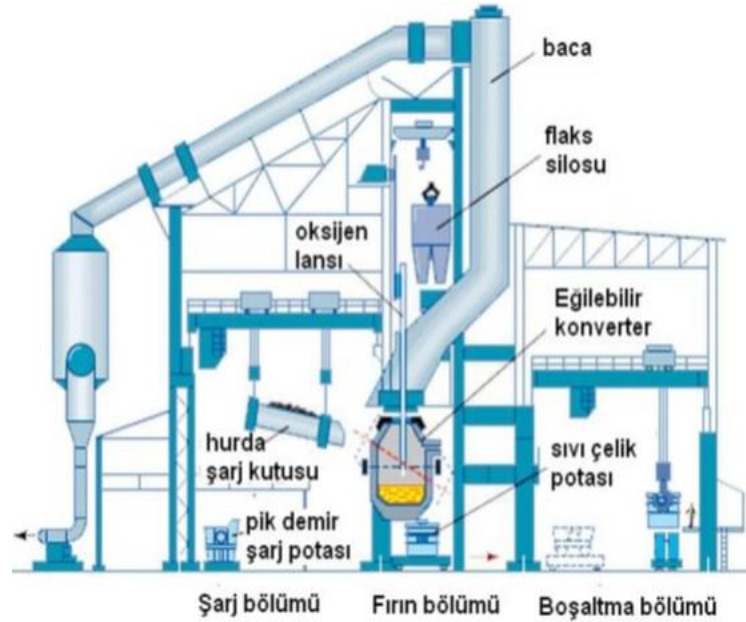
3.1.2. Çelikhane Prosesi

Yüksek fırından çıkan sıvı ham demir, çelikhane sıvı çeliğe dönüşerek talep edilen kimyasal özelliklere ulaşır.

3.1.2.1. Bazik Oksijen Fırını

BOF konverterleri, daha önceden çelik üretiminde kullanılan Besemer konverterlerine üstten saf oksijen üflenmesi sonucu ile geliştirilen bir yöntemdir. Bu işlem ilk kez Avusturya'daki Linz ve Donawitz işletmelerinde 1952-1953 yıllarında uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemde tabandan saf oksijen üflenmesine uygun refrakter bulunmamasından dolayı ilerleyen yıllarda üstten su soğutmalı lans ile yüksek hızda oksijen üflenerek proses geliştirilmiştir. Bu proses Amerika'da bazik oksijen fırını yani BOF, Avrupa'da ise LD konverteri olarak tanımlanır.

Bu yöntemle çelik üretimi sırasında ek bir yakıt kullanılmamaktadır. Sıvı maden içerisinde yer alan mangan, silisyum, karbon gibi elementler oksijen ile tepkimeye girerek çeliğin sıcaklığını artırmaktadır. Sıvı madenin ve cürufun oksitlenmesi karmaşık bir proses olmakla birlikte bu işlemler birçok aşamadan oluşmaktadır. Konverter içerisinde eş zamanlı olarak farklı fazlar arasında (gaz-metal, gaz-cüruf, cüruf- metal) çeşitli reaksiyonlar oluşturmaktadır [12].



Şekil 3.2. Bazik oksijen fırını bölümleri [24].

Bazik oksijen fırını kısaca BOF olarak da bilinen bu yöntem, çelik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Bazik oksijen fırınının en önemli girdisi sıvı ham demirdir ve şarjın neredeyse %80'ini oluşturur. Bundan dolayı buradan gelecek olan kirlenmeye yol açan

element oranı fazla olur [2,9,11]. Bu negatif durumu ortadan kaldırmak amacıyla sıvı ham demire, bazik oksijen fırınına alınmadan önce kükürt giderme işlemi uygulanır. Bazik oksijen fırınına yüklenen hurda ve sıvı ham demir üzerine lans aracılığıyla saf ve kuru oksijen verilir [2,9,14]. Oksijen verilirken; cüruf oluşmasını sağlamak, akışkanlığı artırmak amacıyla kireç eklenir. Böylelikle yapıda bulunmasına gerek duyulmayan elementler oksitlenerek cüruf meydana getirirler ve yoğunlukları az olduğundan dolayı sıvı çeliğin yüzey kısmında toplanırlar. Bu işlemlerden sonra kimyasal yapısı gözden geçirilen sıvı çelik, elverişli bulunursa döküm deliği bölümünden çelik potasına alınarak pota ocağına sevk edilir [2,14]. Cüruf ise bazik oksijen fırınının ağız kısmından cüruf potasına gönderilir. Potaya gönderilen sıvı çeliğe, gereksinimine bağlı olarak alüminyum ve kömür eklenir. Eklenen Al, sıvı çelik yapısında artan oksijeni bağlayarak çeliğin dayanımının azalmasını önlerken, ilave edilen kömür ise % C miktarını belirler [2,15].

Burada en önemli husus, oksijen üfleme işlemidir. Çünkü az oksijen üflendiğinde sıvı çelik gerektiği kadar temizlenemez ve talep edilen kimyasal bileşime ulaşamaz, çok oksijen üflenirse sıvı çelik yapısına gerektiğinden fazla oksijen girecek ve deoksidasyon için fazla Al kullanılacaktır [2,14]. Alüminyumun çok kullanılması sürekli döküm bölümünde sorun çıkmasına neden olacaktır [2,9,14].

3.1.2.2. Pota Fırınları

Pota fırını, sıvı çeliğin asıl bileşimine kavuştuğu aşamadır. Pota fırınları, konverterlerden pota yoluyla getirilen sıvı çeliğin işlenerek, analiz ve sıcaklık değerlerinin sürekli döküm makinelerinin döküm şartlarına göre ayarlanmasında rol alır. Bu bölümde yapı üstünde cüruf tabakası oluşturularak tabaka üzerinden ark ile yapı ısıtılır. Ayrıca pota altından Ar gazı verilerek iyice karıştırılma işlemi sağlanmalıdır. Bu sırada alaşım için lazım olan eklemeler yapılır [9,14]. Böylelikle potanın her bölümünde dengeli kimyasal bileşim sağlanmış olur ve pota döküm işlemi için uygun olan sıcaklık değerine getirilir [2,9].

3.1.2.3. Vakum Altında Gaz Giderme

Pota fırınından çıkan sıvı çelik, vakum altında gaz giderme aşamasına geçer. Bu aşamada vakum kullanılarak sıvı çelik içerisinde çözünen gazlar yapıdan çıkartılır. Bu işlemle sıvı çelik; yapısındaki hidrojeni 2 ppm'in altına düşürürken, oksijeni tamamıyla yok etmeye çalışır [2,9]. H miktarının 2 ppm'in altına düşmesi yapıda birikinti oluşumunu engeller [2,9,11,14]. Malzemedeki gaz boluşlukları oluşmayacağı için dayanım artar. Vakum altında gaz giderme işlemi yapılan potanın ağzı kapatılır ve havayla teması tamamen kesilir [2,9].

3.1.2.4. Sürekli Döküm

Kimyasal açıdan bütün değerleri uygun olan sıvı çeliğin ara ürün olarak katılaştırıldığı aşamadır [2,24]. Yüksek kapasiteli ve devamlı üretim yapan fabrikaların kullandığı bir yöntemdir [2,24].

Vakum tesisinde gerekli işlemler yapıldıktan sonra bu aşamaya gelen çelik, hava ile temas etmeden blum (yarı mamül) haline getirilir. Burada en önemli husus hava ile temasının engellenmesidir. Çünkü sıvı çelik yüksek gaz çözünürlüğüne sahiptir ve hava ile temasına dikkat edilmezse vakum altında gaz giderme işlemi uygulanan sıvı çeliğe tekrar gaz girişi olur [2,9,24]. Hava ile bağlantısını engellemek için potaların ağzı ve tandişin üzeri kapalı olmalıdır [2,24]. Bu döküme gömme döküm adı verilir. Bakır kalıpların dakikada 60 ile 200 tur aralığında sarsılmasının nedeni tandişlerden bakır soğutmalı kalıplara akan sıvı çeliğin kalıba yapışmaması ve akışın devam etmesidir [2,9,24]. Döküm hızı yaklaşık olarak 0,8 m/dk'dır. Burada gerekli işlemler tamamlandıktan sonra haddeleme tesisine gönderilir.

3.1.3. Haddehane Prosesi

Çelikhane prosesleri sonucunda elde edilen ara ürünlerin son şeklini aldığı tesislerdir. Burada ara ürünlerin soğutulması, tavlanması, doğrultulması ve sıcak şekillendirilmesi gibi işlemlerin yapılmasının yanı sıra gerekli kalite kontrol işlemleri de yapılır.

3.1.3.1. Tavlama

Çelikhaneden kimyasal bileşim ve döküm şartları bakımından uygun biçimde gelen 260x360 mm kesitli blumlar (yarı mamül) 1250 °C' ye (östenitik yapı tavlama bölgesi) kadar fırınlarda soğuk şarj alınarak tavlanamaktadır. Ray çeliği, bileşiminde yüksek miktarda karbon bulundurduğundan tavlama işlemi yapılırken fırın şartları sürekli olarak kontrol edilmelidir. Homojen bir tavlama işlemi yapılarak tavlama sırasında oluşabilecek aşırı ısınma, oksidasyon, dekarbürizasyon ve yanma gibi olası hatalardan uzak durmuş oluruz. Çeliğin fırın içerisinde uzun süre sıcaklığa maruz kalması yanmasına sebep olur. Çeliğin yanması, yüzeyden içeriye geçen fırın gazındaki oksijene maruz kalması ve tane sınırlarının oksitlenmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu olay, tane sınırları arasındaki bağın zayıflayarak malzemenin kırılabilir ve mukavemetsiz olmasına neden olmaktadır.

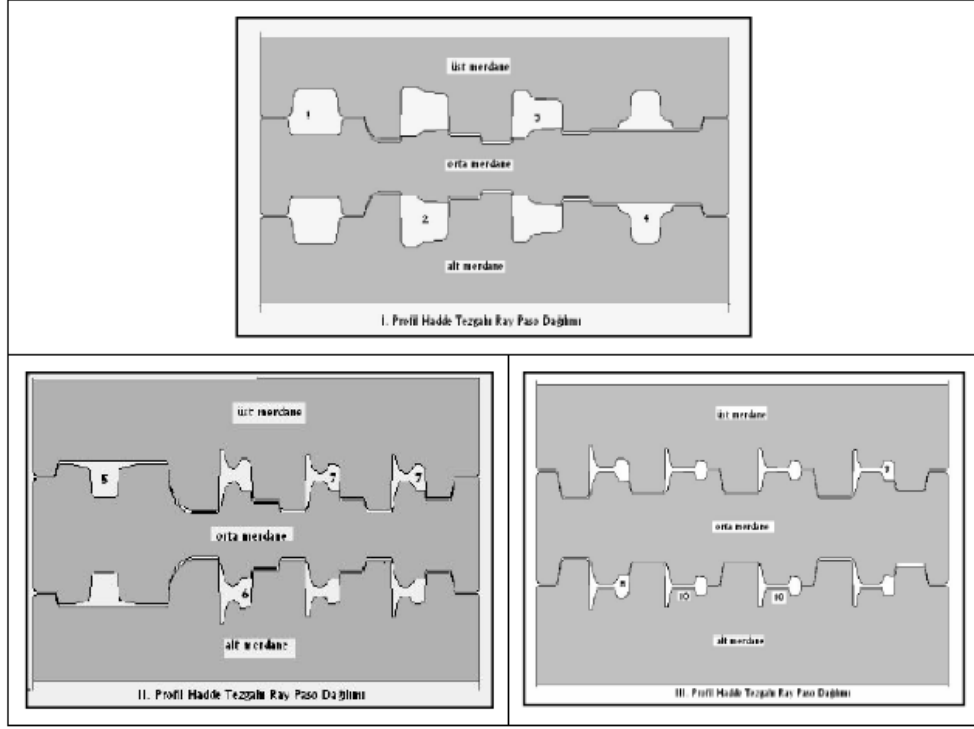
3.1.3.2. Haddeme

Haddeme; malzemeleri, aynı hızla ve birbirlerine zıt yönde eksenleri etrafında dönen iki merdane arasından geçirerek yapılan plastik(kalıcı) şekil verilmesi işlemidir [30].

Uygun haddeme sıcaklığına gelen yarı mamül ray çelikleri, son şeklini almak için üç ayrı hadde tezgahında haddelenir. I. hadde tezgahında genellikle rayın ayak kısmı, II. hadde tezgahında rayın mantar kısmı oluşmakta ve III. hadde tezgahında ise ray son şeklini almaktadır. Fırından çıkan malzeme toplam 10 pasoda yani malzemenin merdaneler arasından her geçişinde son hali oluşur. Östenitlenen yarı mamüller hadde tezgahına girmeden önce yüksek basınçlı su ile temizlenerek yüzeylerinde oluşan tufal (demiroksit tabakası) alınır [2,7]. Yüzeyde oluşan tufal tabakası alınmazsa, haddeme işlemi sonrasında malzemede iz kalır [2,7,24,30].

Haddeme sırasında dikkat edilmesi gereken konulardan biri de yolluklardır. Yolluklar temel olarak iki kısma ayrılır; giriş yollukları ve çıkış yollukları. Giriş yolluklarının temel amacı malzemenin paso girişine hizalanmasına yardımcı olmaktır. Çıkış yolluklarının amacı ise malzemenin pasodan çıkışı esnasında merdanelerden sıyrılarak kurtulmasını sağlamaktır. Ray üretiminde çıkış yolluklarının daha sağlam ve hassas olması gerekmektedir. Bunun nedenlerinden biri ray malzemesinde karbon

miktarının fazla olması ve dolayısıyla çabuk yolluk aşındırmalarına, yolluk bozulmalarına sebep olmaktadır. Diğer bir neden ise rayın, profillerden farklı olarak asimetrik bir geometrik yapıya sahip olmasıdır.



Şekil 3.3. Ray tezgah pasoları [30].

3.1.3.3. Soğutma

Haddeleme işlemini tamamlamış olan rayın bir sonraki aşaması soğutma işlemidir. Son şeklini almış olan malzeme yaklaşık 900 °C' de (östenit sıcaklığı) soğuma bölgesine alınır. Ray üretim işletmelerine bağlı olarak değişiklik gösteren malzeme, yaklaşık 72 metre uzunluğunda soğuma bölgesine alınır. Ray çeliği S (eğik) şeklinde soğumaya bırakılarak yüzey-boyut farklarından dolayı oluşan iç gerilmelerin oluşumunun önüne geçilmektedir.

Doğrultma ve sevkiyat aşamasından önceki bu son aşamada, burulma ve boyda meydana gelen sehimi ortadan kaldırmak için ray çeliği kontrollü olarak soğutulmaktadır. Rayın geometrisi gereği, ray mantarı ve ayağı arasındaki soğuma farkını en aza indirmek için mantar kısmı onu takip eden ray ayağına temas ettirilir.

3.1.3.4. Doğrultma

Rayların kesit kalınlıkları farklı olduğundan dolayı soğuma hızları da farklılık gösterir. Bu farklılık, rayların yatay ve düşey doğrultuda eğilmesine neden olur. Eğilmeyi düzeltebilmek amacıyla yatay ve düşey doğrultuda duyarlı ölçülere sahip tezgâhta doğrultma işlemi uygulanır [2,24]. Bu yöntem, ray çeliğinin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapıldığı için soğuk şekil verme düzeneği çalışacağından, doğrultma işleminden sonra malzemedeki kalıcı artık gerilimler oluşur [2,24]. Bu durumun raylarda olması istenmediğinden, ray üretimi için temel alınan ilgili EN 13674-1 standardıyla rayın bir kez doğrultulmasına izin verilir [2,5,24]. Rayın akma gerilmesine bağlı olarak 100-300 N/mm² değerinde kalıcı gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler rayın kesitine ve rayın doğrultma yönüne bağlı olarak ray üzerinde basma ya da çekme kuvvetleri olarak karşılık bulur. Bu işlemden sonra ray çelikleri, doğrultma haddesi bölümünden çıktıktan sonra malzeme kontrolü için test merkezine gönderilir [2,24].

3.1.3.5. Tahribatsız Malzeme Muayenesi

Bu işlem, üretimin son aşaması olduğundan ray çeliğinin son halinin kalitesini kontrol etmeyi sağlar [2,24]. Sabit bir tezgâh üzerinde daha önceden açıları yerleştirilmiş problemlerle, rayların neredeyse tamamı ultrasonik muayene yöntemiyle kontrol edilir [2,9]. Bu yöntemle, ray yüzeyinden 2-3 mm altından iç yapıda oluşan kusurların tespiti yapılır. Ray çeliğinin, özellikle mantar ve taban kısmında, yüzeyden 3 milimetre derinliğe kadar var olan kusurları girdap akımları yöntemiyle saptanır [2,9]. Tespit edilen kusurlar, uygun standartlara bağlı olarak değerlendirilerek uzmanlarca ret ya da kabul kararı verilir [2,9]. Kabul kararı verilen raylar, gözle muayene kontrolü yapıldıktan sonra numaralandırılmak üzere stok yerine sevk edilirler.

BÖLÜM 4

ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ

4.1. ISIL İŞLEMLER

Isıl işlem, metal ve alaşımların olması istenilen özellikler çerçevesinde elverişli bir sıcaklığa getirilmesi, bu sıcaklık ya da sıcaklık aralığında belirli bir müddet tutulması ve daha sonra elverişli bir soğutma hızı ve soğutma ortamında belirli bir sıcaklığa kadar soğutulmasıdır [18]. Isıl işlemler sonucunda malzemenin iç yapısında değişimler meydana gelir fakat dış yapısında değişim gözlenmez [28]. Isıl işlemleri üç başlık altında sınıflandırabiliriz.

- Tavlama
- Sertleştirme
- Islah etme

Tavlama işlemi, çeliklerin sünekliliğini artırmak ve iç gerilimlerini yok etmek amacıyla belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak, bu sıcaklıkta bir müddet bekletildikten sonra soğutulmasıdır [32]. Tavlama işlemi istenilen özelliklere göre farklı sıcaklıklarda olmaktadır;

- Normalizasyon tavlaması
- Yumuşatma tavlaması
- Gerilim giderme tavlaması
- Difüzyon tavlaması
- Yeniden kristalleşme tavlaması

Sertleştirme, çeliğin yapısını değiştirmek amacıyla yapılan kontrollü soğutma işlemidir. Çeliklerin sertleştirilmesinin amacı malzemenin dayanımını artırmaktır. Bu sebeple çelikler, 700 °C sıcaklığın üzerine kadar ısıtılır [32].

Isıtma esnasında çeliğin yapısında var olan bağlar kopar. Isıtılan çelik ani soğutma ortamında yağda veya suda soğutulduğunda kopan bağlar ilk hallerine geri dönemediklerinden yeni bir doku meydana gelir [32]. Çeliğin ani soğutulmasıyla malzeme sertleştirilmiş olur. Sertleştirme işlemi ile malzeme dayanımı büyük oranda artar.

Sertleştirme işlemi, çeliklere yeni özellikler kazandıran en mühim ısıl işlemdir [32]. Sertleştirme işlemi için ray çelikleri östenit bölgesine kadar ısıtılmalıdır. Çelik bir ferrit-sementit alaşımıdır ve bu alaşımın karbon oranı %1,7' ye kadar ötektoid yapar [32]. Ötektoid yapıda C oranı %0,085 ve sıcaklık 723 °C'dir. Çelik, ötektoid sıcaklık üzerinde yapı değişimine uğrar. Isıl işlem görmeden önce çelik, çift fazlıdır. Bu fazlar karbon oranına göre perlit+sementit ya da perlit+ferrit'tir. Ötektoid sıcaklık üzerinde perlit yapı östenit yapıya dönüşür. Ferrit ve sementit fazları ise GSE çizgisi üzerinde tamamen dönüşerek östenit olur [32].

Isı verilmeye başlandığından itibaren ötektik sıcaklığın üzerinde sementit ve perlit yapının dönüşmesi neticesinde serbest kalan karbon atomları östenitik yapıda merkez boşluğuna girerek yerleşir ve orada katı eriyik oluşur. Isı arttıkça yapıdaki boşluklar büyüyeceği için daha fazla C atomunu bulundurma kabiliyetini kazanan kristaller %1,7'ye kadar C alacak hale gelir. Ray çelikleri soğumaya bırakıldığında işlem tam tersine dönerek tekrar sementit ve perlit yapı meydana gelir. Hızlı soğutma yapılarak bu yapıların oluşmasına fırsat verilmezse C atomları buldukları kristal kafes yapısında kalırlar. Yeni oluşan kristal yapıda karbon eritme kabiliyeti olmadığı halde mecburen C atomu bulundurur. Yapıda fazladan C atomları bulunduğu için bu kristaller düzgün kübik yapıda bulunamazlar. Düzgün olmayan kübik yapıya martenzit denir ve bu şekil bozuklukları gerginliklere sebep olur [17]. Malzemedeki sertliğin nedeni de bu durumdur.

Martenzit yapı elde edebilmek için ısıtılan bir çeliğin hızla soğutulması işlemine su verme denir [32]. Çelikleri sertleştirmek için çeşitli soğutma sıvıları kullanılır. Bu soğutma sıvıları aşağıdaki Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Soğutma maddeleri ve hızları [32].

Soğutma Ortamı	Perlit Bölgesi 723-550 °C	Ms Sınırında 200 °C
% 10 Tuzlu Su	1,96	0,98
Su 0 °C	1,06	1,02
Su 18 °C	1,00	1,00
Civa	0,78	1,62
Hızlı Soğutma Yağı	0,27	0,04
Yavaş soğutma Yağı	0,14	0,02
% 10 Yağ Emülsiyonlu Su	0,11	1,33
Su 100 °C	0,044	0,71
Hava	0,03	0,007
Vakum	0,011	0,004

Sertleştirme işleminde su verme iki ayrı şekilde yapılır.

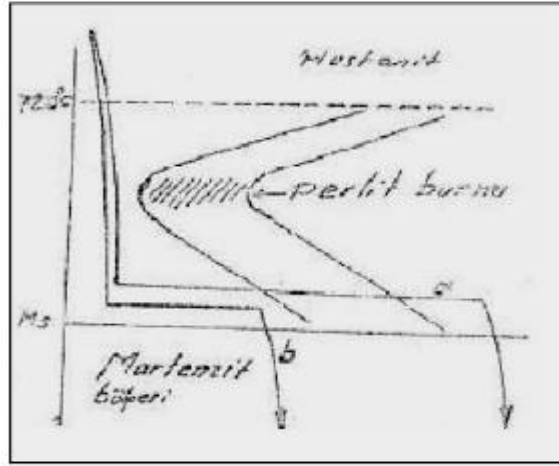
- Basit su verme
- Kademeli su verme

Su verme yöntemi, en kolay ve çok kullanılan bir işlemdir. Sertleştirme işlemi uygulanacak ray çeliği, su verme sıcaklığına kadar ısıtılır, daha sonra su ya da yağ banyosuna daldırılarak hızla soğutulur [32]. Soğutma banyosu iyi seçilmezse çatlama ve çarpılmalar meydana gelebilir.

Kademeli su verme yönteminde ise, su verme sıcaklığına kadar çıkarılan ray çeliği, perlit burnuna kadar hızlı bir şekilde soğutulduktan sonra bu ısıda belli bir süre bekletilir. Kademeli su verme işlemi iki şekilde yapılır [32].

- **Östemperleme:** Bu yöntemde ray çeliği, perlit burnuna kadar hızlı bir şekilde soğutulup, bu ısıda dönüşüm oluncaya kadar bekletilir.
- Bu işlem sonunda elde edilen yapı, darbe ve vurutulara karşı dayanıklıdır ayrıca sünekliliği de yüksektir.

- **Martemperleme:** Bu yöntemde perlit burnunun altına kadar hızlı bir şekilde soğutulan çelik belli bir süre bekletilir. Dönüşüm olmadan hızla tekrar soğutulur. Bu işlemle tekrar martenzitik yapıda olan çelikte; iç gerginlikler az, çatlama ve çarpılma en az düzeye indirilmiş olur [9,32].



Şekil 4.1. Kademeli su verme yöntemi [32].

İslah etme işlemi, daha çok yapı çeliklerine ve bazı takım çeliklerine uygulanan sertleştirme işlemi sonrası yüksek sıcaklıkta (450-650 °C) bekletme ve daha sonra havada soğutma işlemidir. Bu işleme tabi tutulan malzemeler, yüksek süneklik ve tokluğa sahip olurlar. Martenzitik yapı da ortadan kaldırılmış olur.

4.2. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Ray çeliklerine yapılan ısı işlemlerin esas amacı, yüzey sertliğini daha iyi bir duruma getirmektir. Isıl işlemlerle, ray çeliklerinin yuvarlanma temas yorulması ve aşınmaya karşı dirençleri arttırılır. Ray çeliklerinin mantarını sertleştirmek için en fazla kullanılan yöntem, östenit yapıdaki rayın ince perlit yapı oluşturacak şekilde soğutulma işlemidir [9]. Malzeme yüzeyinde fazla kullanılmayan yöntemler ise plazma kaplama, lazer kaplama ve lazerle sertleştirmedir [9].

Lazerle sertleştirme yöntemi, yüksek işlevli lazer ile ray çeliğinin yüzeyi sıvılaştırılarak yapılan işlemdir. Daha sonra yüzey anında katılarak sert bir tabaka meydana gelir. Ray ve aks arasındaki sürtünmeyi bu işlem %40 oranında düşürür.

Plazma kaplama yönteminde, ray çeliğini koruyan tabaka tozu ile beraber iyonize gaz doldurma işlemi yapılır. Bu yöntem düşük yağlama sıklığı sebebiyle sürtünme katsayısını azaltır [9]. Bu hususta İsveç'te bulunan DurocRail şirketi tarafından "InfraStar" adıyla bir yöntem bulunmuştur [9]. Sert bir tabaka yüksek işlevli lazer yardımıyla, seramik katkıları ve alaşım içerikleri eklenerek raya uygulanır. "Duroc 222" adlı 24 mm genişliğinde tabakaya saha testleri uygulandığında düşük sürtünme katsayısı, çatlama karşı yüksek direnç ve mükemmel bir aşınma direnci gözlenmiştir [9]. Testlerin ardından 7 milyon ton çalışma yükünden sonra tabakanın sertliği 390 HV'den 540 HV'ye ulaşmıştır. "Duroc 222" ile kaplanan rayda yaklaşık 18 milyon ton yol yükünden sonra bile herhangi bir çatlama meydana gelmemiştir [9,26].

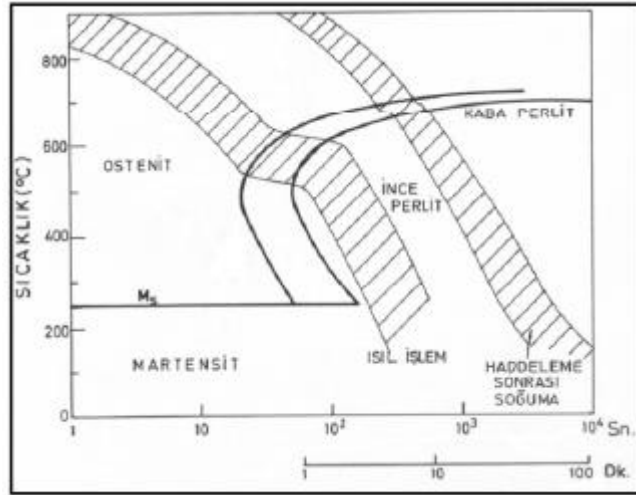
4.2.1. Raylarda Su Verme İşlemi

Ray çeliğinin termomekanik prosesinde su verme işlemi önemli bir yer alır. Bunu daha iyi anlayabilmek için ray çeliğini bileşimi ile izah edelim [9]. Değindiğimiz numune %0,77 C, %0,22Si, %0,95 Mn, %0,1 Cr alaşımlarını içeren bir karbon-mangan çelik türüdür. Sürekli soğuma şartlarında farklı mikroyapılar elde etmek amacıyla uygun soğuma hızları çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Soğuma hızının ray çeliği mikroyapısına etkisi [9,26].

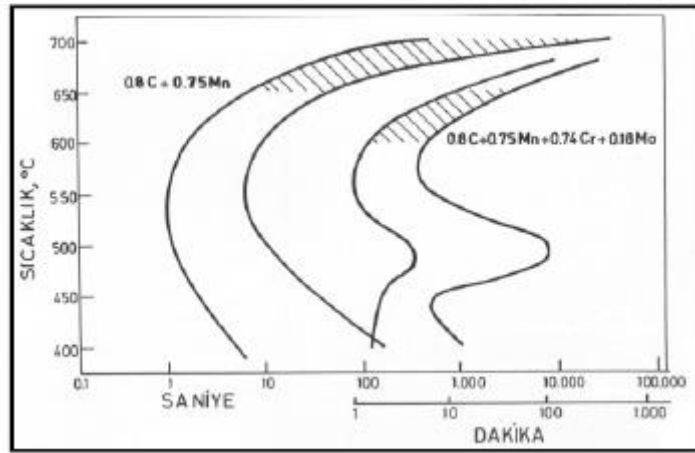
Soğuma hızı	Fazlar
<240 °C/dk.	Perlit
250 °C/dk.	Perlit+ Beynit
400 °C/dk.	Perlit+Beynit+ Martenzit
>643 °C/dk.	Martenzit
400- 250 °C/dk. kademeli soğuma	İnce perlit

Mantarı sertleştirilmiş rayların, mantar bölümünün iç yapısında sıkı dizilmiş ince perlitli bir yapı oluşturmak için soğuma hızını arttırmak gerekmektedir. Şekil 4.3'de %0,75 C ile %1 Mn içerikli bir ray çeliği iç yapısının, soğuma hızını değiştirerek oluşan sürekli soğuma dönüşüm diyagramı verilmiştir [9,26].



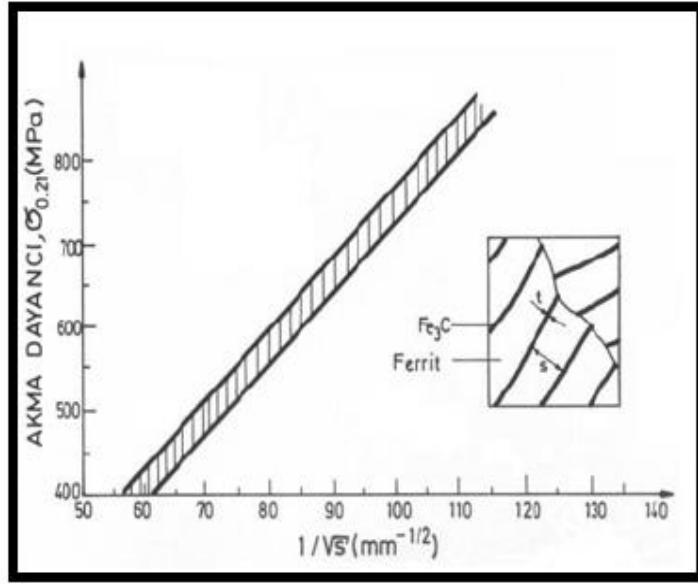
Şekil 4.2. %0,75 C+%1 Mn içeren ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm eğrisi [9,26].

%0,8 C + %0,75 Mn alaşım elementlerini bulduran ray çeliğine, %0,74 Cr + %0,18 Mo eklenmesiyle eş ısıl dönüşüm eğrilerinin konumunun nasıl değiştiği Şekil 4.3'de gösterilmekte ve bu değişimlerin daha uzun zaman da alacağı açıkça görülmektedir [9,26].



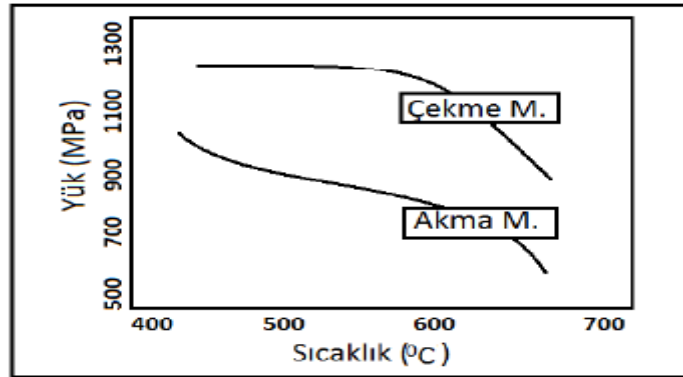
Şekil 4. 3. %0,8 C+ %0,75 Mn içerikli ray çeliğine %0,74 Cr+ %0,18 Mo eklenmesinin dönüşüm eğrilerine etkisi [9,26].

Buradan çıkarılacak sonuç alaşımlı ray çelikleri, havada soğutma gibi oldukça yavaş soğuma şartlarında bile ince perlitli yapı oluşturabilirler. Belli bir % C oranındaki ince perlitli yapıda, katmanlar arası mesafenin azalması sertliği artırmakla birlikte ray çeliğinin akma mukavemetini de artırır [7,9].



Şekil 4.4. Perlitik bir yapıda lameller arası mesafe- akma dayanımı ilişkisi [7,9].

%100 perlitik bir yapıda, lameller arasındaki mesafe azdır. Böylelikle akma, aşınma, çekme ve yorulma dayanımlarında önemli iyileşmeler meydana gelir. Lameller arasındaki mesafe ile ötektoid dönüşüm sıcaklığı altındaki alt soğuma birbiriyle ters orantılıdır [9,27]. Dönüşüm sıcaklığı ne kadar az ise lameller arası mesafe o kadar ince yapıdadır [9].



Şekil 4.5. Dönüşüm sıcaklığı- mekanik özellik ilişkisi [9,27].

Çeşitli kalitedeki ray çeliklerinin çekme mukavemetleri ve mikroyapıları Çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Bu çizelgeye bakıldığında perlitik yapının ve karbonun oranı arttıkça ray çeliklerinin çekme mukavemetleri artmaktadır [9].

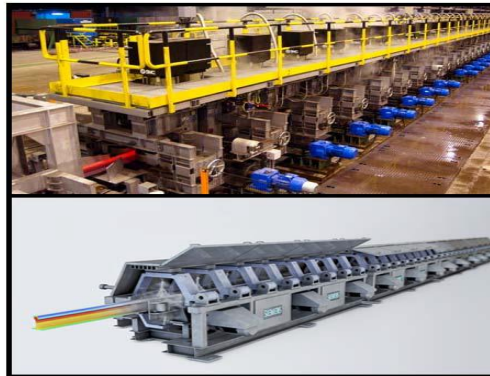
Çizelge 4.3. Farklı ray tiplerinin karşılaştırılması [9].

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

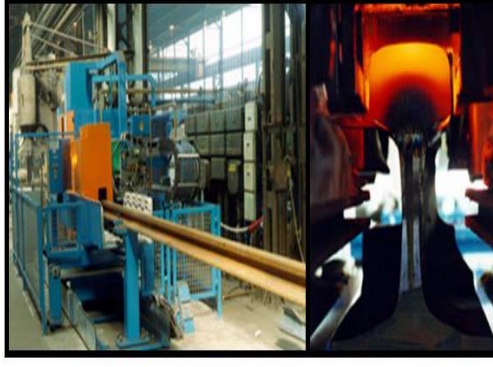
4.2.2. Raylarda Su Verme Sistemleri

Raylarda su verme işlemiyle, ray çeliğinin mantar bölümünde ince bir perlitik bir yapıya da isteğe göre beynitik bir yapı meydana getirmektedir. Bu durum ray çeliklerinin, östenitik dönüşüm sıcaklığı altında denetimli bir şekilde soğutulması ile gerçekleşir. Bu soğutma sistemlerine işlemin yapıldığı zamana ve şekline bağlı olarak çeşitli adlar verilmektedir [9].

Sertleştirme işlemi, ray çeliği haddeden çıktıktan hemen sonra yapılırsa "in-line" ismi verilir. Rayların mantar bölümleri daha sonradan indüksiyon ya da buna benzer bir yöntemle östenit hale getirilip su verilirse "off-line" ismi verilir [2,9].

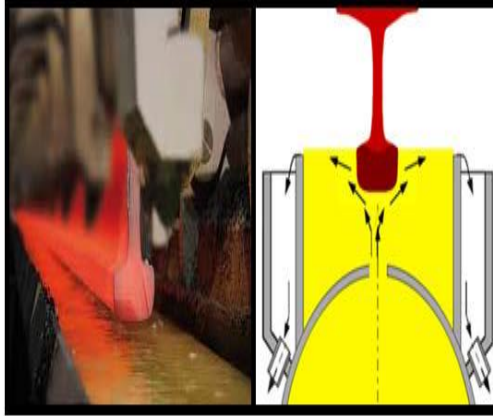


Şekil 4.6. In-line tipi su verme sistemi [9,25].

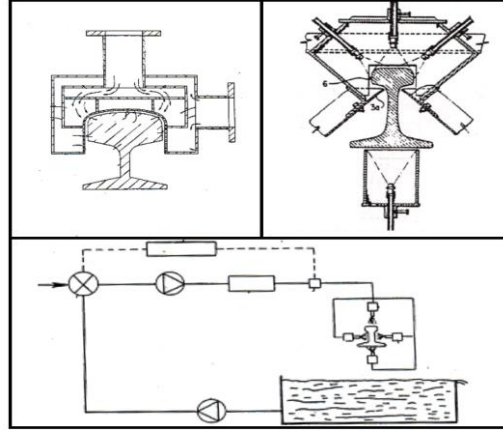


Şekil 4.7. Off-line tipi su verme sistemi [9,25].

Sistemin şekline bağlı olarak iki yöntem mevcuttur. Bunlardan biri ray çeliğinin mantar bölümünün soğutucu ortama daldırılarak soğutulmasına "daldırma" yöntemi denir. Diğer ise rayın mantar bölümünün nozullardan verilen hava, su ya da hava+su ile soğutulmasına "sprey" yöntemi denir [2,9].



Şekil 4.8. Daldırma yöntemini kullanarak su verme [9,25].



Şekil 4.9. Sprey yöntemi kullanarak su verme [7,9].

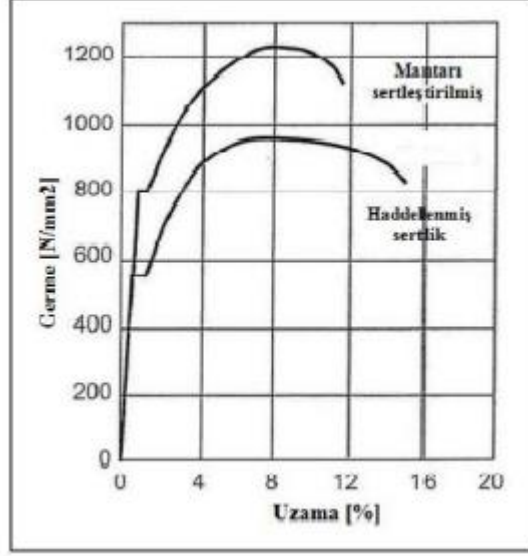
4.2.3. Su Verme İşleminin Sonuçları

Su verme işlemleri sonucunda R260 kalite olarak bilinen ve mantar üstü sertliği 260-290 HB arasında değişiklik gösteren ray çeliklerinin mekanik özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir [9]. Yapılan ısıl işlemler ile R350HT kalite ray çelikleri elde edilir. Bu rayların mantar üstü sertlikleri 350-390 HB aralığında değişir. R350HT kalite raylar mekanik özellikleri bakımından R260 kalite raylara nazaran daha iyidir [9,28].

Konum		Sertlik HBW
RSa		350-390
1		340 min
2		331 min
3		321 min
4		340 min

Şekil 4.10. R350HT kalite raylar için EN 13674-1 standardındaki sertlik dağılımı [9,28].

Su verme işleminin ardından oluşan dayanım Şekil 4.11’de çekme diyagramında verilmiştir. Isıl işlem sonucunda malzemenin akma dayanımında %40 oranında bir iyileşme olduğu görülmüştür ve malzemenin tokluğu da bir miktar artmıştır [7,9].



Şekil 4.11. Mantar sertleştirme işlemi öncesi ve sonrasında çekme diyagramları [7,9].

Mantar sertleştirme işlemi sonucunda demir yolu rayları aşağıdaki özellikleri bulundurmaktadır;

- Yüksek yorulma, sıkıştırma ve aşınma direnci
- Yüksek akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik
- Yüksek gevrek kırılma direnci
- İyi kaynaklanabilirlik
- Yüksek saflık derecesi
- İyi bir yüzey kalitesi [7].

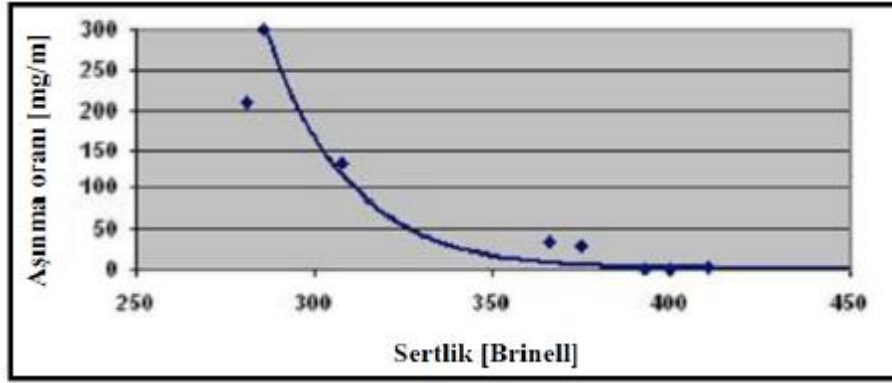
4.3. MANTAR SERTLEŞTİRME İŞLEMİNİN GEREKLİLİĞİ

Mantarı sertleştirilmiş raylar, demiryolu taşımacılığında yaklaşık son 10 senedir çok önemli bir yer tutmaktadır. Bunun sebebi, R260 kalite olarak bilinen ve yaygın olarak kullanılan perlitik yapıdaki ray çeliklerinin yorulma ve aşınma gibi zorlamalara gerektiği kadar dayanıklı olmamasıdır. R260 kalite rayların mantar üstü sertliği

yaklaşık olarak 260 HB'dir ve kaba perlitik bir mikroyapıya sahiptir. Bu sertlik değeri ve mikroyapı, ray çeliklerinin dar yarıçaplı kurplarda ve hızlı tren uygulamalarında daha çabuk hasara uğramasına yol açmaktadır. Bu sorunun ilk defa 1960'lı yıllarda farkına varılmış ve bu konu üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu araştırmalara göre rayların içyapısında kaba taneli perlitik mikroyapı yerine daha sıkı dizilmiş perlitik mikroyapı tavsiye edilmiştir. Günümüzde bu tip olaylarda, R260 kalite ray çeliklerine ısıtma işlemi uygulanarak elde edilen R350HT ray çelikleri kullanılmaktadır. R350HT kaliteye sahip raylar da perlitik mikroyapıya sahiptir ancak perlit lamelleri arasındaki mesafe azaldığı ve daha sıkı olduğu için mantar üstü sertliği ortalama olarak 350HB olur [1,2].

R260 ve R350HT kalite ray çeliklerinin farklı şartlardaki davranışları araştırmacılar tarafından incelenmiş ve R350HT kalite ray çelikleriyle daha yararlı sonuçlar elde edildiği açıkça gözlemlenmiştir [2,40]. Örnek olarak; 400 m yarıçaplı kurpta R260 ve R350HT kalite ray çeliklerinin üzerlerinden 100 milyon ton yük geçirilerek davranışları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda R260 kalite ray çelikleri 30 mm'ye kadar aşınırken R350HT kalite ray çeliklerinin 2,5 mm civarında aşındığı gözlemlenmiştir. 1200 m yarıçaplı kurplarda ise aşınma davranışı özelliklerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir [2,38]. Bu bilgilere göre dar yarıçaplı kurplarda R350HT kalite rayların kullanımının daha karlı ve güvenilir olacağı söylenebilir.

Şekil 4.12'e bakıldığında sertlik değerlerindeki artış oranının aşınma dayanımına belirgin olarak yansıtıldığı görülmektedir. Bilhassa 270 ile 350 HB arasında olan sertlik artışı, aşınma oranını ortalama olarak 3 kat düşürmüştür [2,29].



Şekil 4.12. Sertlik değeri ve aşınma davranışı ilişkisi [2,29].

Rayların hasara uğramasındaki en güçlü etken ray çeliği iç yapısıdır. Çizelge 4.3'de beynitik ve perlitik ray çeliklerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere perlitik ve beynitik yapı arasında, aşınma oranı bakımından neredeyse fark yoktur. Yorulma direnci ve tokluk bakımından beynitik raylar, perlitik raylara göre daha dayanıklıdır. Fakat, beynitik mikro yapıya ulaşmak perlitik yapıya göre daha zor ve masraflıdır [7].

Çizelge 4.4. Perlitik ve beynitik rayların mekanik özellikleri [7,9].

Rayın İyapısı	R_m (MPa)	A (%)	K_{IC} (Mpa $m^{1/2}$)	U Çentikli Charpy (J, 20°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

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Tez çalışması kapsamında kullanılan R260 kalite ray çeliği ve mantarı sertleştirilmiş ray çeliğinin mikro yapılarında perlit ve ferrit fazları bulunmaktadır. Bu fazlarla ilgili yapılan bazı çalışmalara bakacak olursak;

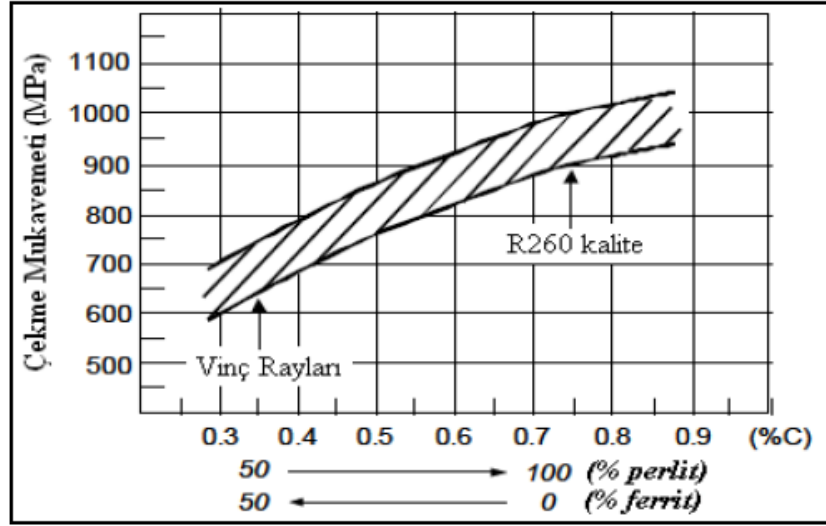
Özçelik yapmış olduğu çalışmada [2]; R260 kalite mantarı sertleştirilmiş raylarda soğutma sürelerinin, mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde etkisini incelemiştir. Soğutma süresi arttıkça, ray numulerinin de sertliğinin arttığını belirlemiştir. Isıl işlem görmemiş raylarda mikroyapı kaba perlitik yapıya sahipken, ısıl işlem görmüş raylarda ise mikroyapının ince perlitik yapıya sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Onat yapmış olduğu çalışmada [9]; R260 kalite mantarı sertleştirilmiş raylara farklı sıcaklıklarda, sadece su veya su+hava karışımı verilerek uygun mikroyapı ve sertliğin belirlenmesini amaçlamıştır. Bu işlemler sonucunda ince perlitik yapı elde edilmiştir. Deneysel numunelerinde mantar sertleştirme ısıl işlemi sonrası sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Yıldız yapmış olduğu çalışmada [19]; perlitik ray çeliğinin haddeleme işlemi sırasında, rayın mikroyapı ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesini amaçlamıştır. Mikroyapı incelemeleri sonucunda, perlit tanelerinin küçüldüğünü gözlemlemiştir. Haddeleme yönteminin neden olduğu deformasyon oranında artış oldukça; çekme ve akma dayanımının, sertliğinin ve yüzde uzama miktarının arttığını gözlemlemiştir.

Clayton ve Danks yapmış oldukları çalışmada [34]; perlit lameller arası uzaklığın sertlikle ters orantılı olduğunu göstermişlerdir.

Williams vd. karbon oranının mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisini inceledikleri çalışmada [35]; karbon oranı arttıkça çekme mukavemetinin de arttığı ve mikroyapının perlitik yöne doğru artış gösterdiğini belirlemişlerdir.

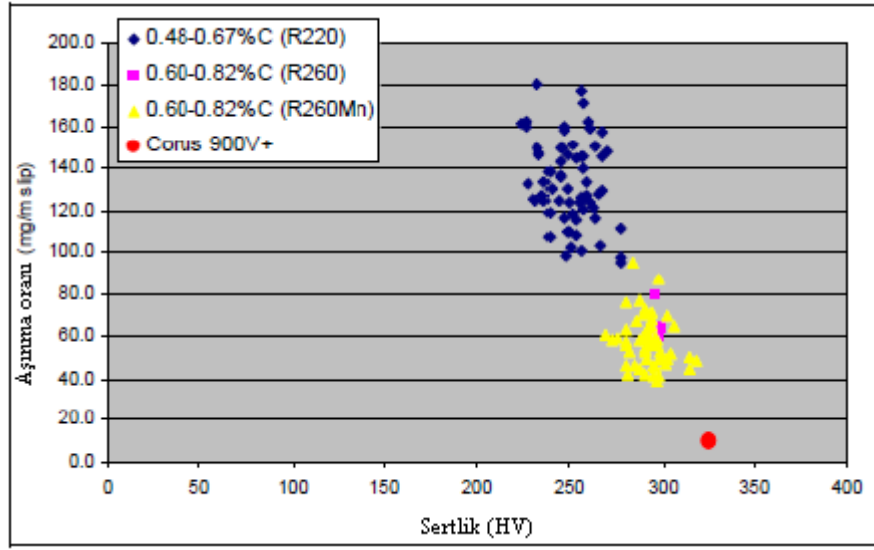


Şekil 5.1. Karbon oranının mikroyapı ve çekme mukavemetine etkisi [36].

Madler vd. tarafından yapılan çalışmalarda [36]; beynitik ve perlitik ray çeliklerinin yuvarlama temas yorulması ile beraber hat virajlarında kullanılabilirliğinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Aşınma oranı az olmasına rağmen, yüksek sertlikteki perlitik ray çelikleri mantar çapaklanmalarına ve kılcal çatlaklara yol açmıştır. Elverişli alaşımlama ve sülfür yapılarının kontrolüyle, ısıl işlemsiz sert çelikler mantarı sertleştirilmiş raylara farklı bir seçenek olarak geliştirilebileceğini öne sürmüşlerdir.

Clayton ve Jin yapmış oldukları çalışmada [37]; beynitik çeliklerde aşınma oranının perlitik çeliklere göre sertliğe daha az bağlı olduklarını tespit etmişlerdir. Clayton aynı zamanda karbür bulundurmayan, martenzit mikroyapıya sahip beynitik çeliklerin, perlitik çeliklere göre daha fazla aşınma direnci gösterdiklerini saptamışlardır.

Jaiswall farklı perlitik ray çelikleri ile yapmış olduğu çalışmada [38]; sertlikle aşınma davranışı ilişkisini incelemiştir. Karbon oranı arttıkça sertlik, böylelikle aşınma direnci de artmaktadır.



Şekil 5.2. Sertliğin aşınma davranışı ile ilişkisi [38].

Yokoyama yaptığı çalışmada [39]; yüksek dayanımlı beynitik ve perlitik ray çeliklerine yuvarlanma temas yorulması için su ve yağlama ile beraber aşınma testi uygulamıştır. Bu test sonucunda beynitik çeliklerde hasar başlangıç zamanının daha uzun sürdüğü tespit edilmiştir.

Bhavani vd. yapmış oldukları çalışmada [40]; perlitik ray çeliğinin mantarı üzerinden uzunlamasına yönde aldıkları numunelere mikroyapı ve sertlik deneyleri uygulamışlardır. Mikroyapısal gözlemler sonucunda, ray yüzeyine yakın yerden alınan numuneler için tane sınırlarında ötektoid dönüşüm öncesi ferritin var olduğunu gözlemlemişlerdir. Sertlik deneyleri sonucunda, farklı derinliklerden alınan numunelerden yüzeye yakın olan ray numunesinin sertlik değerinde artış gözlemlenmiştir.

Nikas yapmış olduğu çalışmada [41]; perlitik ray çeliğini çift eksenli makine kullanarak bükmüş ve yüzey tabakasından çeşitli örnekler alarak mikroyapı karakterizasyonunu gözlemlemiştir. Mikroyapısal bozulmalar yüksek sıcaklıklarda meydana gelmeye başlamış, 450 °C’de deforme olmamış numune ve 400 °C’de öngendirilmiş malzeme için perlitin küreselleşmesi görünür hale gelmeye başladığını belirlemiştir. Ray malzemesinde, kayma gerilmesi arttıkça dislokasyon yoğunluğunun arttığını tespit etmiştir.

Eden vd. yapmış oldukları çalışmada [42]; perlitik ray çeliklerinin yüzey altı tabakasındaki mikroyapısal değişiklikler üzerindeki yüklemeleri ve yorulma çatlak oluşumunu gözlemlemişlerdir. Amaçları, ray ömrünü modellemek ve optimize etmek için yorulma çatlak başlatma mekanizması hakkında bilgi edinmektir. Ön ötektoid ferrit ve perlit fazlarında farklı sertleşmeler gösteren mikroyapısal gözlemlerle birlikte mikro ve nanosertlik ölçümleri belirlemişlerdir ve önemli miktarlarda ötektoid ferrit ($\approx 20\%$) içeren hizmet dışı bırakılan raylardaki kısa ($< 50 \mu\text{m}$) çatlakların gözlemleri, önerilen mekanizmayı doğrulamaktadır.

BÖLÜM 6

MALZEME VE YÖNTEM

Demir yolu hattı üzerinde bulunan rayların verimi konusundaki talep, yük trenlerine daha fazla ağırlık yüklenebilmesi ve trenlerin hızının artırılması üzerinedir. Ray mantarı sertleştirme işlemi, rayın mekanik özelliklerini geliştirerek ömrünün uzamasını sağlayan etkili bir yöntemdir. Bu çalışmada, R260 kalite demir yolu rayının mantar sertleştirme parametrelerinin belirlenmesi ve böylelikle R350HT kalite ray çeliği özelliklerine ulaşılması hedeflenmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan R260 kalite ray çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1’de verilmiştir. Aynı zamanda sertliği 260 HB olan ray çeliğinin diğer mekanik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan rayın kimyasal kompozisyonu.

Ray	%							Ppm		Rm (MPa)
	C	Si	Mn	P (max)	Cr	A l(max)	V (max)	O	H	
R260	0,60- 0,82	0,13- 0,60	0,65- 1,25	0,030	0,15 max.	0,004	0,030	20	2,5	880

Çizelge 6.2. R260 kalite tren rayının mekanik özellikleri.

Çekme mukaveti (MPa)	1300
Uzama (%)	13,5
Kırılma tokluğu (MPa)	43

6.1. NUMUNE HAZIRLAMA VE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER



Şekil 6.1. Standart ray numunesi

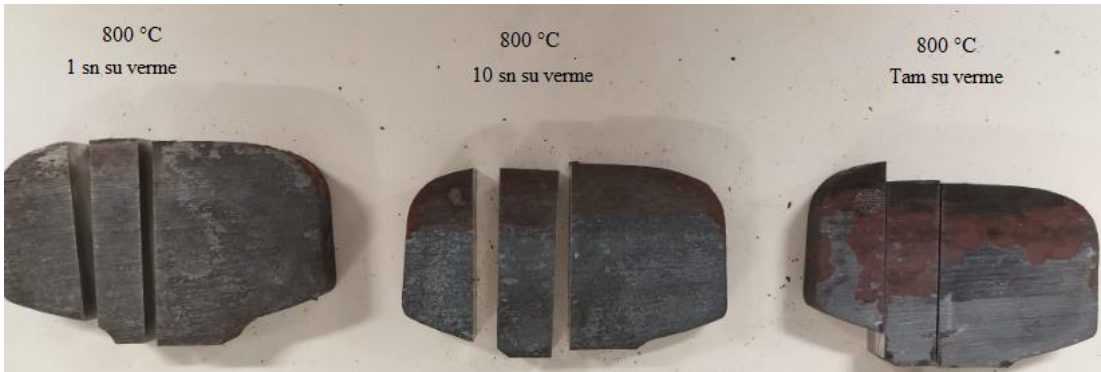
Standart ray boyutunda olan numuneden, 1 cm kalınlığında parçalar kesilmiştir. 1 cm kalınlığında kesilen numunelerin ısıl işlemi Protherm marka ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir. Numuneler 800 °C’de östenitleşme sıcaklığına çıkarılmıştır ve bu sıcaklıkta 45 dakika bekletilmiştir.



Şekil 6.2. Isıl işlem fırınında bekletilen ray numunesi.

Kesilen numulere uygulanan ısı işlemler sırasıyla:

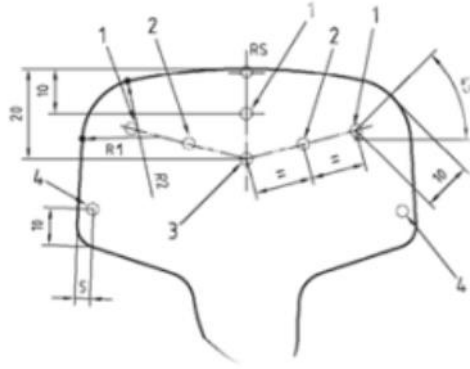
- İlk numune 1 saniye boyunca suya daldırılarak bekletildi ve havada soğumaya bırakıldı.
- İkinci numune 10 saniye boyunca suya daldırılarak bekletildi ve havada soğumaya bırakıldı.
- Üçüncü numuneye ise uç kısımları suya daldırılarak tam su verme gerçekleştirildi.



Şekil 6.3. Farklı sürelerle mantarı sertleştirilen raylar.

6.2. SERTLİK DENEYİ

R260 kalite ray çeliği numunelerininin kesitlerinden Şekil 6.4'de gösterildiği gibi sertlik testleri yapılmıştır. Standarda uygun olarak 15 saniye süreyle 187,5 kg yük altında sertlik testlerinin yapıldığı Zwick/Roell marka sertlik cihazı Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.4. TS-EN 13674-1 standardına göre sertlik değerlerinin alınacağı bölgeler [8].



Şekil 6.5. Zwick/Roell marka sertlik cihazı [8].

6.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

6.3.1. Optik Mikroskop Çalışmaları

Mikroyapı çalışmaları, metalografik yöntemlere göre yapılmıştır ve alınan görüntüler optik ışık mikroskopunda gerçekleştirilmiştir. İncelenecek olan numuler kesilerek uygun boyuta getirilmiş; zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılarak optik mikroskopta mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

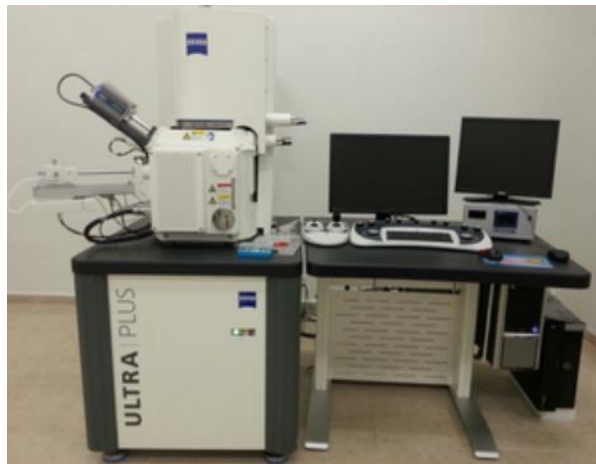
Mikroyapı fotoğrafları Nikon Eclipse MA 200 optik ışık mikroskopunda (LOM) 200X ve 500X büyütmede çekilmiştir. Şekil 6.6'da kullanılan optik ışık mikroskobu görülmektedir.



Şekil 6.6. Nikon Eclipse MA 200 optik ışık mikroskobu.

6.3.2. SEM Analizi

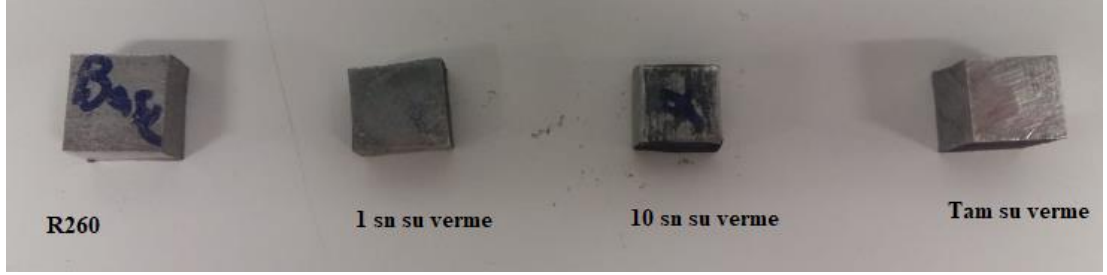
SEM analizi Carl-Zeiss Ultra Plus cihazında yapılmıştır. SEM analizinde mikroyapı hakkında bilgiler elde edilmiştir. Analizde kullanılan SEM cihazı Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Carl-Zeiss Ultra Plus cihazı.

6.4. BASMA DENEYİ

Ray mantarı üst bölümünden 10'a 10 mm'lik küp şeklinde numuneler hazırlandı. Hazırlanan numunelere 1, 10 sn ve tam su verme işlemleri gerçekleştirildi. Su verme işlemlerinden sonra raylara 20 N yük altında basma deneyi yapıldı.



Şekil 6.8. Kesilen numuneler ve su verme süreleri.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇ DEĞERLERİ VE TARTIŞMA

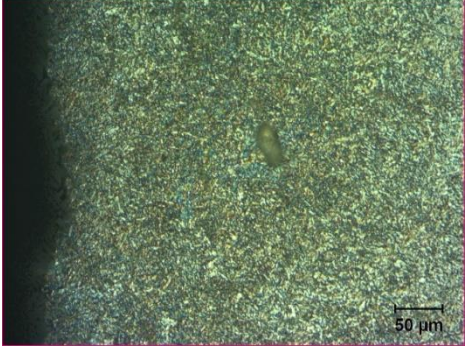
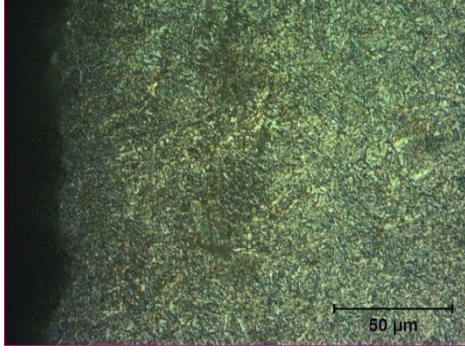

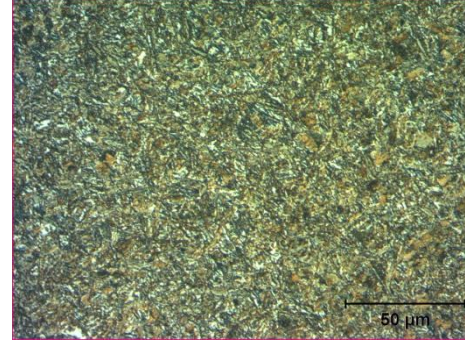
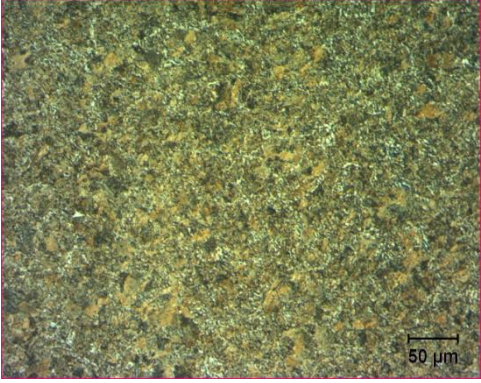
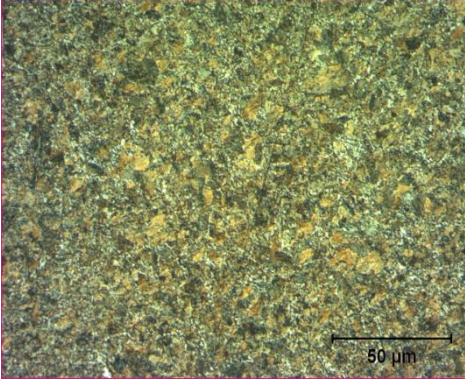
7.1. MİKROYAPI ANALİZ SONUÇLARI

7.1.1. Optik Mikroskop Analizi

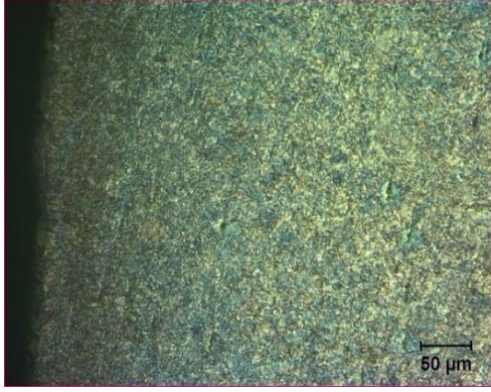
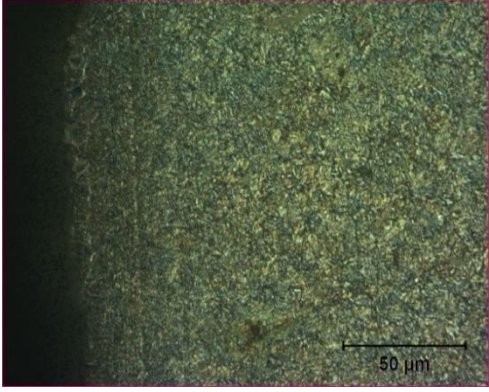
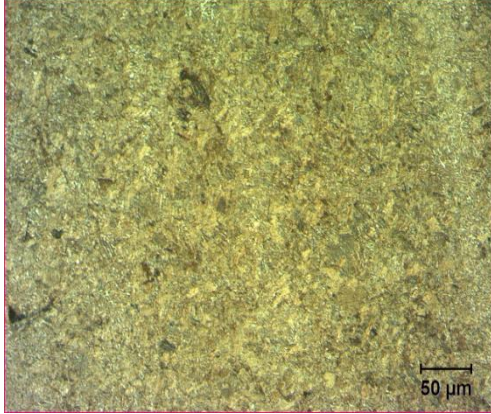
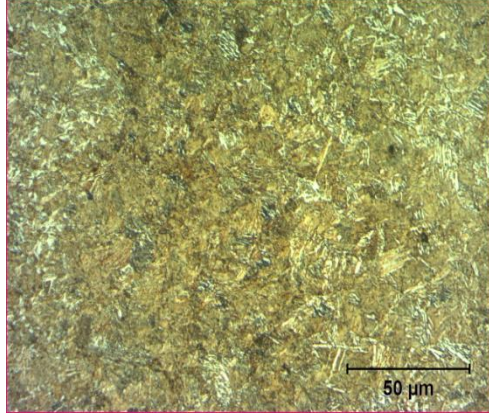
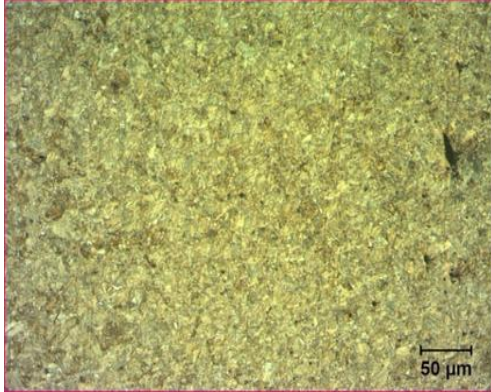
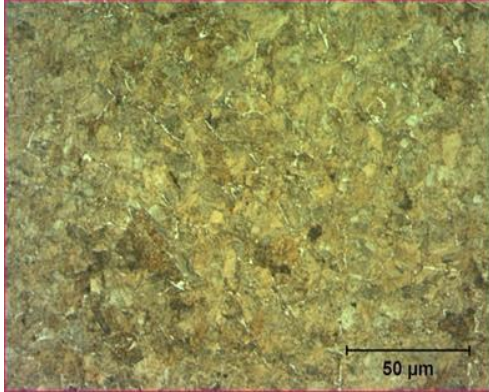
Deneysel çalışma kapsamında 800 °C’de östenitlenmiş ray numunelerinin 1 ve 10 sn sürelerle suya daldırma ve tam su verme ısıl işlemi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüleri sırasıyla Çizelge 7.1, Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3’de verilmiştir. Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de sırasıyla 800 °C’de 1 ve 10 sn süreyle suya daldırıldıktan sonra havada soğuma ısıl işlemi uygulanarak sertleştirilen ray numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmektedir. Çizelge 7.3’de 800 °C’de tam su verme işlemi sonrası mikroyapı görüntüsü verilmektedir. Görüntüler ray mantarının üst bölgesinden alınmıştır.

Isıl işlem görmemiş R260 kalite rayın optik mikroskop görüntüsü ötektoid bileşimde olduğu için perlitik bir yapıdır. Perlit lamelleri kaba karakterlidir.

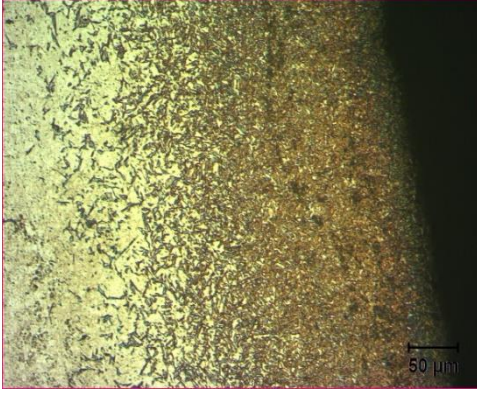
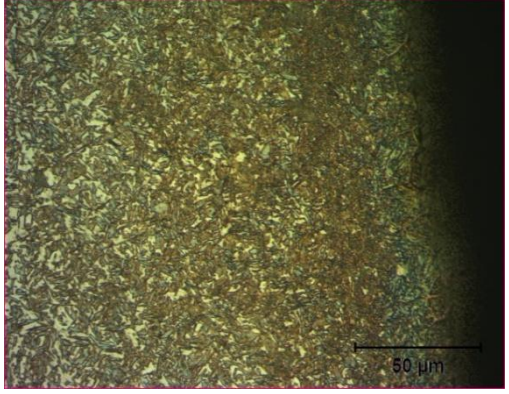
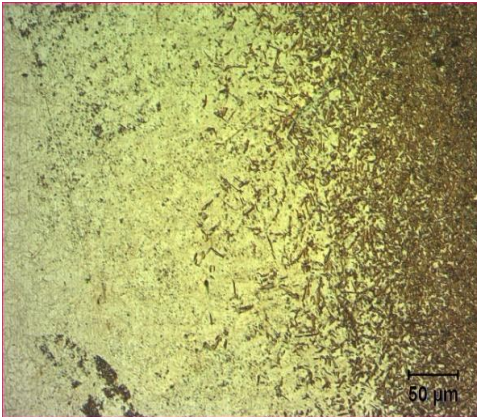
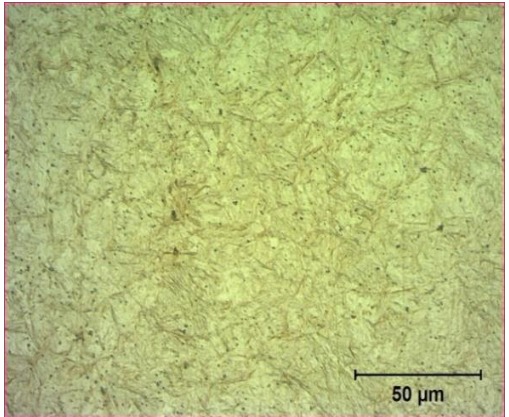
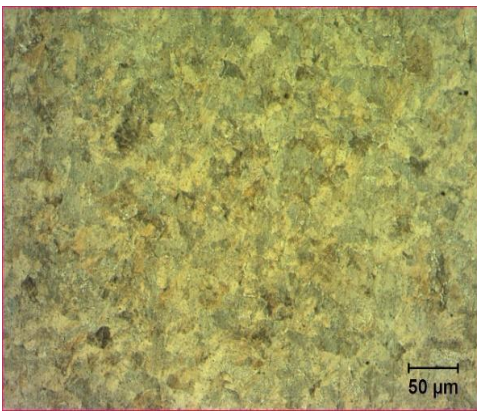
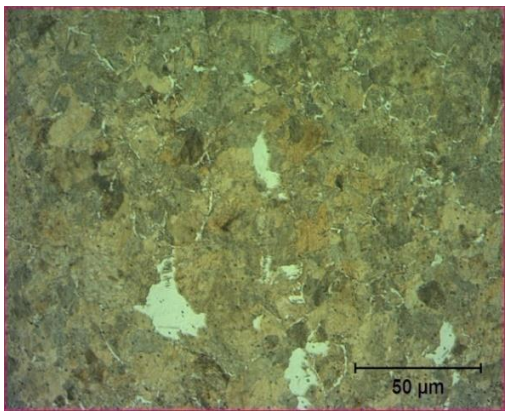
Çizelge 7.1. 800 °C'de 1 saniye suya daldırma ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın optik ışık mikroskop görüntüsü.

	200X	500X
Martenzit		
Martenzit+Perlit yapı		
Perlit yapı		

Çizelge 7.2. 800 °C’de 10 saniye suya daldırma ısıt işleme sonrası elde edilen rayın optik ışık mikroskop görüntüsü.

	200X	500X
Kenar bölgesi-Martenzit		
Martenzit+Perlit yapı		
Perlit yapı		

Çizelge 7.3. 800 °C’de tam su verme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın optik ışık mikroskop görüntüsü.

	200X	500X
Kenar bölgesi-Martenzit		
Martenzit+Perlit yapı		
Perlit yapı		

Malzemeye su verildiğinde yüzey ile merkez bölümünün soğuma hızları farklı olduğundan sertlikleri de aynı olmaz. Isı yüzeyden uzaklaştırıldığı için yüzey daha hızlı soğur ve böylelikle yüzeydeki sertlik değeri daha büyük olur. Malzemelerde mikroyapılar; dış kısımlarda martenzit yapıda olurken, iç kısımlara doğru inildikçe perlit yapıya geçiş yaparlar.

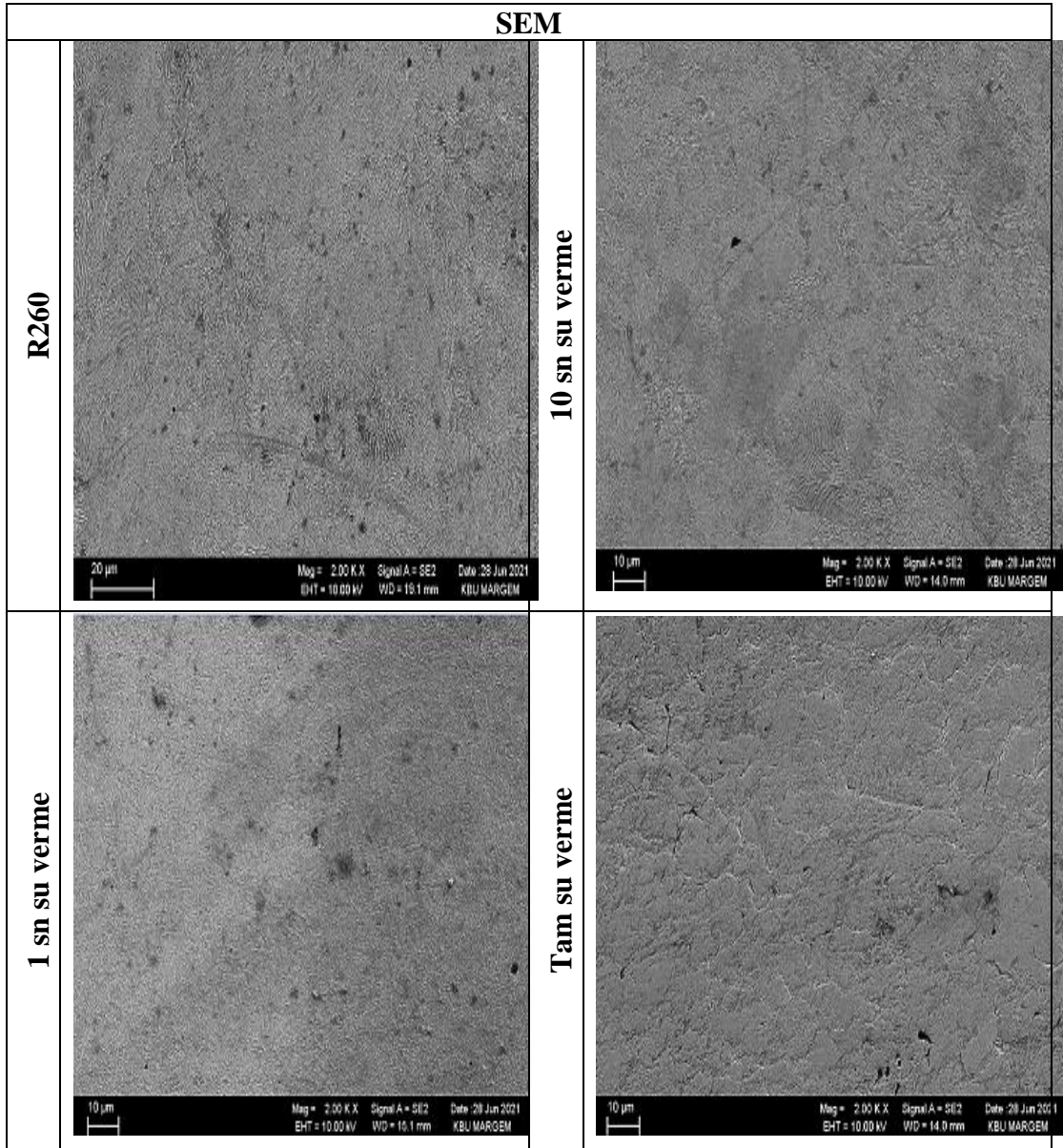
R260 kalite ray çelikleri perlitik yapıda olmakla birlikte, R350HT kalite ray çeliklerinde perlitik yapılar daha sık ve incedir.

1 ve 10 saniye sürelerle su+hava ortamında soğumaya bırakılan numunelerden 10 sn süre ile bekletilen daha sıkı ve ince perlitik yapıdadır. Tam soğumada yapı artık martenzit olmuştur. Martenzit çok sert ve kırılğan olduğu için malzemedede bulunması istenmez.

7.1.2. SEM Analizi

Ray çeliğine farklı sürelerle su verme işlemiyle elde edilen numunelerin SEM görüntüleri Çizelge 7.4’de verilmiştir.

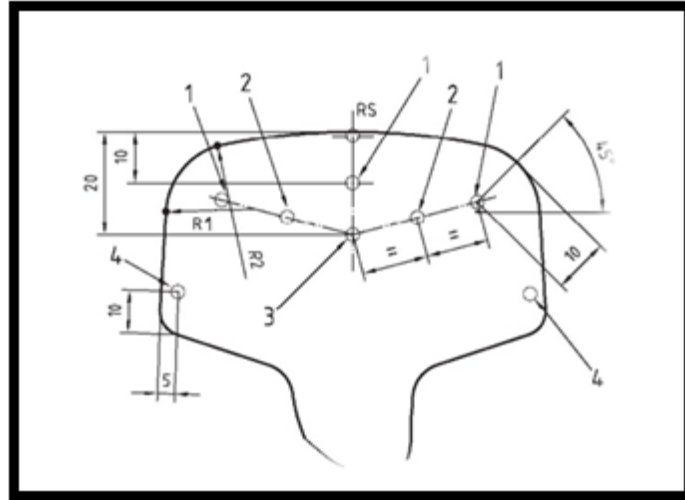
Çizelge 7.4. Farklı su verme sürelerinde soğutulan ray numunelerinin mantar kesitinden SEM görüntüsü.



SEM görüntülerine bakıldığında R260 kalite ray numunesinin kaba perlit yapıda olduğu görülmektedir. 1 sn ve 10 sn sürelerle su verilen ray numunelerinde ince perlitik yapı oluştuğu görülmektedir. Tam su verilen ray numunesinde ise çok sert ve daha ince bir mikroyapıya sahip, martenzit olması muhtemel bir görüntü elde edilmiştir. Tam su verilen ray numunesi hızlı soğuma etkisinde kalmıştır.

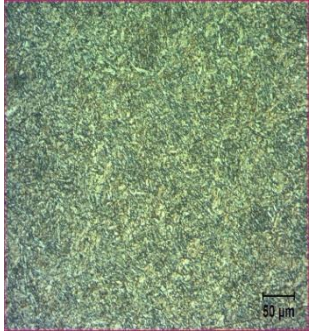
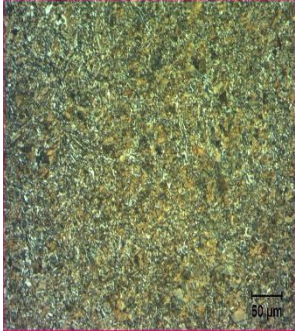
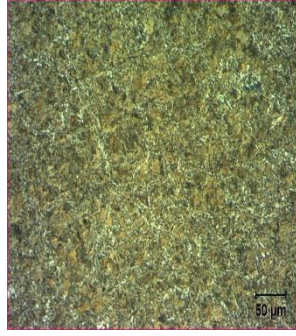
7.2. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

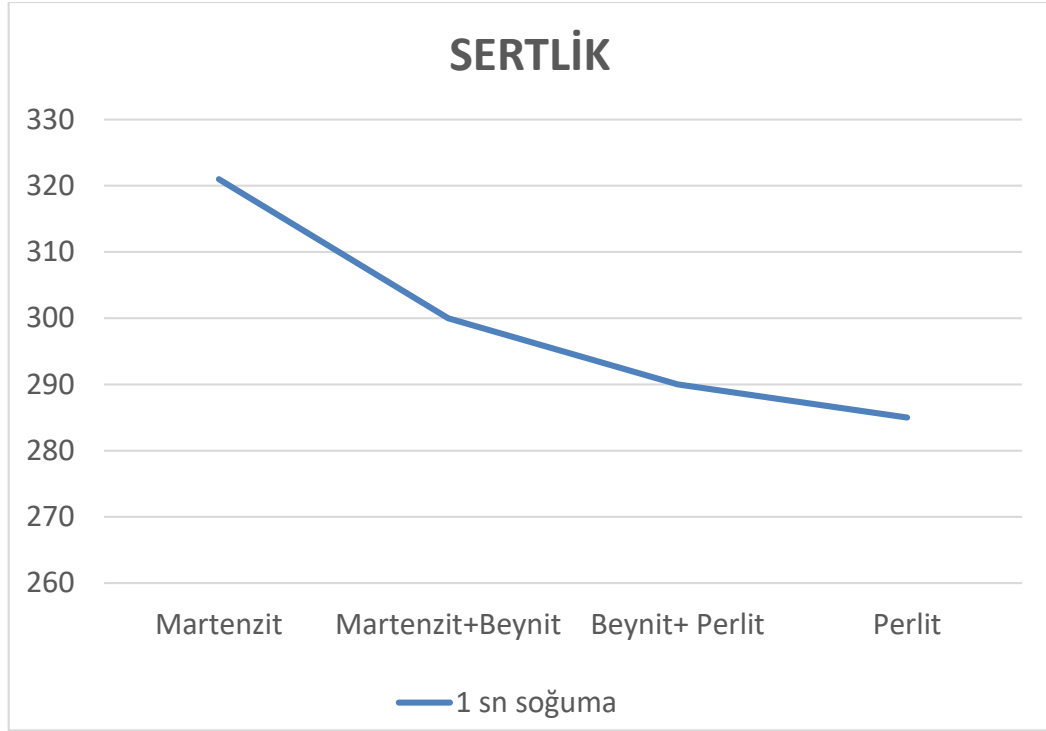
R260 kalite ray çeliğinin sertlik değerleri 260-290 HB aralığında değişmektedir. Mantarı sertleştirilen rayların sertlik değerleri ise 360 HB değerlerine kadar çıkmaktadır. Ray numunesinde sertlik ölçümü yapılacak bölgeler TS-EN 13674-1 standardında belirtilmiştir.



Şekil 7.1. EN 13674 standardına göre ray mantarında sertlik ölçümü yapılacak yerler [8].

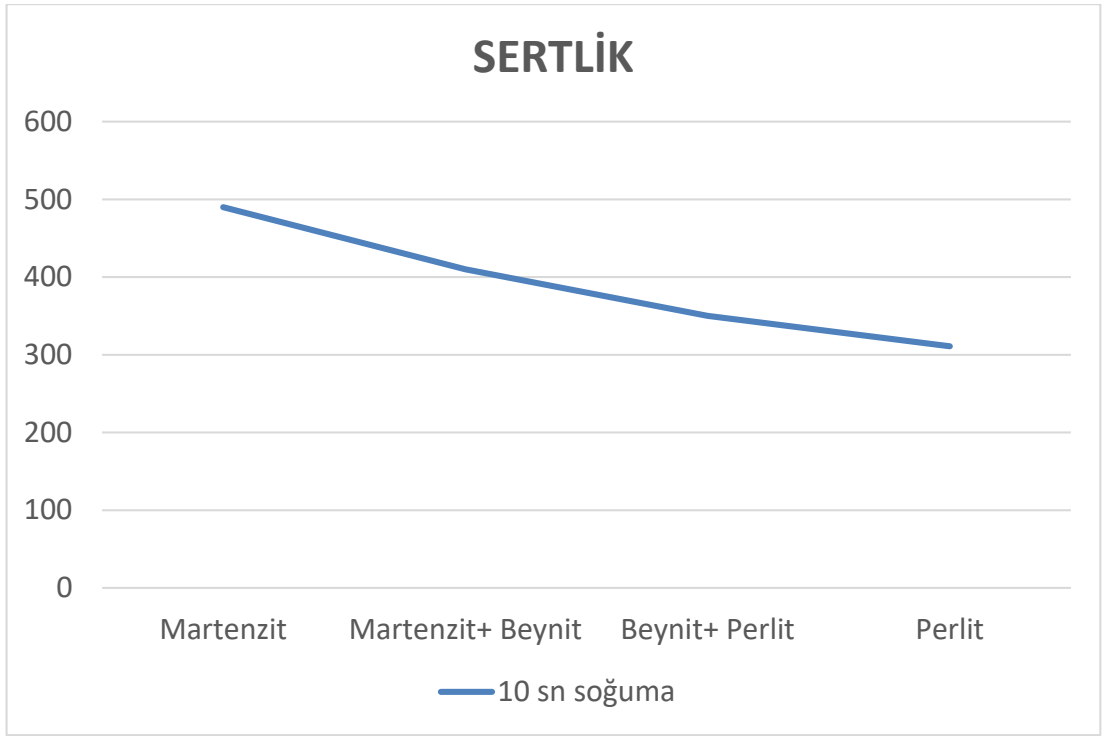
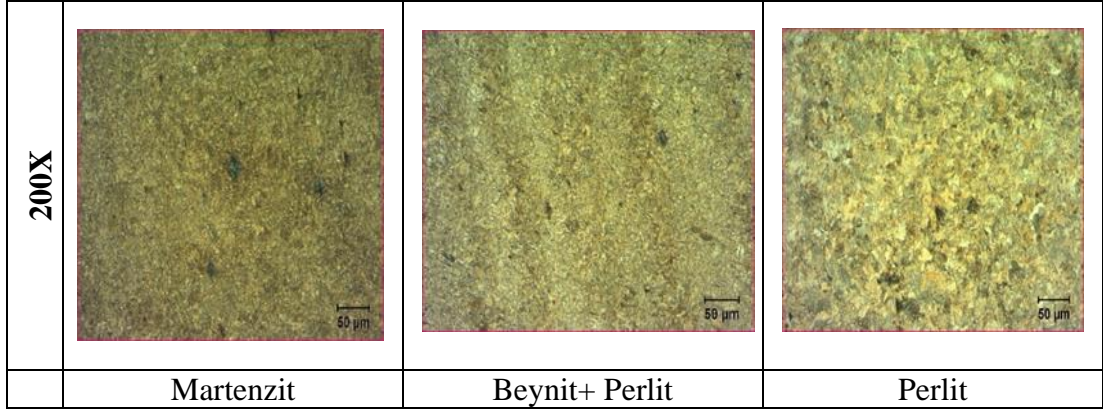
Çizelge 7.5. 1 sn su verilen numunenin mikroyapı görüntüleri.

200X			
	Martenzit	Beynit+ Perlit	Perlit



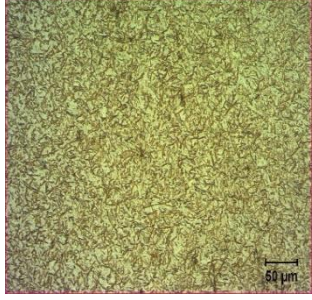
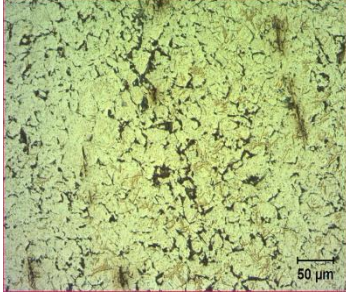
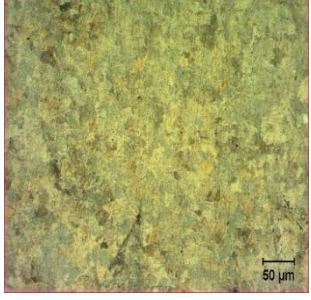
Şekil 7.2. 1 sn su verilen numunenin sertlik diyagramı.

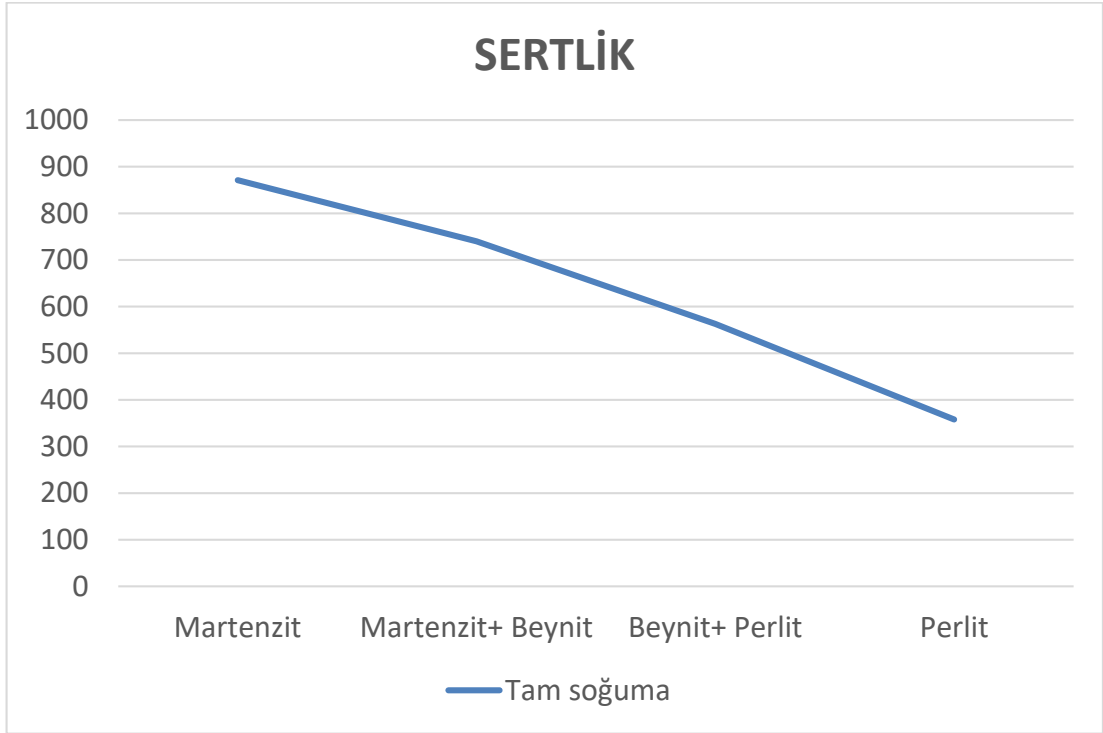
Çizelge 7.6. 10 sn su veren numunenin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 7.3. 10 sn su verilen numunenin sertlik diyagramı.

Çizelge 7.7. Tam su verilen ray numunesinin mikroyapı görüntüleri.

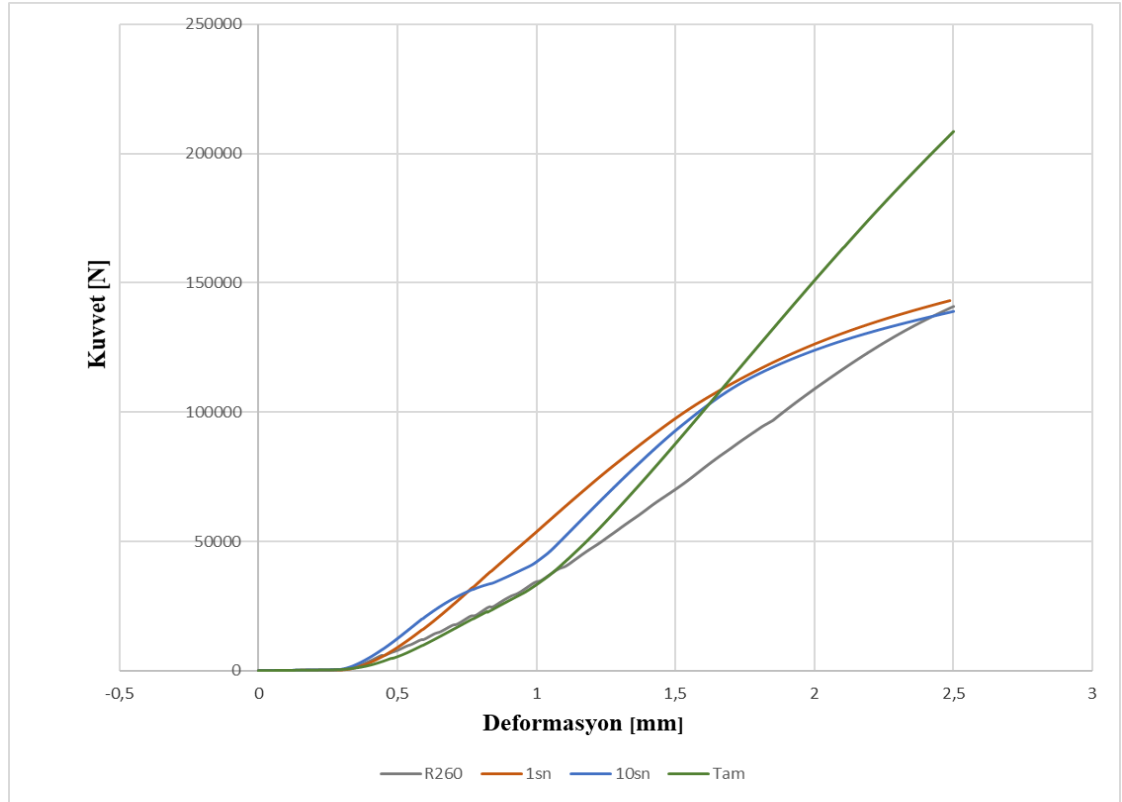
200X			
	Martenzit	Beynit+ Perlit	Perlit



Şekil 7.4. Tam su verilen ray numunesinin sertlik diyagramı.

İncelenen ray numunelerinin sertlik değerleri, mantar sertleştirme yönteminde artan ısı işlem süresi ile artış göstermektedir. 1 ve 10 sn su verilen raylarda ince perlitik mikro yapı görülmektedir. 10 sn süreyle soğutulan ray numunesi R350HT kalite ray için gerekli olan sertlik değerlerini karşılama eğilimindedir. Fakat tam su verme işlemi gören ray numunesi çok yüksek sertliklere sahiptir ve bu yüksek sertlik değerleri malzemede istenmez. Yüksek sertliğe sahip olan malzemelerde, kırılabilirlik ve çatlak oluşumunun hızlı bir şekilde ilerlemesi gibi sorunlar oluşabilmektedir.

7.3. BASMA DENEYİ SONUÇLARI



Şekil 7.5. Farklı sürelerle su verilen numunelerin basma diyagramı.

Basma deneyinde; tam su verilen ray numunesinin yükseklik/genişlik oranı azaldıkça, sürtünme artmakta ve malzeme daha yüksek bir mukavamete ulaşmaktadır. Yükseklik/genişlik oranının büyük olması, numunenin deney esnasında bükülmesine ve gerilmelerin homojen olarak dağılmamasına neden olur. Malzemeye su vermeye başladığımızda yapı gevrekleşir. Su vermeye devam ettiğimizde malzeme

deformasyona uğrar ve kırılır. Tam su verilen ray numunesi gevrek, diğer numuneler ise sünektir.

Deformasyon oranı arttıkça taneler küçülür. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırları artar. Tane sınırları arttıkça, dislokasyonların karşılaştığı engel miktarı artar ve malzeme daha sert ve tok olur.

BÖLÜM 8

GENEL SONUÇLAR

R260 kalite ray çeliğine uygulanan ısıtma işlemler sonucunda elde edilen mekanik ve mikroyapı değerlerinin genel sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- Isıtma işlem görmemiş R260 kalite ray kaba perlitik yapıdadır. 800 °C’de 1 ve 10 sn su verilen numunelerde su verme süresi arttıkça malzeme daha sıkı ve ince perlitik yapıya ulaştığı gözlemlenmiştir. Tam soğumada yapının artık martenzit olduğu gözlemlenmiştir.
- Sertlik değerleri, mantar sertleştirme yönteminde artan ısıtma işlem süresi ile artış göstermektedir. Mantarı sertleştirilen numunelerin sertlik değerleri 290 HB değerlerinden 360 HB değerlerine ulaşmıştır.
- Basma deneyinde 800 °C’de tam su verilen ray numunesi yüksek mukavemet değerine ulaşmıştır ve gevrekli. 1 ve 10 sn sürelerle su verilen numunelerin ise sünek yapıda olduğuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Başkonuş, M., ve Tekin, E., (2012). “Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri”, *International Iron and Steel Symposium*, 02-04 Nisan, Karabük 2012.
2. Özçelik S., “Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışı İncelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-20 (2013).
3. TCDD, (2010). *T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006-2010*, Yayın No 24, Ankara.
4. TCDD, (1993). *1100 Kalite Rayların Kırılma Nedenleri Belirleme Araştırma Projesi Raporu*, Yayın No: 5, Ankara.
5. TCDD, (2015). *T.C. Devlet Demir Yolları Yol Mühendisleri Kursu*, Yayın No:102336, Ankara.
6. Sevim, R., “İstanbul’da Kent İçi Raylı Sistemler ve Üstyapı Hesapları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-10 (2007).
7. Koymatçık, H., “R260 Kalite Rayların Optimum Mantar Sertleştirme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 15-20 (2012).
8. Turan, M.E., “R260 Kalite Tren Raylarında Kalıntı Gerilmenin Belirlenmesi ve Bunun Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük,7-10 (2015).
9. Onat, Ö., “Mantarı Sertleştirilmiş R260 Kalite Rayların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 10-15 (2012).
10. Durand, M., “Microstructure of Steels and Cast Irons”, *Springer-Verlag*, Berlin, 1: 151-238 (2004).
11. Ertan, S., “Farklı Kalitedeki Rayların Mikroyapı, Kalıntı Gerilme ve Kırılma Tokluğu Özelliklerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük*, 20-30 (2021).

12. Ergin, H., “Bazik oksijen fırınının yapay agrega olarak esnek üst yapılarda alt temel ve temel tabakalarında kullanılabilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 16 (2017).
13. Yıldırım, M., “Yüksek fırında scaffold (skaffold) önleme metotlarının analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 5-13 (2012).
14. Kalaycıoğlu, O., “Kardemir’de Ray Üretiminde İyileştirmeler”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 67-69 (2006).
15. Coşar, D., “8622RH ve 20MnCr5 Çeliklerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerine Gaz Karbürleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 3-10 (2014).
16. Aksoy, A., “Çelik Malzemelerde Hasar Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4-9 (2015).
17. Savaşkan, T., “Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi”, Papatya Bilim ÜniversiteYayıncılığı, 8. Baskı, **İstanbul**, 160-170 (2017).
18. Altun, S., “Isıl İşlem Görmüş Ray Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Mersin, 10-20 (2019).
19. Yıldız, M., “Ray Çeliğine Uygulanan Haddeme İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 5-10 (2018).
20. Kardemir A.Ş., “Ünite içi eğitim notları”, **Kardemir A.Ş. Çelikhane Müdürlüğü**, Karabük, 1-32 (2009).
21. Mädler, K., Zoll, A., Heyder R. and Brehmer, M., “Rail materials, alternatives and limits”, **Proceeding of the 8th. World Congress on Railway Research**, Korea, 18-22 (2010).
22. Yıldızlı, K., Odabaş, D. ve Nair, F., “Borlanmış AISI 1020 çeliğinin erozif aşınma davranışlarının incelenmesi”, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 131-139 (2003).
23. DIN EN 13674-1 standartı, “Railway applications - track - rail - Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above”, **European Committee for Standardization**, 1-37 (2007).
24. Tulumtaş, “H. Ray Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler ve Türkiye’de Üretim İmkanları”, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/12073.pdf> (2013).

25. Voestalpine, Heat treatment Technology, *www.voestalpine.com*, 08 Eylül 2013.
26. Bramfitt, B.L., (1994). “Advanced In line Head Hardening of Rails”, *Research Department*, Bethlehem Steel Corporation.
27. United States Patent, (1984). *Method For the Production of Improvement Railway Rails by Accelerated Cooling In Line with The Production Rolling Mill*, Patent No: 4486248, Patent Tarihi: 04/12/1984.
28. EN 13674-1, (2003). *Railway Applications – Track – Rail – Part 1: Vignole Railway Rails 46 kg/m and Above*, Brussels.
29. Innotrack Guideline, (2006). “Definitive guidelines on the use of different rail grades”, *Innotrack Proje* No: TIP5-CT-2006-031415, 1-43.
30. Torun, A., “Ray Haddeleri Gelişim Süreci ve Teknolojisi Araştırma Raporu”, *Kardemir*, 5-12 (2003).
31. Lichtberger Dr. B., “Track Compendium”, *Hamburg Printed in Germany*, 17: 200-250 (2005).
32. Baydur, G., “Malzeme Bilgisi”, *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları*, Ankara, 18: 55-66 (1979).
33. Sahay, S.S., Mohapatra, G. and Totten, G.E., “Overview of pearlitic rail steel: accelerated cooling, quenching, microstructure, and mechanical properties”, *Journal of ASTM International*, 6 (7): 1-26 (2009).
34. Clayton, P. and Danks, D., “Effect of interlamellar spacing on the wearresistance of eutectoid steels under rolling/sliding conditions”, *Wear*, 135 (2): 369-389 (1990).
35. Williams, J.G., Simpson, J.D. and MacDonald, J.K., “Niobium in rail steels”, *Proceedings of the International Symposium Niobium*, San Francisco, 81:1019-1040 (1981).
36. Zhan, X. and Wang, S., “Research on the improvement of rail head hardening technology on railway”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*,5: 263 - 271 (2005).
37. Clayton, P., and Jin, “N. Unlubricated sliding and rolling/sliding wear behavior of continuously cooled, low/medium carbon bainitic steels”, *Wear* ,200: 74-82 (1996).
38. Jaiswal, J., “Reducing LCC of tramway tracks”, *Urban Track Final Conference*, Prague, 7 (2009).

39. Yokoyama, H., “Characterization of bainite rails and pearlite rails used in highfreight railroads in terms of wear resistance and damage resistance”, **39th Mechanical Working and Steel Processing Conference**, Indiana, 15: 1023-1028 (1988).
40. Bhavani, G., Srivastava J.P., Mahesh V., “Characterization of used and virgin pearlitic rail steel”, Centre for Materials and Manufacturing, Department of Mechanical Engineering, *SR University*, Warangal 506371, IndiaMaterials Today: Proceedings 39 (2021) 454–458.
41. Nikas D., “Influence of combined thermal and mechanical loadings on pearlitic steel microstructure in railway wheels and rails”, Thesis for The Degree of Doctor of Philosophy, *Chalmers University of Technology*, Gothenburg, Sweden 2018.
42. Eden, H.C., Garnham J.C., Davis C.L., “Influential microstructural changes on rolling contact fatigue crack initiation in pearlitic rail steels”, *Materials Science and Technology*, pages: 623-629.
43. İnternet: Script, “Mantarı Sertleştirilmiş Ray Üretimi ve Hat Tasarımı”, <https://tr.scribd.com/doc/216077507/Mantarı-Sertleştirilmiş-Ray-Üretimi-ve-Hat-Tasarımı-TEZ-pdf> (2014).
44. UIC Code 721, “Recommendations for the use of rail steel grades”, *International Union of Railways*, 8: 1-23, (2005).
45. Dokuzlar, Ö., “36CrB4 ve 42CrMo4 Çeliklerde Isıl İşlemin Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2-7(2018).

ÖZGEÇMİŞ

Merve TEKGÖZ ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2014 yılında başladığı Raylı Sistemler Mühendisliğinden 2018 yılında iyi bir ortalama ile mezun oldu. 2015 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi bölümünden 2021 yılında mezun oldu.