

**R260 KALİTE RAYLARIN OPTİMUM MANTAR  
SERTLEŞTİRME PARAMETRELERİNİN  
BELİRLENMESİ VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Hüseyin KOYMATCIK**

**R260 KALİTE RAYLARIN OPTİMUM MANTAR SERTLEŞTİRME  
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hüseyin KOYMATCIK**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2012**

Hüseyin KOYMATCIK tarafından hazırlanan “R260 KALİTE RAYLARIN OPTİMUM MANTAR SERTLEŞTİRME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ) .....

Üye : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ) .....

..../..../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Hüseyin KOYMATCIK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **R260 KALİTE RAYLARIN OPTİMUM MANTAR SERTLEŞTİRME PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Hüseyin KOYMATCIK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**Haziran 2012, 84 sayfa**

Dünyada demir yollarında 2000 m den küçük çapa sahip virajlar dar viraj olarak tanımlanır. Ülkemizde mevcut demir yollarının % 34,2 si dar virajlı yollardan oluşmaktadır. Normalde düz yollarda ray ömrü 20-25 yıl iken dar virajlı kesimlerde iç kısımdaki rayların 2-3 yılda değiştirilmesi gerekmektedir. Bu kısımlarda mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması uluslar arası demir yolu birliği(UIC) tarafından da tavsiye edilmektedir. UIC'nin Mart 2005 tarihli 721 numaralı talimatı kullanılacak rayların kaliteleri hakkında tavsiye içermektedir. Buna göre yıllık tonajı 20 milyon tondan fazla ve yarı çapı 400 m den az virajlı yollar için kesinlikle mantarı sertleştirilmiş ray kullanılması tavsiye edilmektedir. Ülkemizde üretilen ısılsız rayların düz yollarda (kurpsuz) kullanım ömürleri yüksek iken virajlı (kurp) yollarda ömürlerinin 7-8 kat azalması sebebiyle işçilik maliyeti ve zaman kaybı başta olmak üzere çeşitli zararlar ortaya çıkmaktadır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında R260 kalite raylardan mantarı sertleştirilmiş R 350 HT kalite rayların laboratuvar ortamında üretilebilirliğinin test parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Rayın sıcaklığı hadde çıkışında 900 °C'de olduğundan, laboratuvar koşullarında gerçek koşulların simülasyonu yapılabilmesi için ostenitleme sıcaklıkları 900, 850 ve 800 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma yöntemi olarak daldırma ve püskürtme metodları seçilmiştir. Yağ, % 3 bor yağı katkılı su ve basınçlı su ve su+hava karışı, kullanılan soğutuculardır.

Soğutma süresi olarak 10, 15, 20, 30 ve 60 saniye belirlenmiştir. 900 °C'de 60 saniye için yağda, % 3 bor yağı katkılı suda daldırma ve su püskü ısı işlemi uygulanmış rayların sertlik ve mikroyapı incelemeleri, yağda daldırmadan su püskürtmeye doğru sertlikte artış ve mikroyapıda incelme ile sonuçlanmıştır.

800, 850 ve 900 °C'de 10-30 saniye için su ve su+hava püskürtme ısı işlemi uygulanmış rayların, belirli sıcaklıkta ısı işlem süresinin artması ve belirli bir süre için ostenitleme sıcaklığının artması ile sertliğinde artış meydana gelmiştir. Su+hava karışımının kullanılması ile bu artış belirginleşmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Sıcak haddelenmiş ray, östenitleme, mantar sertleştirme, püskürtme.

**Bilim Kodu** : 915.1.093

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DETERMINATION OF OPTIMUM HEAD HARDENING PARAMETERS AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF R260 GRADE RAILS**

**Hüseyin KOYMATCIK**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Metallurgy and Materials Engineering Department**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI**

**June 2012, 84 pages**

At the scope of this M.Sc. thesis, the productibility of R350 HT rails from R260 rails in laboratory conditions is examined

Since the rail milling temperature is approximately 900 C, austeniting temperatures are defined as 900, 850, 800 C to make an accurate simulation. Dipping and spraying methods are selected for cooling. Selected cooling agents are oil, water+%3 boron oil, air plus water mixture and compressed water.

10, 15, 20, 30 and 60 seconds are selected as cooling times. At 900 C of austeniting temperature, for 60 seconds dipping in oil and % 3 boron oil+water, and water spraying cooling regines are applied. Hardness is increased and micro structure got finer from dipping to spraying

At 800, 850 and 900 C of austeniting temperatures for 10-30 seconds water and water air mixture sprayed rails. Hardness is increased with increasing heat treatment time and increasing austeniting temperatures. This increase can be seen more obviously by using air+water mixture.

**Key Words** : Hot rolled rails, austenized, head hardening, spraying of air+water.

**Science Code** : 915.1.093



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandığım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Bu tezin yűrűtűlmesinde yardımlarını esirgemeyen, Kardemir A.Ő den Genel műdűrűm Sn. Fadıl DEMİREL baőta olmak űzere Sn. İbrahim TOZLU, Sn. Osman YAZAROęLU, Sn. Semih ESEN ve Sn. Figen DİKİLİTAŐA teőekkűrű bir borç bilirim.

Sertlik, içyapı, kimyasal analiz ve numune alma gibi deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Kardemir A.Ő malzeme ve muayene laboratuvarı ve pik oes laboratuvarı çalıőanlarına teőekkűr ederim.

Sevgili eőime ve aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tűm kalbimle teőekkűr ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
NEDEN R 350 HT KALİTE RAYLAR .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
DEMİR YOLU RAYLARI .....	4
2.1. DEMİR YOLU RAYLARININ TANIMI VE ÖZELLİKLERİ .....	4
2.2. RAY MALZEMELERİNDEKİ GELİŞMELER.....	7
2.3. RAY ÇELİĞİ ÜRETİM METODLARI .....	13
2.3.1. Ray Çeliğinin Tavlanması .....	15
2.3.2. Rayın Haddeleme Süreci .....	16
2.3.3. Rayların Soğuma Şartları .....	18
2.3.4. Rayların Doğrultulması .....	19
2.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ.....	19
2.4.1. Karbon (C).....	19
2.4.2. Mangan (Mn) .....	20
2.4.3. Silisyum (Si) .....	20
2.4.4. Fosfor (P).....	20
2.4.5. Kükürt (S).....	20
2.4.6. Krom (Cr) .....	21

2.4.7. Nikel (Ni).....	21
2.4.8. Molibden (Mo).....	21
2.4.9. Vanadyum (V) .....	21
2.4.10. Bakır (Cu) .....	22
2.4.11. Alüminyum (Al).....	22
2.5. RAY TIPLERİ.....	22
2.5.1. Doğal Olarak Sert Raylar .....	22
2.5.2. Termal Olarak İşlem Gören Raylar.....	23
2.5.3. Yüksek Alaşımli Raylar .....	27
2.5.4. Beynitik Raylar .....	27
2.6. KULLANILAN RAY STANDARTLARI .....	28
2.6.1. Yetenek Tespit Testi: .....	28
2.6.2. UIC 860-0 ve EN 13674-12003+A12007 Üzerinde Yapılan Bir Karşılaştırma.....	29
BÖLÜM 3 .....	30
ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ.....	30
3.1. DEMİR-SEMENTİT DENGİ DİYAGRAMI .....	30
3.2. ISIL İŞLEM .....	33
3.3. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEM .....	38
3.4. RAY SERTLİĞİNİN ÖNEMİ .....	42
3.5. RAYLARDA SU VERME .....	44
3.6. MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ .....	46
3.7. MANTARI ŞERTLEŞTİRİLMİŞ RAYLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE EN 13674-12003+A12007 STANDARDINA GÖRE SERTLİK DAĞILIMI .....	48
3.8. RAY HADDEHANESİNDE HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA İLE DEMİR YOLU RAYLARININ ÜRETİMİNİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ÇEŞİTLİ MANTAR SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ .....	50
3.9. KARBÜRSÜZ BEYNİTİK ÇELİKLERİN ÜRETİMİ.....	56
BÖLÜM 4 .....	57
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	57
4.1. HIZLANDIRILMIŞ SU VERME SİSTEMİNİN TASARIMI .....	58

4.2. HIZLANDIRILMIŞ SU VERME ISIL İŞLEMİ VE MANTAR SERTLEŞTİRME .....	59
4.3. NUMUNE HAZIRLAMA .....	60
4.4. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI .....	62
4.5. SERTLİK DENEYİ.....	63
BÖLÜM 5 .....	65
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME .....	65
5.1. ÖN ÇALIŞMA SONUÇLARI .....	65
5.1.1. Ön Çalışma Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	65
5.1.2. Ön Çalışma Mikroyapı Sonuçları .....	66
5.2. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI.....	69
5.2.1. Deneysel Çalışma Sertlik Sonuçları.....	69
5.3. DENEYSEL ÇALIŞMA MİKROYAPI SONUÇLARI .....	73
BÖLÜM 6 .....	78
GENEL SONUÇLAR.....	78
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	84

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Atalet momenti ve direnç momentinin ( $I/v$ , $I/v'$ ) ağırlıkla değişimi. ....	7
Şekil 2.2. Çeşitli çelik türlerin hidrojen içerikleri. ....	11
Şekil 2.3. Rayın tezgah paso resimleri. ....	17
Şekil 2.4. Sıyırma yoluğu. ....	18
Şekil 2.5. Başlığı sertleştirilmiş ray ile “doğal” sertlikte rayların sertlik dağılımı. ....	24
Şekil 2.6. Mantarı sertleştirilmiş raylarla “doğal olarak” sert rayların germe-gerilme şeması. ....	25
Şekil 2.7. 200 sertliğinde raylarla karşılaştırıldığında yüksek kaliteli rayların aşınmasına karşı artan direnç. ....	25
Şekil 2.8. 300 m test kavisinde çeşitli ray çeliklerine ait aşınma oranlarının karşılaştırılması. ....	26
Şekil 2.9. Yükseklik ve yüzey alanında farklı sertliklerde rayların aşınması. ....	27
Şekil 3.1. Demir sementit denge diyagramı. ....	32
Şekil 3.2. Bain diyagramı: a) alaşımsız, b) alaşımlı ötektoid çelik. ....	35
Şekil 3.3. Kademeli su verme yöntemi. ....	37
Şekil 3.4. Ötektoid dönüşüm diyagramı. ....	39
Şekil 3.5. 0,8 C’lu bir çeliğin İzotermal dönüşüm diyagramı. ....	43
Şekil 3.6. % 0,75 C + % 1 Mn içerikli bir ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm diyagramı. ....	44
Şekil 3.7. % 0,74 Cr + % 0,18 Mo katımlarının % 0,8 C + % 0,75 Mn içerikli ray çeliğinin dönüşüm eğrilerine etkisi. ....	45
Şekil 3.8. Katmanlar arası $F_3C$ uzaklığının (s) akma dayanımına etkisi. ....	46
Şekil 3.9. Dönüşüm sıcaklığının mekanik özelliklerin üzerindeki etkisi. ....	46
Şekil 3.10. Tane sınırlarında izin verilen maksimum ferrit’i gösteren a) mikro fotoğraf ve b) diyagram. ....	49
Şekil 3.11. Soğutma sistemleri: a) mantar ve alt kısmına sıvı, b) mantar ve web bölgesi altına sıvı, c) mantar, web bölgesi ve alt kısmına sıvı, d) yalnızca mantar kısmına sıvı + hava karışımı ve e) yalnızca mantar kısmına sıvı + hava karışımı olarak püskürtülen hızlandırılmış soğutma sistemleri. ....	51
Şekil 3.12. Şekil 3.10’da verilen soğutma sistemlerinin sıralı seri dizilişleri. ....	52
Şekil 3.13. Voestalpine tarafından geliştirilen a) ray segmentinin	

daldırma işlemi ve b) sistemin sıralı seri hali .....	53
Şekil 3.14. Sıcaklık ölçümü: a) Şekil 3.10'da a şıkkındaki sistemde, b) Şekil 3.10'da e şıkkındaki sistemde elde edilen sıcaklık-zaman grafiği .....	54
Şekil 3.15. Sertlik-derinlik ölçümü: a) Şekil 3.10'da a şıkkındaki sistemde, b) Şekil 3.10'da e şıkkındaki sistemde elde edilen sertlik-derinlik grafiği.....	55
Şekil 3.16. Sertlik dağılımı.....	56
Şekil 3.17. Elde edilen iç yapı. ....	56
Şekil 4.1. Mantar sertleştirme işleminde kullanılan soğutma sisteminin a) kesitten, b) tasarım ve c) imalat görüntüsü. ....	59
Şekil 4.2. Proterm marka ısıl işlem fırını. ....	60
Şekil 4.3. Uzay makine uzay 350 model 350 mm ye kadar kesme çaplı tip SO 350 kesme cihazı. ....	61
Şekil 4.4. Struers discotom-6 numune kesme cihazı. ....	61
Şekil 4.5. Struers cito pres-10 bakalit alma cihazı.....	62
Şekil 4.6. Struers tegrapol 21 otomatik parlatma cihazı. ....	62
Şekil 4.7. Laboratuar tip Nikon eclipse MA 200 metal mikroskobu.....	63
Şekil 4.8. Ray kesiti üzerinde ön çalışmalarda sertlik ölçümü yapılan noktaların gösterimi. ....	63
Şekil 4.9. Ray kesiti üzerinde deneysel çalışmalarda sertlik ölçümü yapılan noktaların gösterimi.....	64
Şekil 4.10. Zwick roell marka sertlik ölçme cihazı. ....	64
Şekil 5.1. İşlem görmemiş raya ait mikroyapı görünümü.....	65
Şekil 5.2. Sertlik Brinell cinsinden taraması: a) yağda daldırma, b) % 3 bor yağı katkılı Suda daldırma ve c) su püskürtme yöntemi ile sertleştirme ısıl işlemi uygulanmış rayların mantarında gerçekleştirilen sertlik taraması. ....	66
Şekil 5.3. Yağda daldırma ısıl işlemi uygulanmış rayın a) üst, b) orta ve c) alt kısmına ait mikroyapı görünümü. ....	67
Şekil 5.4. % 3 bor yağı katkılı suda daldırma ısıl işlemi uygulanmış rayın a) üst, b) orta ve c) alt kısmına ait mikroyapı görünümü.....	68
Şekil 5.5. Su püskürtme ısıl işlemi uygulanmış rayın a) üst, b) orta ve c) alt kısmına ait mikroyapı görünümü.....	69
Şekil 5.6. 800 °C de 10, 15, 20 ve 30 saniyeyle a) su ve b) su + hava püskürterek sertleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden itibaren EN 13674-12003+A12007 göre sertlik taraması. ....	70
Şekil 5.7. 850 °C de 10, 15, 20 ve 30 saniyeyle a) su ve b) su + hava	

	püskürterek sertleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden itibaren EN 13674-12003+A12007 göre sertlik taraması.....	71
Şekil 5.8.	900 °C de 10, 15, 20 ve 30 saniyeyle a) su ve b) su + hava püskürterek sertleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden itibaren EN 13674-12003+A12007 göre sertlik taraması.....	72
Şekil 5.9.	Ray sertlik değişimi: a) Su ve b) hava+su püskürtme süresi ile ray yüzeyindeki sertlik değişimi.....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. TCDD hatlarındaki kurp dağılımı. ....	1
Çizelge 1.2. Değişik avrupa demiryolları idarelerinin 22,5 ton dingil yükü ve en az 20 milyon gross ton yıllık yük altında işleyen demiryolu hatları için kullandıkları viraj yarıçapına göre ray kalitesi seçim kriterlerinin özeti. ....	2
Çizelge 1.3. Numune grup ve özellikleri. ....	3
Çizelge 2.1. UIC 860.0 Standardı çelik analizi. ....	8
Çizelge 2.2. 1950'lere kadar tipik ray çeliği bileşimleri. ....	9
Çizelge 2.3. Günümüz (UIC 900A) tipik ray çeliği bileşimleri. ....	10
Çizelge 2.4. Çeşitli imalat metodlarında H <sub>2</sub> seviyesi. ....	11
Çizelge 2.5. Alaşım elementlerinin çeliklerin özelliklerine etkileri. ....	22
Çizelge 2.6. Ray çeliği çeşitlerinin mukavemetine ve kimyasal bileşimine genel bir bakış. ....	23
Çizelge 3.1. Soğuma sularının soğutma hızları. ....	36
Çizelge 3.2. Aralarında küçük kimyasal fark olan iki ray çeliği. ....	40
Çizelge 3.3. Tipik perlitik ve beynitik ray çeliklerinin bazılarının kimyasal kompozisyonu. ....	41
Çizelge 3.4. Su verme oranının ray çeliğinin mikroyapısına etkisi. ....	44
Çizelge 3.5. Farklı çelik kalitelerinin tipik kimyasal kompozisyonu, çekme mukavemeti ve mikroyapıları. ....	47
Çizelge 3.6. R350 HT ray kalitesinin kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikleri. ....	48
Çizelge 3.7. Maksimum artık elementler. Tüm değerler M kütle olarak. ....	48
Çizelge 3.8. 13674-1:2003 (E) standardında R350 HT kalite rayın sertlik ölçümü yapılan 4 farklı bölgesi ve değerleri. ....	49
Çizelge 4.1. R260 kalite tren rayının kimyasal kompozisyonu. ....	57
Çizelge 4.2. R260 kalite tren rayının mekanik özellikleri. ....	57
Çizelge 5.1. 800 °C'den 10 saniye su püskürtme ısı işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü. ....	74
Çizelge 5.2. 800 °C'den 30 saniye su püskürtme ısı işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü. ....	75



- Çizelge 5.3. 800 °C'den 10 saniye su + hava püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü. ....76
- Çizelge 5.4. 800 °C'den 30 saniye su + hava püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü. ....77

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\zeta$	: Özgül deformasyon mukavemet katsayısı
L	: Deformasyon işi
$\sigma$	: Haddede gerilmeler
$I/v, ,I/v'$	: Direnç momenti
$A_0$	: İlk giriş (blum) alanı
$C_k$	: Kapalı ayakta şekil değiştirme tepkisi
$C_a$	: Açık ayakta şekil değiştirme tepkisi
$\emptyset$	: Yarma açısı
M	: Sürtünme katsayısı
$F_0$	: İlk paso alanı
$F_n$	: "n" sayılı bir kalibrede son kesit alanı
P	: Hadde yükü
K	: Profil bölümlerinden birinin uzama sabitinin paso ortalama uzamasına oranı
$\lambda_m$	: Paso uzama sabiti
$\lambda_{aa}$	: Açık ayak uzaması
$\lambda_k$	: Kaburga uzaması
kf	: Deformasyon için gerçekleşecek gerilim
$\lambda_{ka}$	: Kapalı ayak uzaması
$\beta$	: Genişleme sabiti
$\Gamma$	: Yükseklik ezmesi sabiti
H	: Ayak yüksekliği (Rytcl'e göre)
$U_g$	: Uzama katsayısı
V	: Ayak yüksekliği (Brovot'a göre)
Kf	: Malzemenin akma mukavemeti
Af	: Son çıkış alanı

## KISALTMALAR

R	: Rail
HT	: Heat treatment
UIC	: International union of railway
ASTM	: American society for testing and materials
LD	: L(inz)-D(onawitz)
LDAC	: Argon yöntemli konvertör tipi
LHT	: Low heat treatment
HB	: Brinell sertlik değeri
EN	: European norm
PPM	: Part per million
ZSD	: Zaman sıcaklık dönüşüm diyağramı
ANSYS	: Similasyon proğramı
HH	: Head hardened
HV	: Vickers sertliği
Kc	: Kırılma tokluğu için kritik çatlak boyutu
N	: Çatlak testlerinde periyot sayısı
Mgt	: Million gross tonnes
BHN	: Brinell sertlik sayısı
NSC	: Nippon stell corporation
NHH	: New head hardened
Cmp	: Cycle per minute
UIC	: Uluslararası demiryolları birliği
BSD	: Brinell sertlik değeri
BOF	: Bazik oksijen fırın
DVMF	: Alman malzeme araştırmacıları birliğinin keskin çentikli olmayan çentik darbe deney numunesi

## BÖLÜM 1

### NEDEN R 350 HT KALİTE RAYLAR

Tren taşımacılığında kullanılan 2000 m'den küçük yarıçapa sahip kurplar dar yarı çaplı kurp olarak değerlendirilmektedir. TCDD hatlarındaki kurpların (dönemeç) dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir. Çizelge 1.1'den anlaşılacağı üzere ülkemizde toplam demir yolu uzunluğunun % 34,2'sini dar yarıçaplı kurplar oluşturmaktadır. Dar yarıçaplı kurplarda, ağır yük vagonlarının kendi ağırlıkları ile çeken ve çekilen araçlarla arasındaki aşırı sürtünmenin etkisiyle iç raylar çabuk aşınmakta ve diğer kesimlerdeki raylara göre daha kısa sürede yenilenmesi gerekmektedir.

Çizelge 1.1. TCDD hatlarındaki kurp dağılımı.

<b>Kurp Yarıçapı Grupları (m)</b>	<b>Adet</b>	<b>Uzunluk (km)</b>	<b>Tüm Hat Uzunluğuna Yüzdesi (%)</b>
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 m'den büyük	342	117	1,3
Düz Yol		5604	64,5
<b>Toplam</b>	<b>10291</b>	<b>8686</b>	<b>100,0</b>

Normal, düz kesimlerde ray ömürleri 20-25 yıl iken, dar kurplu kesimlerde 2-3 yılda iç rayların değiştirilmesi gerekmekte ve bunun sonucu olarak trafikte gecikmeler ile yüksek malzeme ve işçilik bedelleri ortaya çıkmaktadır. Mantarı sertleştirilmiş ray kullanımıyla iç raylarda aşınmayı geciktirerek ray ömrünü uzatmak mümkündür.

Dar yarıçaplı kurplarda mantarı sertleştirilmiş ray kullanımı Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından da tavsiye edilmektedir. UIC'nin Mart 2005 tarihli 721 numaralı talimatı, kullanılacak ray çeliği kaliteleri için tavsiyeler (Çizelge 1.2) içermektedir. Bu talimat, yıllık tonajı 20 milyon ton'dan fazla ve yarıçapı 400

m'den az kurplar için kesinlikle mantarı sertleştirilmiş ray kullanımını tavsiye ederken, yarıçapı 400–700 m arası olan kurplarda ise yerel parametrelere bağlı olarak normal (R260) veya mantarı sertleştirilmiş ray (R350 HT) kullanılabilceğini belirtmektedir.

Çizelge 1.2. Değişik avrupa demiryolları idarelerinin 22,5 ton dingil yükü ve en az 20 milyon gross ton yıllık yük altında işleyen demiryolu hatları için kullandıkları viraj yarıçapına göre ray kalitesi seçim kriterlerinin özeti.

Radius (m)	≤300	≤400	≤500	≤600	≤700	≤800	≤1500	≤3000	≤3000	
UIC	R350HT		R350HT/R260			R260				
DB	R350HT (≥ 30000 t/d)					R260				
DB new	R350HT (≥ 50000 t/d)							R260		
CH	R350LHT		R350LHT/R320Cr			R350LHT R320Cr	R260			
CH (proposal)	R370CrHT		R350LHT		Bainite up to 1200m	R260				
AT	R350HT	R260								
SWE	R350HT	R260								
SWE (HH)	R350HT								R260	
NOR	R350HT					R260				
UK	R260									
IT	R260									
BE LUX	R350HT					R260				
NL	R350HT R370CrHT	R370CrHT					R370CrHT		R260	
DK	R350HT					R260				
PL	R350HT					R260				
H	R350HT					R260				
RO	R350HT					R260				

Rayların kayma aşınması direnci ile yuvarlanma değme yorulması direncini yükseltmek yönünde yapılan çalışmalar hem içyapısı perlitli ve hem de içyapısı beynitli raylar üzerine yoğunlaşmıştır [1]. İnce perlitli içyapı oluşturarak, geleneksel raylara göre daha sert ve daha yüksek aşınma dirençli ray üretiminde, hadde çıkışı hızlı soğutma uygulaması, 20 yılı aşkındır uygulanmaktadır [2]. Diğer yandan alaşımlama yöntemleriyle de benzer sonuçlar alınmaya çalışılmıştır [3]. Aşınma en çok kafa (mantar) üzerinde yaşandığından ray mantarlarının sertleştirilmesine önem verilmiştir [4,5].

Diğer yandan, beynit içyapılı rayların üretimi ve özellikleri üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır [6,7]. Beynitli çelikler üzerine en kapsamlı araştırmaları, Bhadesia tarafından yapılmıştır [8,9]. Tüm bu çalışmalar, hızlı trenler ile ağır yük trenlerinin

üzerinde çalıştığı rayların daha az aşınması ve daha seyrek yuvarlanma değme yorulmasına uğramasını sağlama amacına dönüktür.

İçyapının, rayın mekanik davranışına ne denli etki ettiğinin [10] ve yeni nesil ray çeliklerinin davranışının [11] bilinmesi çok önemlidir. Rayların kırılma nedenleri arasında en önemli etmen rayın içyapısıdır [12]. Perlitli içyapılı rayların mekanik özellikleri ile beynitli içyapılı rayların mekanik özelliklerinin karşılaştırması aşağıya çıkarılmıştır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Numune grup ve özellikleri.

Ray İçyapısı	R <sub>m</sub> (MPa)	A (%)	K <sub>IC</sub> (MPa m <sup>1/2</sup> )	U-Çentikli Charpy (J, 20 °C)	Yorulma Dayancı (MPa)	Aşınma (gr/saat)
Perlitli	1300	13,5	43	20	750	0,76
Beynitli	1400	13,5	98	39	870	0,77

Görüldüğü gibi, bu iki farklı içyapılı çelik rayların aşınma özellikleri arasında pek bir fark bulunmamaktadır. Bunun yanında çarpma tokluğu ile yorulma direnci beynitli raylarda çok daha yüksektir. Ancak, beynitli içyapıyı oluşturmak çok daha masraflıdır.

## BÖLÜM 2

### DEMİR YOLU RAYLARI

#### 2.1. DEMİR YOLU RAYLARININ TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Demir yolu rayı değişken yükler altında çalışan, yüksek zorlamaları üzerinde oturduğu malzemeye intikal ettiren bir yapı elemanıdır. Demir yolu taşımacılığındaki gelişmeler; yüksek hız, uzun vagon boylarında daha büyük tekerlek yükleri, kaynaklı rayların kullanımındaki gelişmeler, daha büyük ivmeler ve daha kısa fren mesafeleri olarak sıralanabilmektedir. Performans artışını sağlamak için raylarda ihtiyaç duyulan ana özellikler; aşınma direnci, yorulma direnci, plastik deformasyon direnci, kalıntı gerilmeleri giderilmesi ve kaynaklanabilirliktir. Yüksek aşınma direnci perlitik ray çeliklerinin sertlik değerlerinin artırılabilmesi ve metalurjik yapılarıdaki gelişmelerle mümkündür [13]. Trenlerin özellikle yolcu trenlerinin hızlarının artması ve dingil başına düşen yük miktarlarının artması üretilecek rayların kaliteleri konusunda bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün bu koşullar rayın aşınma mukavemeti bakımından daha iyi özelliklerde olmasını gerektirmektedir [14].

Ray çalışan bir yüzeydir, aynı zamanda taşıyıcı ve rehber elemanıdır. Eşit statik ve dinamik gerilime tabidir. Ağır taşıma trafiğinde 35 t'a kadar dingil yükleri uygulanır. Günümüzde düzenli yüksek hızlı trafikte 350 km/s'e kadar hızlara ulaşılmaktadır. Topoğrafiye bağlı olarak 300 m kadar düşük yarıçaplarda raylar döşenir, bu nedenle dış rayın ölçüm köşesine karşı denk gelen tekerlek flanşıyla kullanılan çok yüksek yatay kuvvetlere maruz kalırlar. Bu manifold ve yüksek kuvvetlere dayanabilmesi için rayların aşağıdaki şartları karşılması gerekir [15]:

- a) Aşınmaya karşı yüksek direnç
- b) Sıkıştırılmaya karşı yüksek direnç
- c) Yorgunluęa karşı yüksek direnç

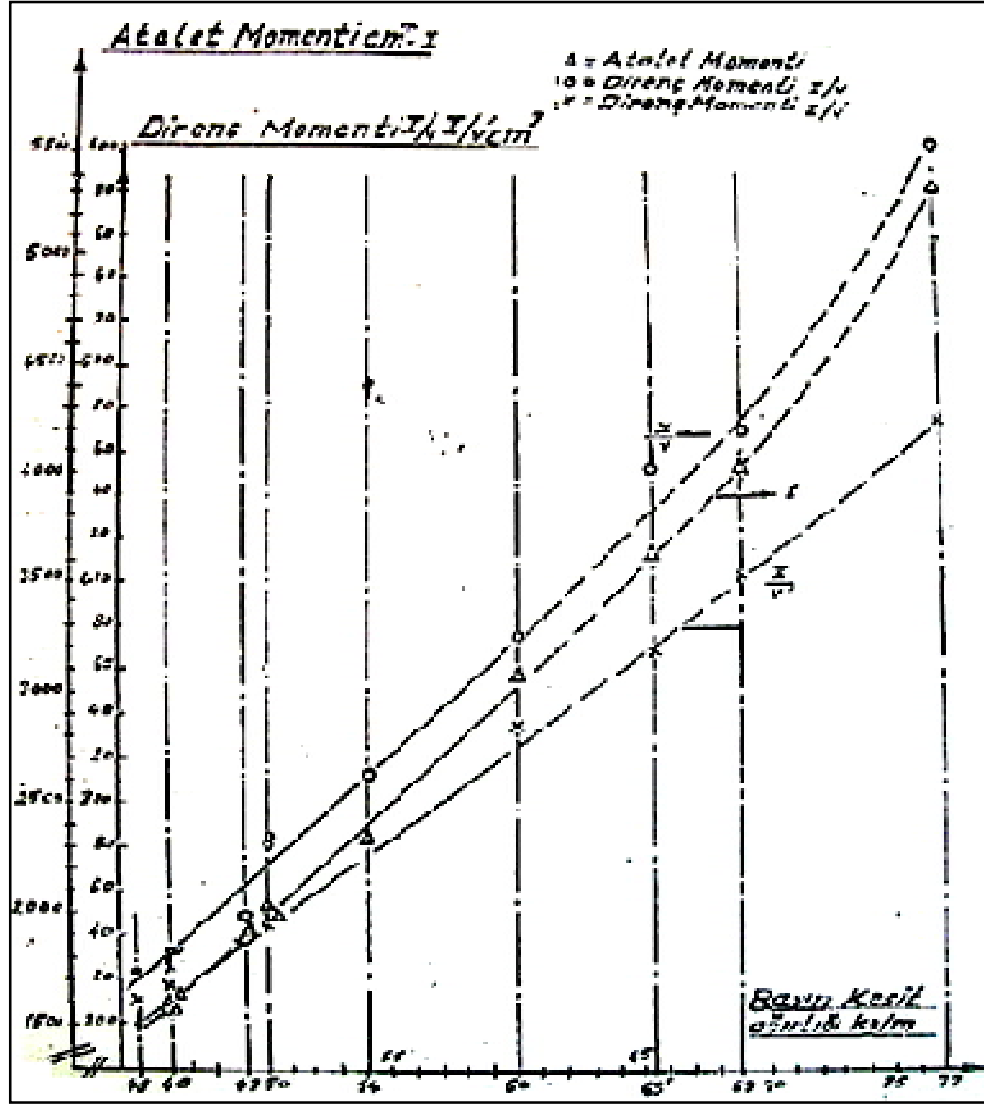
- d) Yüksek ürün mukavemeti, gerilme mukavemeti ve sertlik
- e) Kırılgan yapıya karşı yüksek direnç
- f) İyi bir kaynaklanabilirlik
- g) Yüksek saflık derecesi
- h) İyi bir yüzey kalitesi
- i) Profilin düzgünlüğü ve uyumu
- j) Üretimden sonra düşük tortu gerilimi

Yorulma direncinin iyileştirilmesi, mikroyapı homojenliğinin daha iyi sağlanması ve sürtünme dayanımındaki artışlar ile ilişkilidir. Plastik deformasyon direnci için ray sertlik değerlerinin artırılması ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle oluşan yüzey kaymalarını minimum seviyeye indiren teknolojik gelişmeler önemlidir. Kaynak kabiliyeti karbon miktarı arttıkça azalmaktadır. Alaşımız çelik raylar kolay kaynaklanmakta, mangan, krom, silis, molibden gibi alaşım ilaveleri ise kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir. Alaşım elementleri kaynak esnasında martenzit oluşumuna sebebiyet vererek sertlik ve gevrekliğe yol açmaktadır [16].

Elektrik ark kaynağı, termit kaynağı gibi kaynak metotları ile ray malzemesi kaynaklanabilir olmalıdır. Son 40 yıl içinde birçok değişik nedenle geniş ayaklı raylara gösterilen talep artmıştır. Trenlerin özellikle yolcu trenlerinin hızlarının artması burada temel faktör olarak gözükmemektedir. Artık belirli bir hat üzerinde 200 km/saat ve/veya 250 km/saat'lik hızlar çok yüksek sayılmamaktadır. Bundan daha önemsiz sayamayacağımız diğer bir faktör de dingil yüklerinin artmasıdır. Çok yakın geçmişte eğilim maksimum 25-30 tonluk dingil yükü idi. Bugün 20 tonluk bir dingil yükü normal sayılmaktadır. Üçüncü faktör ise hatlar üzerindeki trafiğin gün geçtikçe artmakta oluşudur. Bütün bu koşullar rayın aşınma mukavemeti ve darbe mukavemeti bakımından daha iyi özelliklerde olmasını gerektirmektedir [14]. Ray çeliğinin çekme mukavemeti son dönemlerde 70-80 kg./mm<sup>2</sup> olarak tayin edilmiştir. İnküzyon ve mikro çatlakların daha iyi kontrolü sayesinde, iç yapıda daha iyi özellikler elde etmek mümkün olmuştur [17,18]. Bu kalite sınıfındaki çeliklerde bir takım gelişmeler olmasına rağmen 70 ve 80 kg/mm<sup>2</sup> arasındaki mukavemet yetersiz hale gelmiştir. Bundan dolayı 90 kg/mm<sup>2</sup> ve 110 kg/mm<sup>2</sup> çekme mukavemetinde çelikler geliştirilmiştir [19].



Ray üretiminde kullanılan yaygın teknolojilerden biride 2. Dünya Savaşından sonra hızla genişleyen vakum altında gazsızlaştırma yöntemidir. Bu metod bilhassa çok sert çeliklerde faydalı olmaktadır. Son olarak ray haddelenmesinde kullanılan blumlara kontüni döküm adapte edilmektedir. Yoğun trafik, daha fazla dingil yükü, yüksek hızlar ve tekerlek çaplarının küçültülmesinin karşılanabilmesi için, çelik kalitelerinin iyileştirilmesi için alaşımlandırma (% 0,05 V veya 0,005 Nb ilavesi) ve rayların metre ağırlıklarının artırılması gerekir [20]. 1930'larda Amerikan standartlarında 65,5 kg/m ray olmasına karşın, Avrupa demir yollarında (45-50 kg/m) gibi daha hafif profillere doğru bir eğilim vardı. Atalet momenti (I) ve direnç momenti ( $I/v$ ,  $I/v'$ ), ağırlıkla ve hızla dikkat çekici bir artış göstermektedir. Rayın sertliğindeki bu artış rayın deformasyonunun azaltılmasına yardım eder ve doğal olarak tamirat gereksinimleri de o derece azalır (Şekil 2.1). Demiryolu işletmecileri rayın ağırlığındaki artışın kırılmalarda azalmaya yol açtığını işaret etmektedirler. Hollanda'da 40 kg/m'den 54 kg/m'ye geçiş yapıldığında kırılmalarda % 30-% 40 azalma olduğu gözlenmiştir. 46 kg/m den 63 kg/m'ye geçişte bu azalma % 70'e ulaşmaktadır. Daha ağır rayların kullanılması, daha fazla ilk yatırımı gerektirmekte, fakat tamirat ve değiştirme masrafları bunu karşılamaktadır [21].



Şekil 2.1. Atalet momenti ve direnç momentinin ( $I/v$ ,  $I/v'$ ) ağırlıkla değişimi [21].

## 2.2. RAY MALZEMELERİNDEKİ GELİŞMELER

Günümüzde genelde UIC 900A normları geçerlidir (Çizelge 2.1). Bu tabloda şu noktalar dikkate alınır:

- Ray çeliği üretimi için artık Asid Bessemer ve Bazık Bessemer metodunun kullanılmayacağı belirtilmektedir. Standartlar için olmasa bile OBM metodu Bazık Bessemer metodunun yerini almaktadır [22].
- Tabloda verilen analiz değişimleri uç değerlerdir. Üreticiler kendi standartlarını kullanarak istenen mekanik özellikleri garanti ederler.

- c) UIC Standart 860,0 elastiklik limitini belirtmez. Diğer yandan bazı demiryolu işletmeleri özel minimum değerler vermektedirler.

Diğer bir standartta geniş akseptanslar ihtiva eden ASTM A1 Amerikan standardıdır. Bu standartta analizler bulunup, mekanik değişikliklere ait değerler bulunmamaktadır. 1930'lardan beri kullanılmakta olan 70/85 standardında sert çelikler için 1950'lerde A, B, C, normlarını göstermekteydi. Bu aşınmaya mukavim çelik normları ufak çaplı vidalarda kullanılmaktadır. Bugün bazı demiryolları şirketleri A, B normlarını kullanmaktadırlar. Henüz standart hale gelmemiş bazı ray çelikleri de çok yakın geçmişte kullanılmaya başlanmıştır [22].

Çizelge 2.1. UIC 860,0 Standardı çelik analizi [22].

İmalat Metodu	C	Mn	Si Max.	P Max.	S Max.	Kg/mm <sup>2</sup>	5d
Bazik Bessemer	0,37-0,55	0,70-1,20	0,35	0,08	0,05	70-85	% 14
Asid Bessemer	0,40-0,50	0,80-1,20	0,35	0,06	0,06	70	% 14
Siemens Martin	0,40-0,55	0,80-1,20	0,35	0,04	0,05	70	% 14
Elektrik Fırınları	0,40-0,60	0,80-1,20	0,35	0,04	0,05	70	% 14
O <sub>2</sub> Üfleme	0,40-0,60	0,80-1,20	0,35	0,05	0,05	70	% 14
A	0,60-0,75	0,80-1,30	0,50	0,05	0,05	90	% 10
B	0,50-0,70	1,30-1,70	0,50	0,05	0,05	90	% 10
C	0,45-0,65	1,70-2,10	0,50	0,03	0,03	90	% 10

Buradan şu sonuçları çıkarabiliriz:

- a) Düz hatlarda ve büyük çaplı virajlarda (800 metre ve daha fazla) yoğun trafik yüzünden bu raylar yorulmaya tabii olurlar. Burada yüksek yorulma limitinde çelikler kullanılır. Yorulma mukavemeti çeliğin elastiklik limitine bağlıdır. Çok iyi dağılmış V, Nb ilavesi ile üretilebilen daha yüksek, elastiklik limiti/sertlik oranı olan çeliklerin adaptasyonu, çok sert çeliklere göre daha iyi netice verebilir [23]. Genelde yüksek elastiklik limitlerine sahip rayların adaptasyonu sert raylardan daha iyi netice verecektir [24].

- b) 300-400 m gibi az çaplı virajlarda sürtünme aşınmasından dolayı raylar değiştirilmelidir. Bu halde 110 kg/mm<sup>2</sup> çekme mukavemetinde ray kullanılması uygun olabilir.
- c) Pratik olarak bütün demiryolu şirketleri, rayları elektrik ark kaynağı ile birleştirmeye karar vermişlerdir. Bunun anlamı çeliklerin belirli bir kaynak kriterinde buluşmaları gerektiği ve özellikle kritik su verme hızları çok yavaş olmalıdır. Diğer taraftan sadece sınırlanmış kullanımlar için C-Mn ve alaşım elemanları ilavesi yapılmalıdır. Bu nedenle, yüksek oranda Mn ihtiva eden C grubu çelikleri artık kullanılmamaktadır [25]. Ray kullanımının başlangıcından 1950'lere kadar alaşımsız çelikten üretilmiş tipik rayların bileşimleri Çizelge 2.2'de mevcuttur.

Çizelge 2.2. 1950'lere kadar tipik ray çeliği bileşimleri [25].

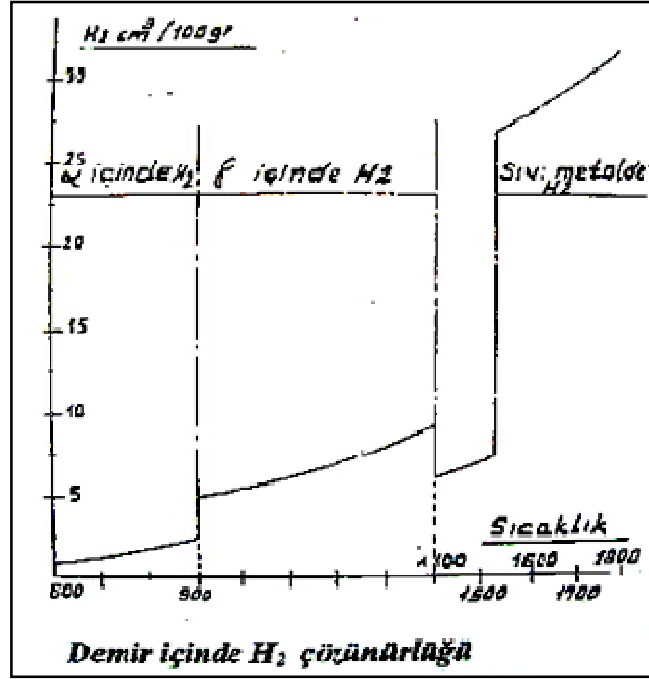
Ray Cinsi	% C	% Mn	% Si	Kopma Mukavemeti (kg/mm <sup>2</sup> )
Krup 1891	0,36	0,60	0,21	57,5
Ute 1881	0,34	1,11	0,81	70,0
Amerikan 24,8-34,2 kg/m	0,05-0,063	0,60-0,90	0,10-0,23	76
42,2-50 kg/m	0,64-0,77	0,60-0,90	0,10-0,23	87
59,5-60 kg/m	0,69-0,82	0,71-1,0	0,10-0,23	94,5
Türkiye 46,3 kg/m	0,45-0,55	0,85-1,15	0,15-0,20	87,5
49,4 kg/m (~ st 70)	0,45-0,55	0,85-1,15	0,15-0,20	87,5

1950'lerden sonra ray malzemesine % 1,00–1,30 kadar Cr ilave edilerek sertliği ve mukavemeti artırılmıştır. En son durumda Cr-Mo'li rayların üretimine gidilmektedir. Hidrojenin düşürülmesi için vakumla gaz giderme tekniği uygulanmakta ve H<sub>2</sub> miktarının 2 ppm'nin altına düşürülmesi istenmektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Günümüz (UIC 900A) tipik ray çeliği bileşimleri [25].

Çelik Cinsi	Nominal Bileşim (%)					
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
St C Çeliği	0,75	0,90	0,20	-	-	-
Yüksek Silis	0,75	0,80	0,70	-	-	-
Kromlu Ray	0,75	0,65	0,25	1,15	-	-
Krom Silisli	0,70	1,05	0,75	1,00	-	-
Krom Vanadyumlu	0,70	1,00	0,60	1,00	-	0,08
Krom Molibdenli	0,75	0,60	0,30	0,60	0,20	-

Rayın içinde bulunan metalik olmayan inklüzyonlar ve iç mikro çatlaklar, rayın mukavemetine etki ederler. Raylar yolda yük altında çalışmaya maruz bırakıldıklarında bu iki etken oval kısımlarda yorulma çatlakları ve merkezde yatay çatlaklar olarak kendini göstermektedir [26]. İç Mikro Çatlaklar: İç mikro çatlaklar sık sık pul şeklinde görülür ve bunların varlığı daha çok hidrojen yüzünden oluşur. Hidrojen katı ve sıvı çelikte yüksek sıcaklıkta çok iyi çözünür ve erirliği sıcaklıkla azalır (Şekil 2.2). Yavaş soğutma hızlarında ray içindeki bütün halindeki oksijen, hidrojenin içeriden dışarıya herhangi bir mikro çatlak meydana gelmeden yayılmasını sağlar. Eğer soğutma hızı yüksek ise metal içinde serbest kalan hidrojen mikro çatlakları oluşturur. Bu serbest hidrojen metalin en çok tok olduğu yerlerde büyük miktarda inklüzyon olan yerlerde veya C, Mn, Cr, P segregasyon bantlarının olduğu yerlerde oluşur. Çelik tipine ve içindeki hidrojen miktarına bağlı olarak belli bir kuluçka devresinden sonra çevre sıcaklığında mikro çatlaklar oluşabilir [22,26,27].



Şekil 2.2. Çeşitli çelik türlerin hidrojen içerikleri [22].

Çeşitli çelik türlerinin hidrojen muhtevaları: Erimiş çelik içindeki hidrojen miktarı büyük çapta imalat metoduna bağlıdır. Çizelge 2.4 çeşitli metodlara göre hidrojen seviyelerini göstermektedir.

Çizelge 2.4. Çeşitli imalat metodlarında H<sub>2</sub> seviyesi [22].

İmalat Metodu	H <sub>2</sub> (cc/100 gr)
Bazık Bessemer	3-5
Kaldo	2,5-4,5
LDAC	2,5-4,5
LD	2,5-4,0
Siemens Martin	3,5-6,5
Çift Curuflu Elektirk Fırını	4-8
Tek Curuflu Elektirk Fırını	3-4

Bir çok üretim metodu için aşağıda önerilen noktalar yerine getirildiği takdirde hidrojen miktarında bir azalma görülebilir. Üretim aşamasında [28], zayıf hidrojenlendirici kireç veya ısıtılmış kireç taşı kullanarak, paslanmamış hurda kullanmak, dekaburizasyonun bitimi ile potaya doldurma arasındaki fasılının

azaltılması, ilavelerin kuru potada yapılması. Bu özellikle grafit karbürizasyonu için çok önemlidir.

Soğutma hızı ve Çelik kalitesi: 1930-1935 arasında ilk defa mikro çatlak problemi, Amerikan Demiryolcuları tarafından ortaya atılmıştır. Bu problem çeşitli sebeplerden dolayı Avrupa'da aynı zamanda ortaya çıkmamıştır. Avrupa'da kullanılan Bessemer çeliğinin mukavemeti az, H<sub>2</sub> ihtivası az ve dingil yükleri de daha azdı. Amerika Birleşik Devletleri bu problemi kontrollü soğutma ile halletmiştir [29]. Üzerinde birleştirilen nokta 70-85 kg/mm<sup>2</sup> sınırındaki çelikler (Hidrojen miktarı 5/100 gr H<sub>2</sub> çukurda soğutma) için gerekli değildir. Kontrollü soğutmayı gerektirmeyecek kritik hidrojen miktarı A, B, C sınıfı çelikler için analizlerine bağlıdır. İşte bu sebepten C sınıfı çelikler B sınıfından daha fazla mikro çatlak oluşumuna eğilimlidir. B grubunda A'ya göre mikro çatlak oluşumuna daha elverişlidir. Bu rayları çukurda soğutmak finişte doğrulma sorununu ortaya çıkaracaktır. Bu sebepten dolayı ızgara üzerinde soğutma tercih edilir. Çukurda soğutmaktan kaçınmak için, hidrojen miktarını sıvı çelik için düşürmek gerekir veya ızgara üzerinde soğutma yapılıyorsa bunun muhafazalı olarak yapılması gerekir [30]. Diğer bir yol ingotu yavaş soğutmak, bunlardan üretilmiş olan rayları da ızgara üzerinde yavaş soğutarak hidrojenlendirmeye etmektir.

Oksit inklüzyonları: Makro inklüzyonlar ve silikon inklüzyonları çatlakların başlama noktası olduğundan dikkatleri üzerinde toplamaktadır. Bu yüzden oksit inklüzyonlarının miktarını azaltmak için alınan her mesafe büyük anlam taşır. Diğer taraftan yüksek kükürt bulunması sülfür inklüzyonları meydana getirerek mikroçatlak yapısının oluşmasını azaltır [31]. Inklüzyonlar çeliğin yorulma mukavemetine kötü tesir yapar. Makro inklüzyonlar magnetik testlerle teşhis edilebilirler. Bunlar zarar vericidirler. Mikro inklüzyonlar sadece mikroskop ile tayin edilebilir; Sülfat, Alüminyumoksit Silikat ve Oksit. Sülfidler çeliğin yorulma mukavemetine zararlı yönde etki etmez. Aksi olarak çeliğin yorulma mukavemetini yükseltirler. Çünkü soğuk halde yüksek süneklikleri vardır ve daha tehlikeli inklüzyonları sararak kuşatırlar. Sülfidler mikro çatlak yapısını da azaltır. Eğer Alüminyumoksit inklüzyonları belirgin bantlar şeklinde yapı oluşturmuşsa tehlikeli

olabilir. Silikat inklüzyonları en tehlikelidir. Bunlar soğuk yapıda hiç sünekliliğe sahip değildir [22,26].

Çelik içindeki inklüzyonlar, minimize edilmek istenirse çok mükemmel birdeoksidasyona ihtiyaç vardır. Pota deoksidasyon metodları bir proseten diğerine değişir. Kaldo, LADC ve LD proseslerinde üfleme C miktarı temel alınarak kesilir. Siemens-Martin ve elektrik proseslerinde potaya dökülmeden önce daha az bir O<sub>2</sub> içerir (yaklaşık 0,020) ve çeliğin safiyeti genellikle tatmin edicidir. Eğer üfleme belirli bir C miktarında kesilmez ise OBM-LD-LDAC, Bazık Bessemerde rafinasyon işlemi sonundaki O<sub>2</sub> miktarı daha yüksektir, (% 0,060-0,100 O<sub>2</sub>). Tehlikeli silikatları elemine edebilmek için konverterde karbürizasyon veya potada Si'dan daha kuvvetli oksitleyici ile deoksidasyon zorunludur. Uygun deoksidantlar Al, Zr, Ti ve Ca'dur. Son üç element genellikle alaşım halinde kullanılır [9,32].

### **2.3. RAY ÇELİĞİ ÜRETİM METODLARI**

II. Dünya savaşından önce ray çelikleri Bazık Bessemer, Asid Bessemer, Elektrik fırınları, Siemens-Martinlerde üretilirdi. 1950-1960 yılları arasında oksijen üfleme metodları yerleşmeye başladı. 1960-1970 yılları arasında bu metod ray çeliği üretimi için kullanılmaya başlandı. OBM metodu, çelik üretiminde sıcak metal banyosuna oksijen üfleme suretiyle uygulanan bir metoddur. LD ve LDAC metodlarında olduğu gibi OBM metodunda saf oksijen kullanılır. Bu metodlardan farklı olarak oksijen, nozulların içerisinden, pota dibinden verilir. Bu metod 1967-1968'de Maximillianshütte Sulzbach-Rosenberg'de geliştirilmiştir [9]. Nozul ağzında yüksek sıcaklıkta alev oluşuyorsa soğutma özellikle önemlidir. Bu uca doğru hidrokarbon ayrışma ısısı olarak kullanılır. (Propan, doğalgaz). Buhar CO<sub>2</sub> yakıt ayrışma ısısı da kullanılabilir. Bu Fransa'da LWS prosesi olarak uygulanır [9]. P esaslı sıcak metal için uygulanacak Metalurjik Proses, Bazık Bessemer metodu gibidir. Siilisyum 2CaO SiO<sub>2</sub> (cüruf) halinde, karbon CO<sub>2</sub> ve CO (gaz halinde), fosfor 4CaOP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Cüruf halinde) dönüşüm yaparlar. Beklenen Fosfor miktarına bağlı olarak tek veya çift cürufllu kullanılır. Tek cüruflla fosfor miktarı Bazık Bessemer metoduna denk durumda oluşur. Çift cüruflla yapılan çalışmada LDAC prosesindeki değerlere ulaşır. OBM prosesinde diğer bir olasılık ise son üflemede Nitrojen verilerek banyodaki P



miktarı düşürülür, banyo ile cüruf arasındaki fiziko-kimyasal denklik sağlanır. Keza artık hidrojen miktarı da azaltılır [9].

#### Fosfor Esaslı Sıcak Metalle Çalışan OBM Prosesinin Karakteristikleri

- a) P miktarı: Tek fazla çalışırken, P miktarı Bazik Bessemer metodundaki değerler kadar oluşur. (0,050-0,060) 2 fazlı çalışma ve N<sub>2</sub> ile temizlemede LDAC prosesindeki değerler oluşur.
- b) S<sub>2</sub> Miktarı: Bazik Bessemer metodundaki değerler oluşur yalnız S miktarı azalır. Sıcak metalin desülfürizasyonu ve çift cürufuyla çalışma LDAC'daki değerlerin ortaya çıkmasını sağlar.
- c) N<sub>2</sub> Miktarı: Soğutma ortamı olarak propan kullanıldığında (ki, N<sub>2</sub> ihtiva etmez) LD prosesindeki değerler oluşur. Eğer % 15 N<sub>2</sub> ihtiva eden doğal gaz kullanıldığında çelik içindeki N<sub>2</sub> miktarı 0,0015 değerine ulaşabilir.
- d) C, Mn, Si Miktarı: Arzu edilen C, Mn, Si miktarları potaya grafit Ferro Mangan Ferro Silis ilavesi ile elde edilir. Ülkemizde cevherden ray üretimi gerçekleştiren Demir-Çelik fabrikasında % 0,80 C, % 1,80 Mn'a kadar çelik yapılabilmektedir.
- e) H<sub>2</sub> Miktarı: Konverterdeki çeliğin H<sub>2</sub> miktarı (OBM prosesinde) diğer oksijen üfleme proseslerinde olan orandan daha fazladır. Buda nozulun soğutulması için kullanılan hidrokarbonlar tesiri ile olmaktadır. Konverterdeki çelik banyosunun H<sub>2</sub> ihtivası normal bir üflemeden sonra büyük çapta değişim gösterir. Bu öncelikle üfleme sonundaki sıcaklığa bağlıdır. Ortalama olarak 6-2,2 cc H<sub>2</sub>/100 gr arasında değişir. Eğer bu çelik direkt olarak potaya dökülüyorsa gerekli ilâveler yapılarak genel ray çeliği analizi elde edilir. Arkasından hidrojen miktarı  $5 \pm 1,2$  cc/ 100 gr değerine düşer. Bu oran Bessemer prosesinden daha fazladır. (Bessemer prosesinde  $3,9 \pm 1,1$  cc H<sub>2</sub> değerindedir) ve gerçekten bu oran rayın iç çatlamlarına yansır [9]. OBM çeliğinin ihtiva ettiği Hidrojen miktarı  $2,3 \pm 0,7$  cc değerine DH Metodu ile indirilebilir. Gerçekte bu kadar küçük değerde hidrojen miktarı standart çelikler için gerekli değildir. Bundan daha fazlası DH prosesi üretimde bazı kısıtlamalar getirir.

Son yıllarda, çeliğin ingot şeklinde dökümü yerine sürekli dökümden elde edilen blumdan raya geçilmesiyle önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu suretle; malzeme kayıpları azalmakta, daha homojen özellikler sağlanabilmekte, nihai mamul yüzey kalitesinde artış gözlenmekte, enerjiden tasarruf edilmekte, yatırım ve işletme maliyetleri düşmekte ve seri üretim ve otomasyonla düzenli ve emniyetli üretim yapılabilmektedir [19, 32].

### **2.3.1. Ray Çeliğinin Tavllanması**

Çelikhaneden uygun döküm şartlarında ve kimyasal bileşiminde haddehane tav fırınlarına gelen 260 x 360 mm kesitindeki blumlar östenitik yapı tavlama bölgesine kadar (1250 °C) mevcut fırınlarda soğuk şarj alınarak tavlanamaktadır. Tavlama işlemi mevcut iki adet itmeli tip tav fırını ile yapılmaktadır. Yakıt olarak kok gazı ve yüksek fırın gazından oluşan karışık gaz kullanılmaktadır. Üretimin ağırlıklı kısmını düşük karbonlu St 37,2 kalite (% C: 0,12-0,20) çelikler oluşturmaktadır. Ancak ray çeliğindeki karbon miktarı daha yüksek seviyelerde olduğundan (% C: 0,60-0,80) tavlama şartlarının sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir [33].

Bileşimden kaynaklı tavlama şartlarındaki hassasiyetlerden dolayı, tavlama hatalarının oluşmasını engellemek amacıyla fırın atmosferi kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Üç tavlama bölgesinden oluşan fırında, homojen tavlamanın sağlanabilmesi için yakıt-oksijen karışımı, fırın içi ısı rejimi ve tavlama süresi gibi parametreler sürekli teknik ekipmanlar ve teknik personeller tarafından kontrol altında tutulmaya çalışılmaktadır. Tavlama esnasında karşılaşılabilecek oksidasyon, dekarbürizasyon, aşırı ısınma ve yanma gibi teorik tavlama hatalarından yanma sorunu sistemde öne çıkan tavlama problemidir. Çelik, fırında yüksek sıcaklıkta uzun süre tutulur ise yanmaya maruz kalır. Çeliğin yanması, yüzeyden içeri doğru nüfuz eden fırın gazındaki oksijene maruz kalması ve irileşmiş tane sınırları arası oluşan sıvı faz nedeniyle tane sınırlarının oksitlenmesidir. Neticede tane sınırları tutucu özelliğini kaybederek malzeme kırılğan ve mukavemetsiz olur [22].

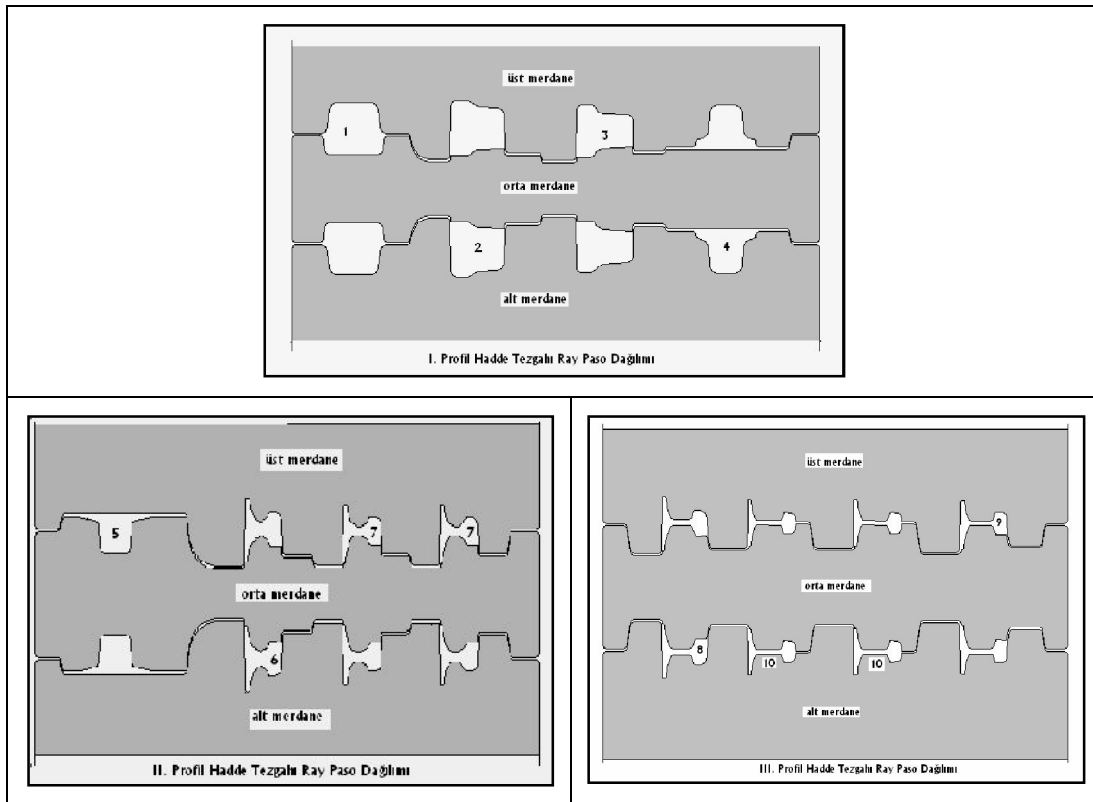
### 2.3.2. Rayın Haddelme Süreci

Uygun haddelme sıcaklığına gelen malzeme bir blok, üç profil hadde tezgahından oluşan Trio sistem hadde grubunda, blok hadde tezgahı hariç toplam 10 pasoda nihai şeklini alır. Sıcak kesme ve ızgarada soğumasının ardından doğrultma ünitesine sevk edilir. Soğuk malzemenin haddede işlenmesiyle oluşacak merdane kırılmaları, kaplin kırılmaları, pasonun bozulması, hadde motorunun fazla akım çekmesi, testere bozulması gibi arızaların önüne yeterli haddelme tav sıcaklığıyla geçilmiştir. 260 x 360 x 2780 mm ebatlarında tavlanmış olarak düz blok hadde merdanesine giren blum birinci paso ebadı olan 180 x 220 mm ölçülerine blok haddesinde getirilmektedir. Paso dağılımlarının bulunduğu aşağıdaki şekillerden anlaşılacağı üzere (Şekil 2.3) I. hadde tezgâhında ağırlıklı olarak rayın ayak kısmı, II. Hadde tezgahında rayın mantar kısmı oluşmakta son tezgâhta ise ray nihai şeklini almaktadır. Blok hadde tezgâhında ihtiyaç duyulan malzeme çevrimi için sistemde yer alan masadaki manipülatör ekipmanına ek tırnak ilavesi ile malzeme çevrimi daha da kolaylaştırılmıştır. Manipülatör boyu uzatılıp tırnak eklenerek boydaki uzamadan kaynaklı malzeme çevriminde yaşanan sorunlar aşılmıştır [33].

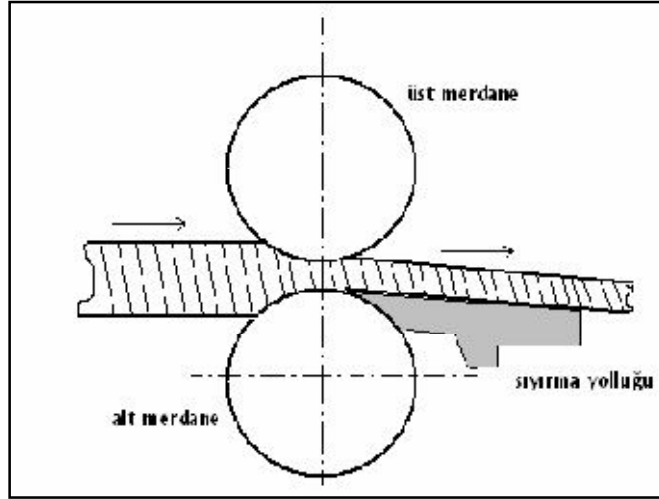
Profilin haddelme sürecinden farklı olarak rayın haddelenmesinde profil tezgahlarında bazı pasolarda malzemenin çevrilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha önceki üretimlerde bu paso sisteminden kaynaklanan çevirme işlemi insan gücüyle yapılmakta, bu da üretim akışını yavaşlatmakta ve fazladan personele ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Birinci tezgâhta, birinci pasodan ikinci pasoya gelmesi gereken malzemenin 90°'lik çevrilmesinde yaşanan problemin önüne de manipülatördeki yenilikle geçilmiştir [22]. Ancak ikinci tezgâh beşinci pasoda gereken çevirme işlemi malzemenin boyu uzadığından manipülatörde yapılan değişiklik yetersiz kalmıştır. Bunun için yolluk sisteminde yapılan değişikliklerle üretim akışı hızlandırılmış ve personel açısından tasarrufa gidilmiştir. Altıncı pasoya giren malzeme, beşinci pasodan doksan derece çevrilmiş olarak çıkar ve altıncı pasoya verilir. Yolluğun açılı dizaynı ile dördüncü pasodan dönmeden beşinci pasoya gelen malzemenin çevrilmesi görevini üstlenen personel yapılan yeni yolluk dizaynı ile başka bir yerde değerlendirilmiştir. Ray haddelenmesi sırasında dikkat edilmesi

gereken hususlardan biride yolluklardır. Yolluklar temel olarak ikiye ayrılır; giriş yollukları ve çıkış (sıyırma) yolluklarıdır.

Giriş yolluklarının amacı malzemenin paso girişine hizalanmasını sağlamaktır. Çıkış (sıyırma) yolluklarının görevi ise malzemenin pasodan çıkışı sırasında merdaneden sıyrılarak kurtulmasını sağlamaktır. Ray üretiminde profil üretiminden farklı olarak sıyırma yolluklarının daha sağlam ve daha hassas olması gerekmektedir. Bunun sebeplerinden birisi ray malzemesinin karbon miktarının yüksek olması ve bu nedenle çabuk yolluk aşındırması ve sürekli yolluk bozulmalarına sebebiyet vermesidir. Diğer bir sebep ise rayın profillerden farklı asimetrik bir geometrik yapıya sahip olmasından kaynaklanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Rayın tezgah paso resimleri [22].



Şekil 2.4. Sıyırma yolluğu [22].

Sıyırma yolluğu merdane üst ekseninden 5-10 mm aşağıdan sabitlenir. Yolluk ucu 25-30açılı olmalıdır. Çaptan düşen merdanenin yolluğu boyca uzatılmalı ve kavisin 2/3 nün en azından merdaneye değmesi için kavis tekrarlanmalıdır. Yük dağılımının yollu uç kısmından ziyade genele yayılması istenmektedir. Yolluğun kısa olmasından, yolluğun darbeye karşı koyamamasından, yolluğun taban demirine iyi sabitleştirilememesinden, yolluğun pasoya tam oturmamasından ve yolluk malzeme kalitesinin iyi olmamasından kaynaklı yolluk bozulmaları üretimi aksatabilmektedir. Yollukların yerine tespitinde giriş yolluklarının paso genişliğine uygun olması, çıkış yolluklarının uygun olup fren yapmaması, yollukların oturduğu taban demirinin merdaneye olan mesafesinin iyi ayarlanması ve iyi tespit edilmesi, çıkış yolluklarının genişliğinin pasodan dar olmaması, yan yollukların taban demirine iyi sabitlenmesi gibi unsurlara gereken dikkat gösterilmektedir [34].

### 2.3.3. Rayların Soğuma Şartları

Kontrollü soğutma şartlarının elde edilmesi ve kısmi olarak hava sirkülasyonunun azaltılması amacıyla, ızgara çevresi ve ızgara zemini muhafaza altına alınmıştır. Izgara zeminindeki boşlukların ortadan kaldırılması için seramik izolasyon malzemesi kullanılarak hava sirkülasyonunda azalma sağlanmıştır. Izgara çevresindeki metal muhafazaların kısmi boşluklarında da seramik izolasyon malzemesinin kullanılması ve hol giriş çıkışlarının kontrol altına alınması gibi

önlemlerle hava ortamında soğuyan rayın kontrollü soğumasına çalışılmıştır. Sevkiyat ve doğrultma ünitesinden önceki bu son aşamada rayın kontrollü soğumasıyla boydaki sehim ve burulmaların önüne geçilmeye çalışılmıştır. Ayrıca; bir rayın mantarı, takip eden diğer rayın ayağına temas ettirilerek rayın geometrisi gereği mantar ve ayak arasındaki soğuma farklarının asgariye indirilmesine dikkat edilmiştir. Hava sıcaklığına kadar ızgarada soğuması beklenen raylar vagonlar yardımıyla doğrultma ünitesinin bulunduğu diğer hole nakledilmektedir.

#### **2.3.4. Rayların Doğrultulması**

Dördü motor tahrikli üst bobin, üçü avare alt bobin, giriş ve çıkıştaki sağlı sollu ikişer dik avare yol gösterici rölelerden oluşan doğrultma tezgâhı ile doğrultma işlemi gerçekleştirilir. Doğrultmadan çıkan yeterli şartları sağlamış raylar soğuk olarak testere ve frezelerde kesilip isteğe bağlı olarak delinebilmekte ve raylar istif öncesi 18,5 m düz bir metal satıh üzerinde doğruluk, burulma gibi boyda oluşabilecek kusurlarına da bakılıp uygun şartlarda istiflenmektedir. Her bir ray, yapısındaki kusurların tespiti amacıyla ultrasonografik muayene yöntemiyle kontrol edilir. Ray mantarı üzerinde hareket eden ultrason cihazı rayın iç yapısında bulunması muhtemel kusurları tespit eder [35]. Yeterli uygunluk şartlarını sağlayan raylar alıcı firma yetkililerinin kontrolüne sunulmaktadır.

### **2.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ**

#### **2.4.1. Karbon (C)**

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirlik kabiliyetini azaltır [36]. Çelikteki en önemli katkı elemanıdır. Çeliğin özelliklerini başlı başına belirler. Çeliğin oksitini alır, sertleştirir ve austenitin dönüşme sıcaklığını 910 °C'dan 723 °C sıcaklığa düşürüp elektrik direncini yükseltir.

#### **2.4.2. Mangan (Mn)**

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir (Çizelge 2.5). Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. Ayrıca, FeS sıcak kırılmağa neden bir soruna neden olur [36]. Genellikle oksijen alıcı olarak kullanılır. Tren raylarında Mn oranı 0,65 ile 1,25 aralığında değişim göstermektedir.

#### **2.4.3. Silisyum (Si)**

Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki Si miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar. Yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım kaybını önleyen bir elementtir. Silisyum oksijen alıcı bir temizleyicidir [36].Tren rayı üretim metodu ve ülkelere göre 0,15 ile 0,6 aralığında değişmektedir.

#### **2.4.4. Fosfor (P)**

Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılmağlık yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini arttırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır [36]. Tren rayı ve tekerleği için müsaade edilen maksimum değer sırasıyla 0,025 ve 0,035'dir.

#### **2.4.5. Kükürt (S)**

Kükürt demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılmağlıkğa sebep olur ve haddelenmesini güçleştirir. Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir [37].

#### **2.4.6. Krom (Cr)**

Çeliğin dayanım özelliğini artıran fakat buna karşılık, esnekliğini eksi yönde etkileyen bir alaşım elementidir. Cr, çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Kabuk-tufal yapmayı önler. Krom, dengesi çabuk bozulmayan karbürü meydana getirir. Çelikte her % 1 oranındaki Cr yüzdesi artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8-10 kg/mm<sup>2</sup>'lik bir artış görülür [38].

#### **2.4.7. Nikel (Ni)**

Darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Çeliğin dayanımını silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar [36].

#### **2.4.8. Molibden (Mo)**

Molibden, çelikte yalnız başına bulunmayıp daima krom ve nikel ile birlikte kullanılan bir alaşım elemanıdır. Dayanım ve akma sınırını yükseltir. Gevrekliğini ortadan kaldırır. Darbeli ve vuruntulu yerlerde kullanılmaya elverişlidir. Molibdenli çelikler çak, dizel motorları v.b.makine parçalarının yapımında kullanılırlar. Tane büyümesi, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Çeliklerin sürünme dayanımını ve aşınma direncini yükseltir [39].

#### **2.4.9. Vanadyum (V)**

Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, menevişleme ve ikinci sertleşmede olumlu etkileri vardır. Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile, mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir. Çeliklerin sıcağa karşı dayanımını artırır [38].



## 2.4.10. Bakır (Cu)

Akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Korozyon direncini yükselten etki gösterir. Tren raylarında 0,15 civarında bulunur.

## 2.4.11. Alüminyum (Al)

Alüminyum çelikte silisyuma benzer etkiler yapar. Oksitleri gidererek oksijeni zararsız hale getirir. Çeliği iri taneli yapar. Yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeyi engeller. % 5 oranında alüminyum çeliklerde gaz giderici etkiye sahiptir.

Çizelge 2.5. Alaşım elementlerinin çeliklerin özelliklerine etkileri [40].

Alaşım Elementi	Sertlik	Mukavemet	Akma Noktası	Uzama	Kesit Bütülməsi	Darbe Direnci	Elastisite	Yüksek Sıcaklığa dayanımı	Soğuma Hızı	Karbür Oluşumu	Aşınma Direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Oksitlenme Eğilimi	Korozyon Direnci
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn <sup>1</sup>	↑	↑	↑	~	~	~	↑	-	↓	-	↓↓	↑	↓	↓	-
Mn <sup>**</sup>	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓	-	-	↓↓↓	↓↓	↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
M <sup>1</sup>	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓	↓	↓↓	↓	↓	↓	-
M <sup>**</sup>	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	-	↑↑↑	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓	↓↓	↑↑
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓	↓↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↑↑↑	↑↑	-
S	-	-	-	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑

<sup>1</sup> Perlitik Çeliklerde  
<sup>\*\*</sup> Östenitik Çeliklerde

↑ Artırır  
↓ Azaltır  
~ Değiştirmez  
- Önemsiz ya da bilinmiyor

## 2.5. RAY TIPLERİ

### 2.5.1. Doğal Olarak Sert Raylar

Raylar genellikle ‘‘doğal’’ sertlikte teslim edilir (Çizelge 2.6). Bunlar, kristalleşme durumuna göre adlandırılan perlitik (sert karbonlu pik demir) raylardır. Ray kalitesi 900 A, düz yol üzerinde her 100 m’de yaklaşık 0,7-1 mm ray yüksekliğinde ve yaklaşık 600 m yarıçapla kavislerde 2-3 mm aşınma oranı göstermektedir. Daha küçük yarıçaplı kavislerde bu rayın aşınma direnci yerinde olacaktır. 200 N/mm<sup>2</sup> ile

gerilme mukavemeti artışı, aşınma oranının yarısına denk gelmektedir. Gerilme mukavemetindeki artış, ısıtma işlemiyle elde edilir [8].

Çizelge 2.6. Ray çeliği çeşitlerinin mukavemetine ve kimyasal bileşimine genel bir bakış [15].

Kalite	Freze Son Katı	Gösterim	Kimyasal Bileşim (%)					$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )
			C	Si	Mn	Cr	V	
700	“doğal” sertlik	standart kalite	0,5	0,2	1	-	-	680
900 A	“doğal” sertlik	aşınma direnci kalitesi	0,7	0,3	1	-	-	860
1100	“doğal” sertlik	yüksek aşınma direnci 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

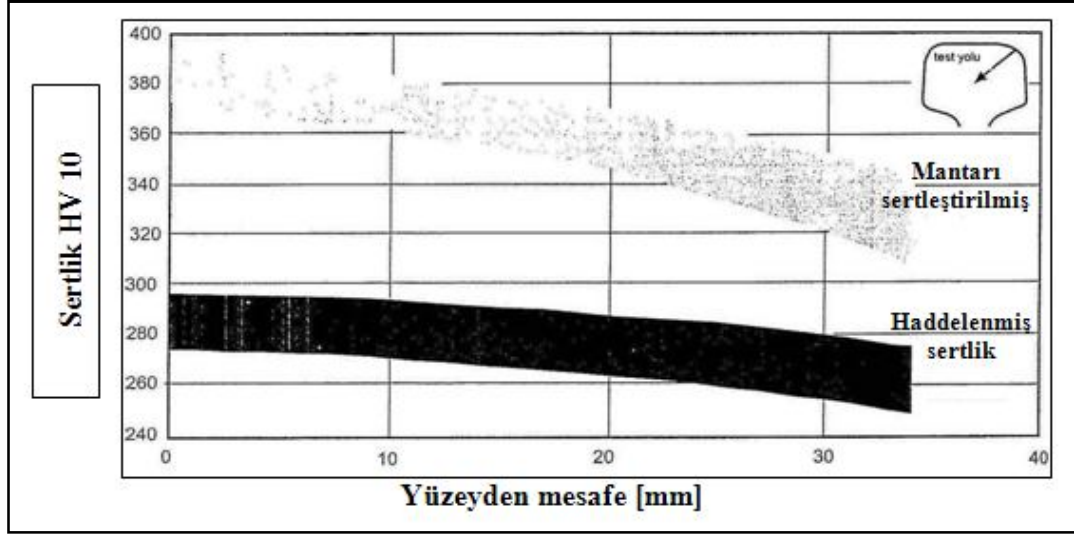
### 2.5.2. Termal Olarak İşlem Gören Raylar

Doğal sertlikteki perlitik raylar ayrıca mukavemetlerini artırmak için ısıtma işlemi girerler. Her şeyden önce başlık sertleştirme uygulanır. İki yöntem çok iyi bilinmektedir: Hat dışı sertleştirme ve Hat içi sertleştirme.

Hat dışı sertleştirilme uygulandığında ray 2-6 dk. boyunca 850-900 °C sıcaklıklara kadar indüktif şekilde ısıtılır. Sonra başlık sıkıştırılmış havayla söndürülür, 650-500 °C’ye kadar su spreylenebilir veya sislenir. Bu hızlandırılmış soğutma, yüksek sertlik ve mukavemetinde çok ince bir perlitik yapının elde edilmesiyle orantılıdır. Hat dışı sertleştirmede söndürme durumu sınırlıdır, raylar ısıtma işleminden önce ve sonra güçlendirilmelidir.

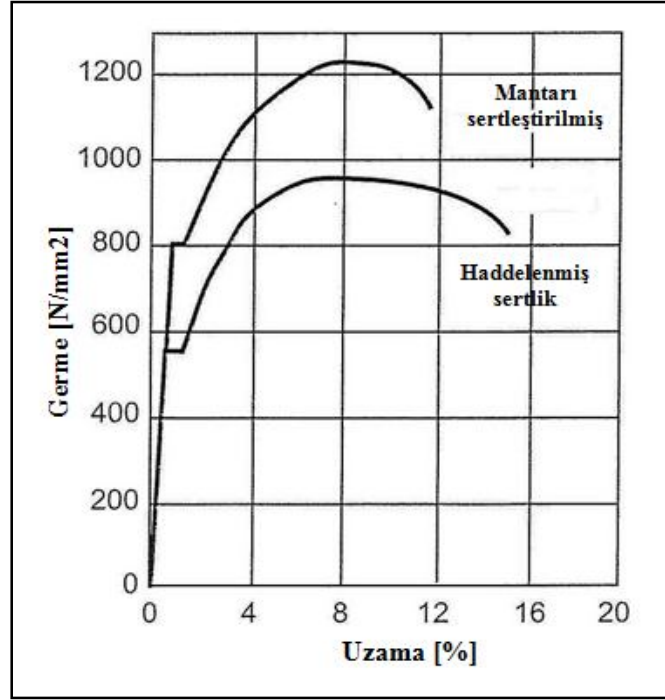
Voest-Alpine tarafından geliştirilen bir yöntem olan hat içi sertleştirmede ray, doğrudan haddeleme işleminin dışında sertleştirme tesisine taşınır. Sıcaklığı hala 800 °C ‘ den fazladır. Ray mantar kısmının tamamı, sertleştirme banyosuyla

(sentetik ilaveli suyla) söndürülür. Soğutma ajanı, ray üzerinde suyun soğutma yoğunluğunu azaltan bir tabaka oluşturur. Bu, gereken düz soğutma durumunu sağlar. Daldırma süresi yaklaşık 2,5 dakikadır. Ray yaklaşık 600 °C'e soğutulduğunda güçlendirilir ve test edilir. Şekil 2.5' de, mantarı sertleştirilmiş rayların ve doğal sertlikteki rayların sertlik derecesini göstermektedir.



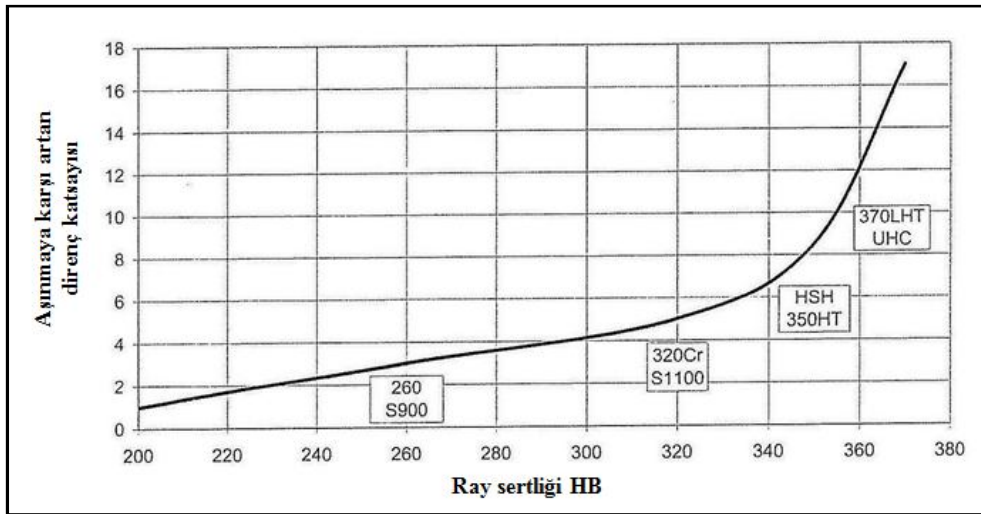
Şekil 2.5. Başlığı sertleştirilmiş ray ile “doğal” sertlikte rayların sertlik dağılımı.

Şekil 2.6'da mantarı sertleştirilmiş ve doğal olarak sert rayların germe-gerilme şemasını göstermektedir. Maksimum gerilme kuvveti  $F_m$ 'de nominal germe, germe mukavemeti  $R_m$  olarak tanımlanır.



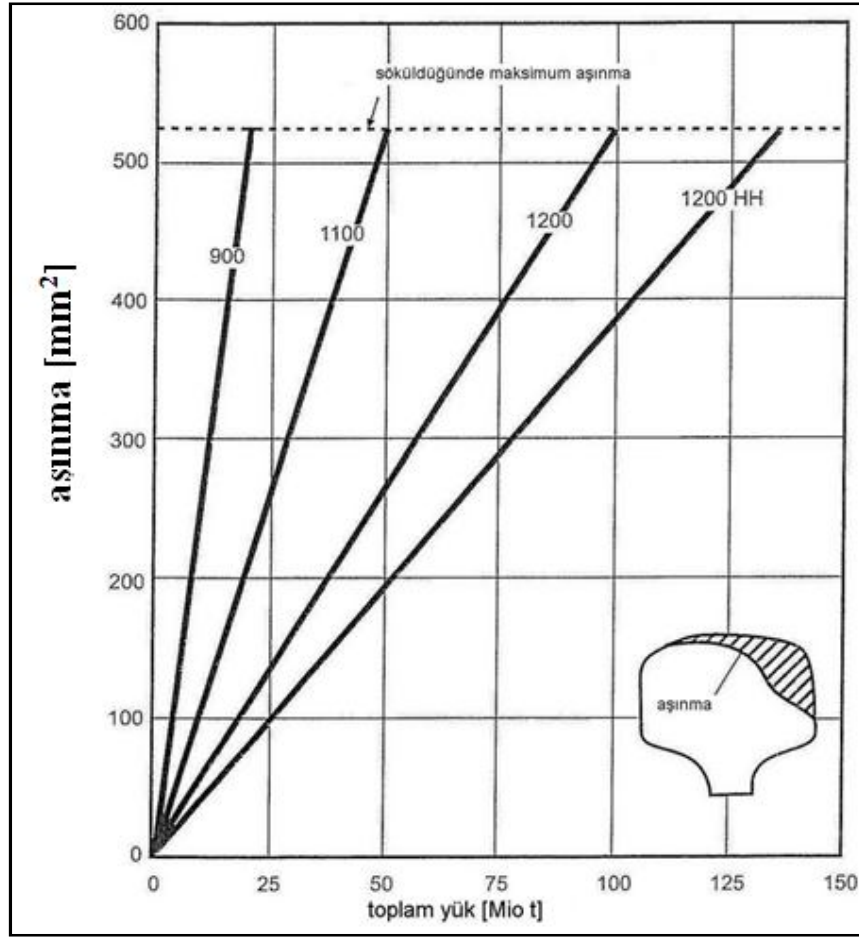
Şekil 2.6. Mantarı sertleştirilmiş raylarla “doğal olarak” sert rayların germe-gerilme şeması.

Şekil 2.7’de çeşitli ray tiplerinin aşınmaya karşı direncini 200 ray tipinin direnciyle karşılaştırmaktadır. UHC (ultra yüksek karbon) türüne kadar en az 350 HB (350 HT, 350 LHT) sertlik değerlerinde ısıl işlem görmüş rayların aşınmasının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

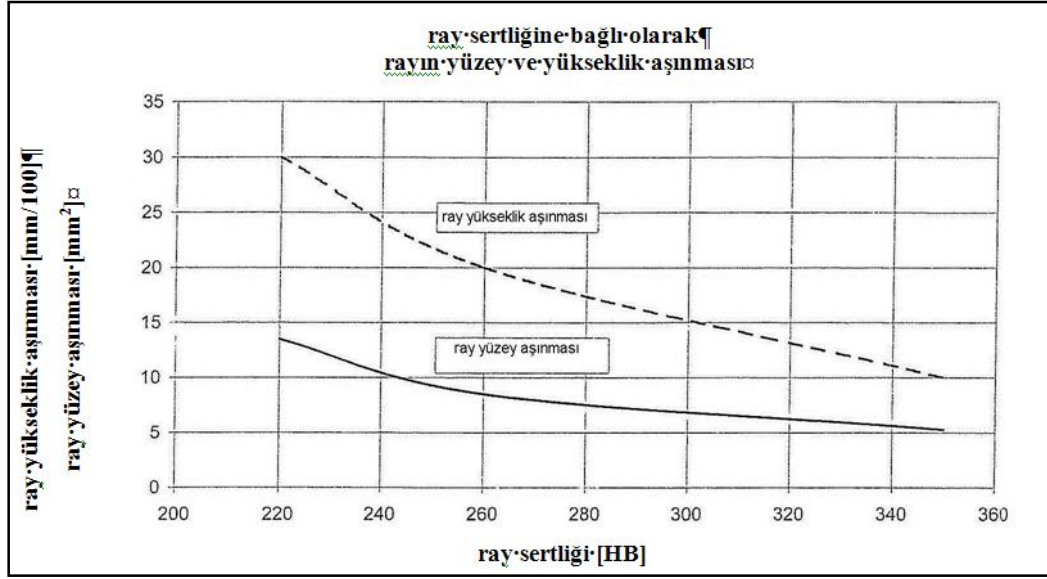


Şekil 2.7. 200 sertliğinde raylarla karşılaştırıldığında yüksek kaliteli rayların aşınmasına karşı artan direnç.

Başlığı sertleştirilmiş rayların (1200 HH) kullanım ömrü, 900 A kalitesindeki aşınmaya dirençli rayların kullanım ömründen 7 kate kadar daha uzundur. Şekil 2.8 300 m test kavislerinde eşitli çelik kalitelerinin aşınma oranlarını karşılaştırmaktadır. Veriler, yağlamasız tekerlek-ray temasına uygulanır. S1100 kalitesindeki rayın tersine yatay aşınma, yaklaşık 2.5 faktörüyle azaltılmıştır. Şekil 2.9 hem yükseklik hem de yüzey alanında test edilen rayların aşınmasını göstermektedir. Ray sertliğinin artması ile raydaki aşınma azalmaktadır [15].



Şekil 2.8. 300 m test kavisinde çeşitli ray çeliklerine ait aşınma oranlarının karşılaştırılması [15].



Şekil 2.9. Yükseklik ve yüzey alanında farklı sertliklerde rayların aşınması.

### 2.5.3. Yüksek Alaşımli Raylar

Yüksek alaşımli çeliklerin dezavantajı, artan kaynak hassasiyeti ve azalan kırılma sertliğidir. Kırılma hızına neden olan istenmeyen yapısal parçaların oluşumundan kaçınmak için kaynaktan sonra soğutma hızına özel bir önem vermek gerekir. 800-8500 °C aralığındaki krom-magnez çeliklerin minimum soğuma süresi 220- 200 saniyedir. Bu nedenle mobil parlak uçlu kaynak makinesi, soğutma hızını güvenli bir aralıkta tutmak için kaynak hava kabarcıklarını kestikten sonra mevcut pulslarla tekrar ısıtma sağlar.

### 2.5.4. Beynitik Raylar

Günümüzde uygulanan perlitik ray çeliğinin limitleri, belli bir yoğun kullanıma ulaşmış görünmektedir. Beynitik ray çeliğinin kullanımından perlitik çeliklerde ortaya çıktığı gibi viskozitede kayıp olmaksızın daha yüksek mekanik mukavemet beklenmektedir. Perlitik ve beynitik ray çeliklerinin bir karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.

- a) Perlit: Perlitik ray malzemesi, karpit ve nitrit formunda başka elementler içeren ferrit ve sementitin kuşak tane yapısına sahiptir.

- b) Beynit: Beyniy, karpit, martensit ya da ikinci aşama olarak tortu ostenit içeren güçlü bir şekilde gerdirilmiş ferritten oluşmaktadır.

## **2.6. KULLANILAN RAY STANDARTLARI**

Demir yolu raylarının üretiminde bazı ülkelerin kendi standartları olmasına karşın, dünyada ve coğrafyamızda en yaygın kullanılan standartlar; UIC 860–0 ve EN 13674-12003+A12007 dir.

EN 13674-12003+A12007 sertlik derecesine bağlı olarak 7 adet demir yolu ray kalitesi belirlemektedir. Çünkü sertlik dereceleri özel çelik kalitelerinin yıpranma özellikleriyle doğrudan bağlantılıdır. Uluslar arası demir yolu birliği ( International Union of Railways) UIC 860-1 kodeksinin aksine, ki bu kodeks günümüze kadar yapılmış en yaygın demiryolu şartnamesini oluşturmaktadır, bu yeni standart UIC standardına oturan bir performans oluşturmaktadır. Gerekli şartları yerine getirebilmek için iki çeşit test t-ürü uygulanmaktadır.

### **2.6.1. Yetenek Tespit Testi:**

Yetenek tespit testi çatlama karşı dayanıklılığı ve yorulma testlerini kapsayacak şekilde yapılmak zorundadır.

Onay testi: Onay testi kabul edilen her bir demiryolu rayının belirtilmiş şartlara uygun olduğunu tasdik eder.

UIC 860-0 standardının aksine tahrip edici olmayan testler onay testlerinin bir parçası olarak detaylı bir şekilde belirtilmektedir. Bütün demir yolu raylarının zarar verici bir arızaya sebep olmayacağından emin olmak için ultrasonik ve % 100 bir seviyede anaför (eddy current) akımı tarafından test edilmek zorundadır. Avrupa Demir yolları yüksek hızda bir ulaşım yaptığı için zemin düzgünlüğünün test edilmesi bu zamana kadar diğer şartnamelerde belirtilmemiş ilave bir zorunluluk oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak üretim özelliklerinin test edilmesinin zor ya da pratik olmadığı durumlarda üretim işlemlerinin detayları ayrıntılı bir biçimde

verilmektedir. Örnek olarak, sıvı çeliğin vakum iyileştirmesi tamamlanmış demir yolu raylarında çatlama ya da kırılmış yarıklar oluşturmayacağından emin olmak için bütün çelik kalitelerinde yapılması zorunlu bir işlemdir.

### **2.6.2. UIC 860-0 ve EN 13674-12003+A12007 Üzerinde Yapılan Bir Karşılaştırma**

UIC- kodeksi 860-0 üretilmekte olan demir yolu raylarının karşılamak zorunda olduğu malzeme özelliklerini belirtmektedir. Avrupa standardı EN 13674-12003+A12007 ün aksine üretim için gerekli olan şartlar kesin bir biçimde tanımlanmaktadır. En son değişiklik 1986 yılında yapılmıştır ve sonuç olarak UIC 860-0 standardı o zamanın gelişmiş olan en son teknolojisini yansıtmaktadır. Bunların çekme direnci yalnızca dört demiryolu rayı çelik kalitesini tanımlamaktadır.

Avrupa standardı EN 13674-12003+A12007 ise sertlik derecesine göre yedi adet demiryolu rayı kalitesini tarif etmektedir. Bu tanımlama sertlik kalitesinin özel çeliğin yıpranma özellikleri ile tamamen bağlantılı olduğu gerçeği üzerine temellenmektedir. Avrupa standardı ancak hizmete gecen gerekli performansın başarılı olduğunu garanti eden bir üretim standardıdır. Güvenliği garanti etmek için ürünü test ederken iki aşama tarif edilmektedir: Yetenek tespit testi çatlama karşı dayanıklılığı ve yorulma testlerini kapsayacak şekilde yapılır. Onay testi ise tevdi edilen her bir demir yolu rayının belirtilmiş şartlara uygun olduğunu tasdik eder.



## BÖLÜM 3

### ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ

#### 3.1. DEMİR-SEMENTİT DENGE DİYAGRAMI

Demir malzemenin endüstriyel amaçlara uygunluğu, içerisindeki sementit miktarına bağlıdır. Sementiti meydana getiren karbon olduğuna göre, demirin özelliklerini de belirleyen karbondur. Demir içerisindeki karbonun element halinde olmayıp hemen bileşik meydana getirmesi ve bu bileşiğin de ana malzeme demirle alaşım yapmasından dolayı bu alaşıma demir-sementit alaşımı, denge diyagramına da demir-sementit denge diyagramı denir. Bir miktar saf demir ergitilir ve çerisine 1900 °C sıcaklıklarda ağırlığın toplam % 6,67'sioranında karbon katılacak olursa karbonun hepsi demir içerisinde erir. Sıcaklık oda sıcaklığına inerek katılaştığı zaman Fe<sub>3</sub>C kimyasal bileşiğindeki demir karbür oluşur. Demir ve karbonun bir arada bulunduğu malzemenin hepsi, karbon oranına bağlı olarak, saf demirle sementitin meydana getirdiği bir seri alaşımlar dizisi oluşturur.

Denge diyagramı incelenecek olursa demir ve sementitin birçok faz meydana getirdiği, gerek ötektik, gerek ötektoit ve gerekse katı eriyik olan bir dizi alaşımlar görülür. Ötektikler (çift fazlı alaşımlar), alaşımı meydana getiren elementlerin kafes sistemlerinde bir değişim olmaz. Elementler kendi kafes sistemlerini aynı şekilde korurlar. Bu tip alaşımlar orana bağlı olarak homojen bir yapıda her iki fazın da özelliğini gösterirler. Bu nedenle bu tip alaşımlar üstün özellikli değildir ve sınırlı özellik değişimi sağlanabilir. Homojenliğin sağlandığı oran ötektik oran ve sıcaklıkta ötektik sıcaklık olarak adlandırılır. Ötektik sıcaklık alaşım elemanlarının ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıktır.

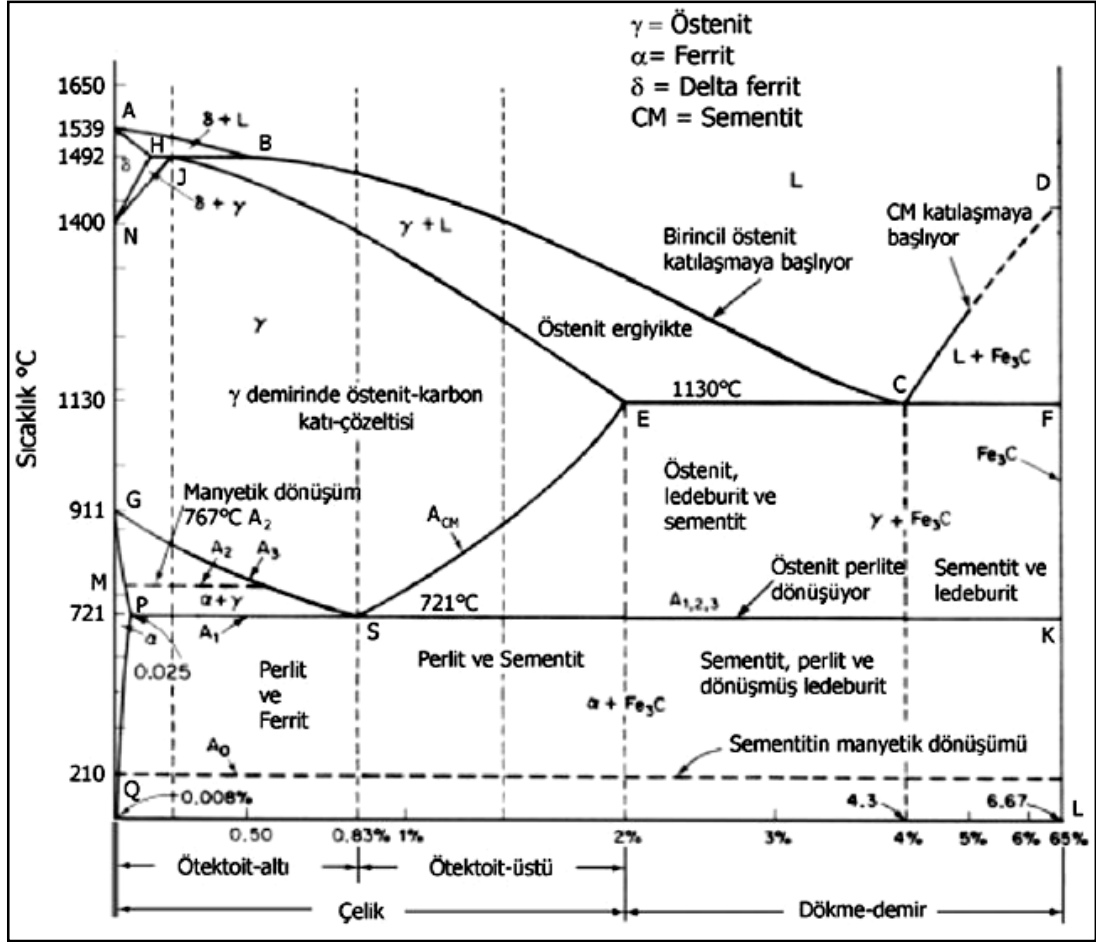
Ötektoit, Katı eriyiklerin yapmış oldukları bir yapıdır. Katı eriyikler sıcaklık değişimi ile başka yapılara dönüşürler. Bu dönüşme katı durumda meydana

geldiğinden aradaki farkı belirleyebilmek için ötektoit adı verilmektedir. Bu ötektoit bölgesi içerisinde % 0,008 karbon bulunan (pratikte sıfır karbon) sınır ile % 1,7 karbon bulunan sınıra kadardır. Saf demir ile austenitin vermiş olduğu bir ötektik olmasına rağmen ötektoit adı verilir (Şekil 3.1). Saf demir, 910 °C sıcaklıkta  $\gamma$  kristallerine dönüşür. Demire karbon katıldığı zaman durum ötektiğe benzemekte ve dönüşüme 910 °C sıcaklıktan daha alçak sıcaklıklara düşmektedir. Dönüşme ötektoit sıcaklık olan 723 °C sıcaklıkta tamamlanır. Ötektoit oran % 0,85 karbon oranındadır. Karbon bu bölgede saf demirden yeteri kadar ile sementit yapar ve bu sementit de belirli orandaki demirle perlit adını verdiğimiz yapıyı oluşturur. Demirdeki karbon oranı ötektoit sınır olan % 0,85'e ulaşıncaya kadar yapıda ferrit ile perlit bulunur. Karbon miktarı % 0,85 olduğu zaman yapıda ötektoit olan perlit bulunur. Oran % 0,85'ten fazla olacak olursa, karbonun ancak % 0,85 kadarı ötektoit yapacağından fazla karbon yapıda sementit olarak bulunur. Bu nedenle ötektoit bölge Şekil 3.1'de görüldüğü gibi karbon oranı % 0,85'ten az, % 0,85 ve % 0,85'ten fazla olmak üzere üçe ayrılır. Sıcaklık 723 °C üzerine çıkınca ötektoit yapı hemen austenite dönüşür. Yapıda karbon oranına bağlı olarak ferrit ve sementitin austenite dönüşmeleri ise şekilde bulunan kendi eğrileri aşıldığı zaman gerçekleşir. Ferrit ve sementit daha yüksek sıcaklıklarda dönüşümlerini tamamlarlar. Dönüşüm tamamlandığı zaman bütün yapı austenite dönüşür.

Austenit, 14 atomlu yüzey merkezli karışık kristallerine verilen isimdir. Sıcaklık yükselmesi ile karbon eritkenliği artarak % 1,7'ye kadar yükselir. Saf veya karbon eritmiş halde mıknatıslanmaz. Nikel ve manganez karışımı ile elde edilen ve alçak sıcaklıklarda da yapısı Austenit olan çelikler de elde edilmektedir. Bu çelikler mıknatıslanmazlar. Biçimlendirme özelliği çok yüksektir. Isı ve elektriği iyi iletmezler. Ledeburit, yüksek sıcaklıklarda Austenit ile Sementitin, oda sıcaklığında ise perlit ile sementitin meydana getirdiği bir yapıdır.

Ferrit, oda sıcaklığında 9 atomlu, hacim merkezli, kübik kristal kafeslerinden oluşmuştur. Saf demirdir. Sementit ( $Fe_3C$ ), % 93,3 Ferrit ile % 6,67 karbonun oluşturduğu kimyasal bileşiktir. Özgül ağırlığı düşük, sert ve kırılgandır. 215 °C sıcaklıkta mıknatıslanma özelliğini kaybeder. Biçimlendirilebilme özelliği yoktur.

Perlit, % 87 Ferrit ve % 13 sementitin yaptığı bir ötektiktir. Yapısı mikroskop altında incelendiği zaman inci gibi parlak olduğu görülür.



Şekil 3.1. Demir sementit denge diyagramı [41].

Demir-sementit denge diyagramına (Şekil 3.1) bakıldığında,  $\alpha$  kristallerinin 1400 °C sıcaklıkta  $\delta$  kristal kafeslerine dönüştüğü görülmektedir. Bu bölge delta bölgesi olarak adlandırılır ve endüstride büyük önem taşımaktadır. I ile gösterilen bölgede saf ( $\delta$ ) kristalleri, II ile ifade edilen bölge  $\delta$  ve  $\alpha$  kristallerinden oluşmaktadır. III.'üncü bölge ise  $\delta$  + sıvı bölgesini göstermektedir.

### 3.2. ISIL İŞLEM

Metal ve alaşımlarının özelliklerini değiştirmek için katı halde iken uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir. Parçaların ısıtma işlemi sonunda iç yapılarında değişim olur, dış şekilleri değişmez. Isıl işlemler üç ana grupta toplanır.

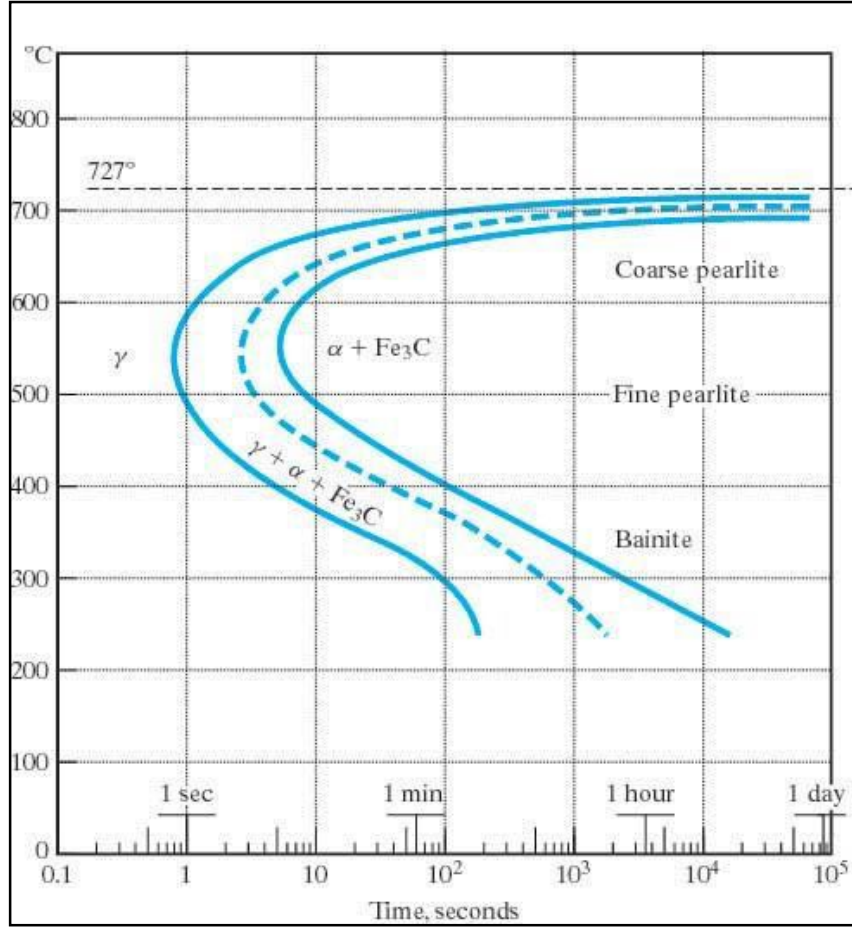
- a) Tavlama
- b) Sertleştirme
- c) Islah etme

Tavlama, çeliğin demir-ementit denge diyagramında görülen katılaşma eğrisi altında belli bir sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletildikten sonra soğutulması işlemlerine denir. Tavlama amacına göre değişik sıcaklıklarda yapılır;

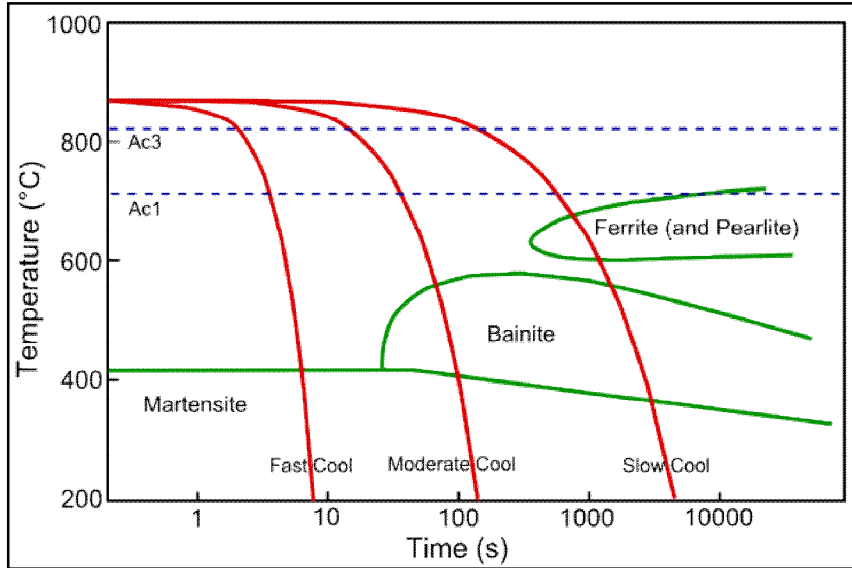
- a) Normalizasyon tavlama
- b) Yumuşatma tavlama
- c) Gerilme giderme tavlama
- d) Difüzyon tavlama
- e) Yeniden kristalleşme tavlama [42].

Sertleştirme, çeliklerin yapısını değiştirmek için yapılan kontrollü soğutmadır. Çeliklerin sertleştirilmesinde amaç malzemenin dayanımı arttırmaktır. Bu nedenle çelikler 700 °C sıcaklığın üzerinde ısıtılır. Isıtma sırasında çelikteki bağlar kopar. Isıtılan çelik ani soğutma ortamında suda ya da yağda soğutulduğunda kopan bağlar ilk hallerine dönüşemediklerinden yeni bir doku elde edilir. Çeliğin ani soğutulması ile gerginlik kazandırılmış dolayısıyla malzeme sertleştirilmiş olur. Sertleştirilme sonucunda dayanım önemli ölçüde artar. Sade karbonlu çeliklerde dayanımı bu şekilde üç katına kadar çıkarmak mümkündür. Sade karbonlu çeliklerde su verme ile sağlanan sertlik, dönüşümün hızlı olması nedeniyle yüzeyde yüksek, çekirdeğe inildikçe düşüktür. Katkılı çeliklerde ise dönüşüm yavaş olduğundan çekirdeğe kadar sertleşme sağlanabilmektedir.

Çeliğe özellik kazandıran en önemli ısıl işlem sertleştirmedir. Sertleştirme için çeliklerin austenit bölgesine kadar ısıtılması gerekir. Çelik bir ferrit-sementit alaşımıdır. Bu alaşımın karbon oranı % 1,7'ye kadar bir ötektoit yapar. Ötektoit oranda karbon % 0,085 ve sıcaklık 723 °C'dır. Ötektoit sıcaklık üzerinde çelik bir yapı değişimine uğrar. Isıl işleme tabi tutulmadan önce çelik çift fazlıdır. Bu fazlar karbon oranına göre ferrit + perlit veya perlit + sementit'tir. Ötektoit sıcaklık üzerinde perlit yapı austenit'e dönüşür. Diğer fazlar ferrit ve sementit ise GSE çizgisi üzerinde dönüşmesini tamamlayarak austenit olur. Austenit karbon eritme özelliği olan 14 atomlu yüzey merkezli bir kristal yapıdır. Isı verilmeye başlandığında ötektik sıcaklık üzerinde perlit ve sementitin dönüşmesi sonucunda serbest kalan karbon atomları austenitik yapıda merkez boşluğuna girerek yerleşir ve katı eriyik meydana getirir. Isı arttıkça boşluklar büyüyeceğinden daha fazla karbon atomu eritme (içine alma) yeteneği kazanan kristaller % 1,7'ye kadar karbon alacak duruma gelir. Çelik soğumaya başladığında işlem tersine işleyerek yine sementit ve perlit yapı oluşur. Hızlı soğutma yapılarak buna zaman verilmezse karbon atomları bulunduğu kristal kafes içerisinde kalmış olur. Yeni kristal yapı karbon eritme yeteneğine sahip olmadığı halde zoraki karbon atomu bulundurur. Fazladan karbon atomları olduğu için bu kristaller düzgün kübik şekilde olamazlar. Düzgün olmayan bu kristal yapı martenzit adını alır ve şekil bozukluğu gerginliklere neden olur. Sertliğin sebebi de budur. S (Bain) diyagramları herhangi bir çeliğin, hangi sıcaklıkta, hangi hızla, hangi yapıya dönüştüğünü belirleyen diyagramlardır (Şekil 3.2).



(a)



(b)

Şekil 3.2. Bain diyagramı: a) alaşımsız, b) alaşımlı ötektoid çelik [41].

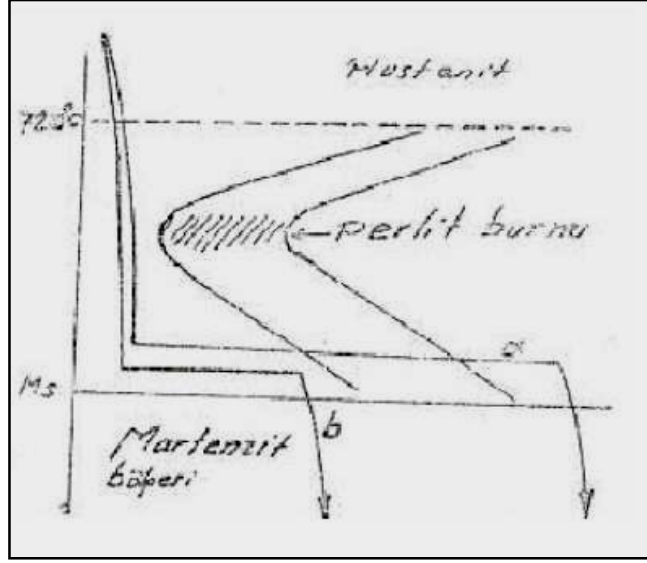
Su verme sıcaklığına kadar tavllanmış olan çelikler S diyagramında ki Ms çizgisine kadar soğutulacak olursa Martenzit yapı elde edilir. Sertleştirme genel olarak Austenit bölgesinden elle tutulabilecek bir sıcaklığa kadar yapılır. Martenzit yapı elde etmek için ısıtılan çeliğin hızla soğutulması için yapılan işlemlere genel olarak su verme adı verilir. Çeliklerin sertleştirilmesinde çeşitli soğutma sıvıları kullanılır. Çizelge 3.1’de soğutma maddeleri ve hızlarını görülmektedir.

Çizelge 3.1. Soğutma sularının soğutma hızları [41].

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

Sertleştirmede su verme iki şekilde uygulanır;

- a) Basit su verme
- b) Kademeli su verme



Şekil 3.3. Kademeli su verme yöntemi [41].

Basit su verme, en basit ve en fazla uygulanan yöntemdir. Sertleştirilecek çelik su verme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra su veya yağ banyosuna daldırılmak suretiyle hızla soğutulur. Soğutma banyosu uygun seçilmezse çatlama ve çarpılmalar olabilir. Kademeli su verme yönteminde ise su verme sıcaklığına çıkarılmış çelik perlit burnuna (Şekil 3.3) kadar hızla soğutulduktan sonra bu ısıda bir süre bekletilir. Kademeli su verme iki şekilde yapılır.

- a) Austemperleme: Bu işlemde çelik hızla perlit burnuna kadar soğutulup, bu ısıda dönüşüm sağlanıncaya kadar bekletilir. Austemperleme sonucu elde edilen yapı, sünekliği yüksek, darbe ve vurutulara dayanıklıdır.
- b) Martemperleme: Bu işlemde ise perlit burnunun altına kadar hızla soğutulan çelik bir süre bekletilir. Dönüşüme başlamadan hızla tekrar soğutulur. Martemperleme ile çelik yine martenzit yapıda olmakla beraber iç gerginlikleri az, çatlama ve çarpılmalar en az düzeye inmiş olur.

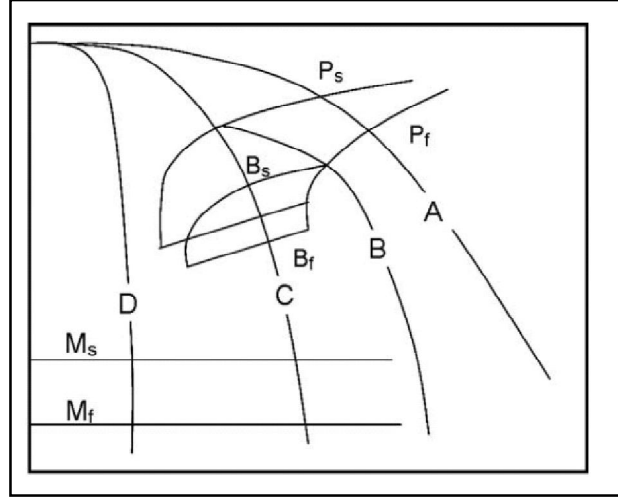
Çeliklerin sertleştirilmesinde çeşitli soğutma sıvıları kullanılır. Kullanılan sıvılar genellikle su, tuzlu su, özel eriyikler, ergimiş tuz ve kurşun banyolarıdır. En ucuz ve basit su verme ortamı sudur. Çeliği büyük bir hızla soğutur. Soğutma hızı yağdan üç kat daha fazladır. Sade karbonlu çelikler için en uygun soğutma sıvısı sudur. Su ile sertleştirmede soğutma hızının yüksekliğinden ileri gelen iç gerginlikler çeliğin



çatlamasına ve çarpılmasına neden olabilir. Büyük parçalar için su sıcaklığı 10 °C, Karışık şekilli parçalar için ise 27 °C civarında olmalıdır. Genellikle su sıcaklığı 18-20 °C olur. Ağırlık oranı bakımından % 10 yemek tuzu karıştırılmış sudur. Korozyona neden olabileceğinden yaygın olarak kullanılmaz. Su verme işleminden sonra parçaların yıkanması gerekir. Tuz suyun kaynama noktasını yükselttiğinden buharlaşmayı azaltır ve daha iyi sertleşme sağlar. Basız özel bileşikler ki % 10 Sodyum Hidroksitli (Na OH), Sülfürik asitli veya Potasyum Hidroksitli (POH) su banyolarıdır. En hızlı soğutma sağlayan banyolardır. Su verme işleminden sonra çelik yüzeyinin parlak kalmasını sağlar. Yağda sertleştirmede, çeliklerde daha az iç gerginlik doğar. Buna bağlı olarak da çatlama ve çarpılmalar da daha az olur. Yüksek sıcaklıklarda ayrışmayan madeni yağlar kullanılır. Bazı çelik türleri için 200-600 °C sıcaklıklar arasında ergiyik tuz ve metal banyoları kullanılmaktadır. Tuz banyolarındaki soğutma hızı yağ banyosundan daha üstündür. Yapılan araştırmalarda 250 °C sıcaklıktaki tuz banyosu 20 °C sıcaklıktaki yağ banyosu ile aynı soğutma hızına sahiptir.

### **3.3. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEM**

Çeliklerin gerekli termo mekanik süreçleri tasarlamak için sürekli soğuma dönüşüm diyagramları çok önemlidir. Bu, ötektoit çeliği için dönüşüm diyagramı kullanarak izah edilebilir (Şekil 3.4) [9]. Bu şekilde perlit, binit ve martensit başlangıç (sırasıyla Ps, Bs, Ms) ve bitiş sıcaklıkları ( sırasıyla Pf, Bf, Mf) işaretlemiştir. Soğuma yolları bu diyagramın üzerine koyarak, dönüşümden beklenen mikroyapı gösterilebilir.



Şekil 3.4. Ötektoit dönüşüm diyagramı [9].

Örneğin, çok yavaş soğuma hızlarda (yol A) tam perlitik mikroyapı beklenmektedir. Soğuma hızı artırılınca (yol C) soğuma yolu, perlitik ve beynitik dönüşüm sınırları geçerek karışık mikroyapı elde edilir. Çok hızlı soğuma takip edildiğinde (yolD), perlitik ve beynitik dönüşüm sınırlarından tamamen kurtulabilir. Böylece martensit yapı oluşuyor. Ray çeliğin açısından bu üç yolların hiçbiri fazla arzu edilir değildir. A soğuma yolu, düşük sertlik ve aşınma dayanımına sahip kaba perlitik yapıya sebep oluyor. C soğuma yolu düşük aşınma direncine sahip arzu edilmeyen perlitik ve beynitik yapıya sebep oluyor. D soğuma yolu martensit yapıya sebep oluyor. B soğuma yolu, beynitik başlama sıcaklığın biraz üstünde perlit bitiş sınırına kadar sabit termal dönüşümü oluyor. Burada bileşim çok hızlı soğuyor, yüksek aşınma direnci, mükemmel sertlik, iyi yorulma özellikleri ile arzu edilen ince perlitik mikroyapı elde edilir. B soğuma yolu aksatılmış soğuma ya da hızlandırılmış soğuma olarak adlandırılır ve ray çelik üretiminde yaygın kullanılır.

Uygulamada sabit sıcaklık perlitik dönüşümü perlitik başlangıç sıcaklığına kadar hava su sis püskürteci ile hızlı soğuma daha sonra, küçük bölgelere yüksek soğuma hızları uygulayıp havada yavaş soğuma rejimlerle elde edilir. Yavaş soğuma hava soğuma rejimleri malzemenin beynitik sınırı geçmesine engel oluyor. Soğuma süreç ve dönüşüm ısısı ray kesiti boyunca neredeyse düzgün sabit sıcaklık profili sağlıyor.

Yukarıda anlatıldığı gibi, belli bir malzeme için soğuma hızları kontrol edilerek arzu edilen mikroyapı elde edilir. Ancak bazen belli bir bileşim için gerekli soğuma hızını pratikte sağlamak için çok yüksek olur. Bununla birlikte bileşenin kesit alanı çok büyük ise, içi arzu edilen hızda soğuyabilir. Bu iki durumda alaşım katılması ile faz sınırı kaydırılabilir. Bu olayı aralarında küçük kimyasal farkı olan iki ray çeliğin dönüşüm diyagramları karşılaştırarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Aralarında küçük kimyasal fark olan iki ray çeliği.

	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Al	Sn	Sb	As	Cu
<b>Alloy A</b>	0,81	0,015	0,02	<0,02	<0,02	0,003	0,002	0,0008	0,006	0,033
<b>Alloy B</b>	1,14	0,09	0,21	0,021	0,02	0,007	0,02	0,0009	0,009	0,26

Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi örnekteki iki çelik eşit C 0,76, Si 0,25, p 0,017 ve S 0,014 bileşime sahip fakat diğer eser elementlerde ufak farklar var. Mn hariç diğer eser elementlerdeki farkı çok küçüktür. Küçük farklar var ama yine Şekil 2.15’de gösterilen sürekli soğuma dönüşüm diyagramları arasında kayda değer farkları vardır. Daha yüksek eser elementi içeren B alaşımı için perlit ve beynit faz sınır A alaşımına göre daha yüksek zamana kaymış. 350 °C/s A alaşımı için kaba perlit yapıyı sağlıyor, oysa katı katına beynit başlama sınırına gelir, martensit yapı ortaya çıkar [43]. Bu örnek çelik işlenmesi sırasında sıkı kimyasal kontrolün önemini izah ediyor.

Son yıllarda ikincil çelik üretimi ve dökümündeki gelişmeler daha temiz çelikleri sağlamıştır. En çok kullanılan perlitik çelikler ve beynitik çelikler Çizelge 3.3’de verilmiştir [9]. Silikon ve mangan ferritin katı çözümleri kuvvetlendiricileri olarak bilinmiştir [44]. Mangan lamine arası mesafesini azaltır ayrıca birincil östenitin tane boyutu azaltır, bu iki özelliği mukavemet ve tokluk için iyidir. Silikon ilavesi(% 0,20) akma mukavemetini % 10 civarında artırır.

Çizelge 3.3. Tipik perlitik ve beynitik ray çeliklerinin bazılarının kimyasal kompozisyonu [9].

Number	C	Si	Mn	Ni	Mo	Cr	V	Nb	B	Al	Ti	Type
1	0,55	0,25	1,0									Pearlitic
2	0,8	0,3	1,0									Pearlitic
3	0,7	1,9	1,5									Pearlitic
4	0,75	0,7	1,0			1,0	0,1					Pearlitic
5	0,65	0,25	0,7									Pearlitic
6	0,04	0,2	0,75	2,0	0,25	2,8			0,01	0,03	0,03	Bainitic
7	0,09	0,2	1,0		0,5				0,003	0,03	0,03	Bainitic
8	0,07	0,3	4,5		0,5			0,1				Bainitic
9	0,1	0,3	0,6	4,0	0,6	1,7			<0,01	0,03	0,03	Bainitic
10	0,3	0,2	2,0		0,5	1,0			0,003	0,03	0,03	Bainitic
11	0,3	1,0	0,7		0,2	2,7		0,1				Bainitic
12	0,52	0,25	0,35	1,5	0,25	1,7		0,1	<0,01			Bainitic

% 0,35 magnezyum ilavesi mukavemeti % 67 arttırdı. Çeliklere küçük miktar niobium ilavesi aşınma direnci, süneklik, kaynaklanabilirliği ve kırılma dayanımı önemli miktarda artırır. Çelik soğuk ortamda, demir cevher ağır nakliyatında kullanıldığında süneklik ve kırılma dayanımı çok önemlidir. Baş serleştirilmiş ray çeliğinde niobiumun görevi birincil östenit tane boyutun arıtması ve tane büyümesini önlemektir. Böylece ince perlit koloniler oluşur [44,45]. 0,08 vanadyum ilavesi(ağırlık olarak) vanadyumsuz alaşımların akma dayanımın % 20'sine kadar artırır. Vanadyum alaşımın mukavemetini birincil olarak katı çözeltili kuvvetlendirilmesi ile artırır ayrıca tane arıtması ile oluyor. Vanadyum ilavesi ayrıca charpy geçiş sıcaklığını artırır, bu arzu edilen bir durum değildir.

Hidrojen 3 ppm'den daha fazla bulunursa çatlaklara neden oluyor [46]. Geliştirilmiş ikincil çelik üretim kullanarak(örneğin ark argon dekarbürizasyonu) ile çeliğin hidrojen miktarı kabul edilebilir sınırlara indirebilir. Alman firması Thyssen mill tarafından üretilen yüksek aşınma dirence sahip THS sınıf çeliği 3 ppm oksijen içerir, bunu vakum gaz alma ile elde edilir [47].

Hidrojen miktarı kontrol eden başka yolu ise yavaş ya da aksatılmış soğumadır, çünkü yavaş soğuma hidrojenin çelikten difüze etmek için yeteri zamanı sağlıyor.

### 3.4. RAY SERTLİĞİNİN ÖNEMİ

Rayların tamamında yüzey aşınmasına karşılık perlitik yapı kullanılır. Rayın aşınması perlitik yapının sertliğine bağlıdır. Perlitik yapıdaki sertlik değeri de lameller arsında ki uzaklık ile orantılıdır. Rayın kimyasal yapısında yapılacak değişiklikler ile maksimum 340-355 BHN sertlik değerine ulaşılabilirdiği halde ısıtım işlem yapılarak 350-450 BHN değerine ulaşılabilir. Diğer taraftan eğer sertlik değeri çok yüksek olursa plastik deformasyondan etkilenme ve aşınma az olsa da yorulmadan dolayı ray kullanılmaz hale gelir. Sonuçta rayın yüzeyinde yorulmayı engellemek için sertlik aşınmaya izin vermeyecek kadar düşük olmalıdır [17,19,48]. Elde edilen sonuçlara göre hızlı soğuma sonucunda sertlik artmaktadır.

Sertleştirme, aşınmayı azaltmayı ve çalışma sırasında özellikle sıkı ve orta kavislerde rayların yuvarlanma-temas yorgunluğuna karşı direncini arttırmayı amaçlamaktadır [15]. Esas olarak başlık sertleştirilmesi için hat dışı sertleştirme ve hat için sertleştirme prosedürü olan iki yöntem bilinmektedir.

Raylara uygulanan ısıtım işlemin amacı yüzey sertliğini iyileştirmektir. Yüzeye çok sık olmayarak uygulanan ısıtım işlemleri: lazer sertleştirme, plazma kaplama ve lazer kaplamadır. Çok yaygın olarak uygulanan yüzey sertleştirme işlemi yüzeye su püskürtmedir.

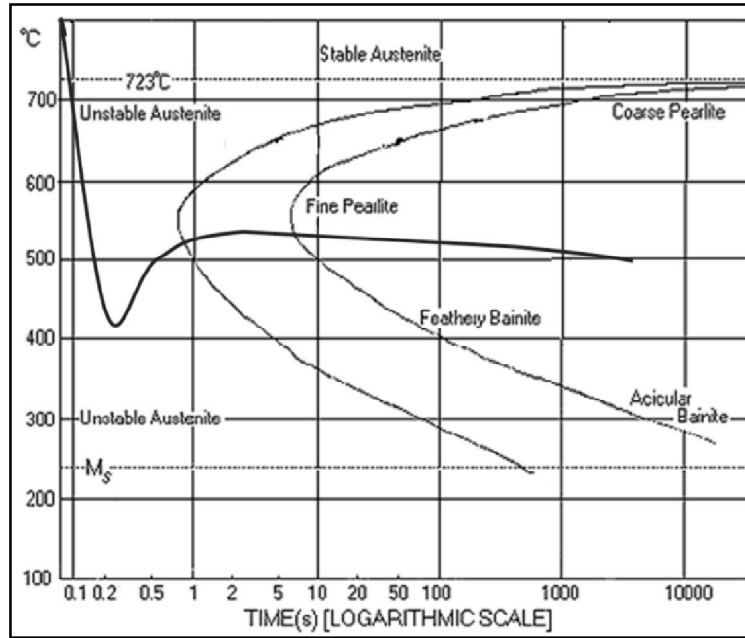
Lazer perdelaması [15], yüksek performanslı lazer yardımıyla rayın yüzey tabakasını sıvılaştırır. Ray ısıtımının iyi sapsmasından dolayı yüzey tabakası hemen katılaşır ve düşük sürtünme katsayısıyla çok sert bir tabaka oluşturur. Tekerlekle ray arasındaki sürtünme katsayısı % 40'a kadar azaltılır. Plazma kaplama için rayı koruyucu tabakayla kaplayan tozla birlikte iyonize gaz doldurulur. Bu plazma kaplama, düşük yağlama sıklığı sağlar ve sürtünme katsayısının düşmesine neden olur. AB projesi "InfraStar", lazer kaplama testlerini içermiştir [15]. Bu teknoloji, İsveç'te DuracRail şirketi tarafından geliştirilmiştir. Aşınmaya karşı son derece dayanıklı sert bir tabaka, yüksek performanslı bir lazer kullanılarak ve alaşım içerikleri ve seramik katkıları eklenerek rayaya uygulanır. Saha testleri, "Duroc 222" adlı 24 mm geniş tabaka uygulandığında çatlamaya karşı çok yüksek bir direnç,

düşük bir sürtünme katsayısı ve mükemmel bir aşınma direnci göstermiştir. Testler, İsveç demir madeni demiryolu olan Malmbanan'da yapılmıştır. Uygulamadan sonra Uygulamanın ardından 7 M ton çalışma yükünden sonra tabakanın sertliği 390 HV'den 540 HV'ye çıkmıştır. Yaklaşık 18 Mton yol yükünden sonra Duroc 222 ile kaplanan ray hala herhangi bir çatlama göstermemiştir.

Ray setleştirilmesi fırında 800-900 °C arasında östenitlenip tasarlanan su verme sisteminde belirlenen süre kadar pulverize su verilerek yapılır [15].

Şekil 3.5 ötokloid çeliğinin (% 0,8 C) ZSD eğrisini görülmektedir. ZSD eğrisi, östenitin ölçekte, sıcaklık ise dikey ekseninde gösterilir. Soğuma eğrisi östenit bölgesinde t=0'da başlar ve soğuma hızına bağlı olarak eğimi ortaya çıkar.

% 0,8 C içeren ray çeliğinin mantar sertleştirme ısıl işlem sonrası ZSD Şekil 3.5' de olacaktır.



Şekil 3.5. 0,8 C'lu bir çeliğin İzotermal dönüşüm diyagramı [49].

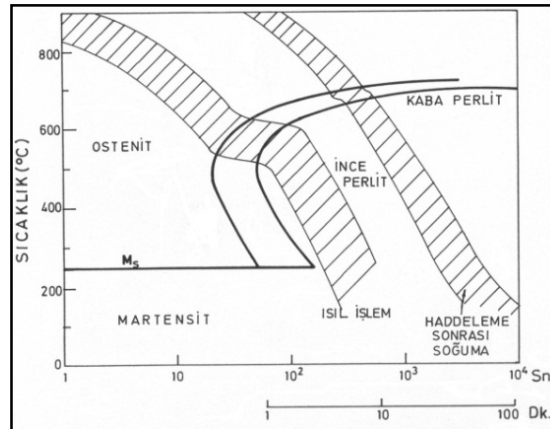
### 3.5. RAYLARDA SU VERME

Su verme çeliğin termo mekanik işleminde önemli rol oynamaktadır, bu aşağıdaki örnek ile izah edilebilir. % 0,77 C, % 0,95 Mn, % 0,22 Si ve % 0,1 Cr içeren C-Mn çeliği düşünün. Bu çeliğin farklı mikroyapıya sahip olabilmesi için (sürekli soğuma ortam altında) gerekli soğuma hızları Çizelge 3.4’de verilmiş. Aksine, istenilen fine perlitik mikroapı eldesinde, profil soğutulmasına son verilmesi 640 C/dk. da çelik 1050 C den 580 C ye soğutulduğu yerde, yavaş soğutarak 45 C /dk. da 480 C ye, ılımlı soğutmada 380 C/dk oranında oda sıcaklığına soğutulması gerekir [43].

Çizelge 3.4. Su verme oranının ray çeliğinin mikroyapısına etkisi.

Cooling rate	Phases
<240 °C/min	Pearlite
250 °C/min	Pearlite + Bainite
400 °C/min	Pearlite + Bainite + Martensite
>643 °C/min	Martensite
Interrupted cooling	Fine Pearlite

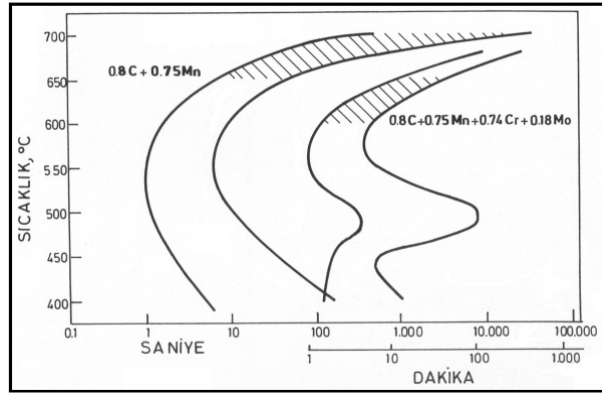
Mantarı sertleştirilmiş rayların mantarlarının içyapılarında sıkı dizilmiş ince perlit oluşturmak için soğuma hızını yükseltmek gerekmektedir. Şekil 3.6’da bir % 0,75 C + % 1 Mn içerikli bir ray çeliğinin içyapısının, soğuma hızını değiştirerek nasıl değiştirilebileceği görülmektedir:



Şekil 3.6. % 0,75 C + % 1 Mn içerikli bir ray çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm diyagramı.

Soğuma hızları ilgili eş ısıl dönüşüm eğrilerine bindirilmiş olarak görülen Şekil 3.6' daki bu çizimde, ostenitleme sonrası ya da sıcak hadde çıkışı görece yavaş soğutmalar kaba perlit oluşumuna, hızlıca soğutmalar ise ince perlit oluşumuna yol açmaktadır.

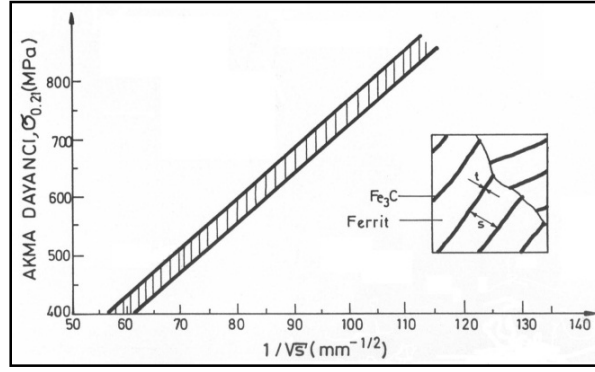
Şekil 3.7'de ise bir % 0,8 C + % 0,75 Mn içerikli ray çeliğinin bileşimine % 0,74 Cr + % 0,18 Mo katımlarıyla eş ısıl dönüşüm eğrilerinin konumunun nasıl değiştiği çizimsel olarak gösterilmekte ve dönüşümlerin daha uzun süreler alacağı da açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 3.7. % 0,74 Cr + % 0,18 Mo katımlarının % 0,8 C + % 0,75 Mn içerikli ray çeliğinin dönüşüm eğrilerine etkisi.

Buradan çıkarılacak sonuç şudur: Alaşımli ray çelikleri havada soğutma gibi oldukça yavaş soğutmalarda bile sıkı dizilmiş ince perlit oluşturabilirler. İnce perlit, belirli bir % C içeriğinde katmanlar arası F<sub>3</sub>C uzaklığı (s) küçüldükçe yalnızca sertliğin artmasına yol açmaz. Şekil 3.8' de görüldüğü üzere, akma dayancının ( $\sigma_a$ ) da artmasını sağlar.



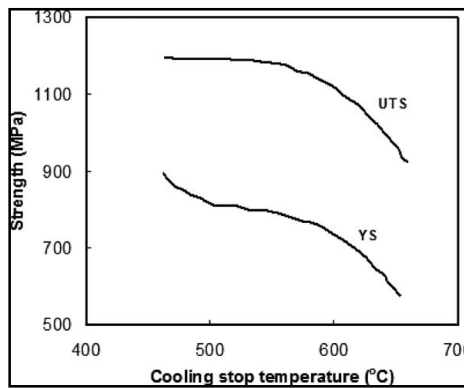


Şekil 3.8. Katmanlar arası  $F_3C$  uzaklığının (s) akma dayanımına etkisi.

### 3.6. MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Östenit'ten perlitte dönüşüm, difüzyon tarafından kontrol edilen bir süreçtir; çekirdeklenme ve büyüme prosesi ile belirlenir. Bu dönüşüm sırasında östenit içinde karbonun difüzyonu, hızı kontrol eden aşamadır. Mekanik özelliklerin çoğu, perlit yapının oluşumuna bağlıdır. İnce ve % 100 perlit yapı, düşük lameller arası mesafe, aşınma dayanımı gibi iyileştirilmiş mekanik özellikleri sağlar, yani daha küçük lameller arası mesafe daha büyük aşınma dayanımı sağlıyor, bunun tersi de doğrudur.

Dönüşüm mekanizmalarını anlayarak bu mikroyapılar değiştirilebilir. Lamelle arası mesafesi, denge ötektoit dönüşüm sıcaklığı altındaki alt soğuma ile ters olarak değişir, dönüşüm sıcaklığı ne kadar düşük ise lameller arası mesafesi o kadar incedir. Dönüşüm sıcaklığın mekanik özelliklerin üzerindeki etkisi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Dönüşüm sıcaklığın mekanik özelliklerin üzerindeki etkisi [50].

700 kalite ray çelikler (ki karışık mikroyapı içerir, % 30 Ferrit + % 70 kaba perlit) değişik mikroyapıları içerebilir. 1100 kalite yük taşıyan trenler için % 100'e kadar ince perlit yapıya sahip olabilir. Ray kalitesinin secimi gerekli özelliklere bağlıdır. 1100 ve HH 1100 kalitelerinin her ikisinin çekme mukavemetleri 1100-1200 MPa arasındadır [51]. 1100 kalitedeki ray çeliği, % 0 Cr içeren HH 1100 kalite ray çeliğinin aksine yaklaşık % 1 Cr içerir (Çizelge 3.5). Daha hızlı ve daha ağır yük taşıyan trenler için gerekli yüksek aşınma dayanımı, iyi kaynaklanabilirlik, yüksek mukavemet ve kırılma dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Perlit ray çeliklerin aşınma davranışları, Colorado'da gerçek kullanım şartları altında 4,8 mil demiryolu rayında incelenmiştir.

Çizelge 3.5. Farklı çelik kalitelerinin tipik kimyasal kompozisyonu, çekme mukavemeti ve mikroyapıları [51].

Rail Steels	% C	% Mn	% Cr	Tensile Strength (MPa)	Microstructure
Crane rail	0,35	0,8		600	50 % pearlite + 50 % coarse pearlite
Flat Bottom Rails					
Grade 700	0,5	1,0		700	30 % ferrite + 70 % coarse pearlite
Grade 900	0,75			900	100 % coarse pearlite
Grade 1100	0,75	1,1	0,9	1100	100 % fine pearlite
Head-hardened 1100	0,75	1,0		1100	100 % fine pearlite

Dolayısıyla farklı bölgeler farklı zamanda dönüşüme uğrarlar, bu da kalıntı gerilme neden oluyor. Sıcak haddeleme sırasında veya soğuma sırasında oluşan kalıntı gerilme kullanım öncesi ya da kullanım sırasında bükülmeye veya yorulmaya neden oluyor [17]. Malzemelerde faz dönüşümü (östenit/perlit ya da östenit/binit) telafi edilmeyen belli hacim değişimlere neden oluyor ve bu da plastik deformasyona neden oluyor. Homojen sıcaklık dağılımı iş parçası boyunca homojen plastik deformasyon oluşturuyor, fakat sıcaklık dağılımı homojen olmadığı durumlarda deformasyon enerjisinin bir kısmı kalıntı gerilme olarak iş parçasında toplanır. Dolayısıyla ray çeliğin üretiminde, sıcak haddelemeden sonra ortaya çıkan bükülmenin sebebi, çeliğin içindeki farklı dönüşüm hızlarından kaynaklanan

homojen olmayan sıcaklık profilleridir. Ray çeliğin üretiminde bükülme ve kalıntı gerilmenin tahmin edilmesi önemlidir. Sıcak haddeleme sonrasında, ortam sıcaklığına soğurken ray çeliğin kalıntı gerilmesinin gelişimi ve büyümesi ANSYS yazılım ile simüle edilmelidir.

### 3.7. MANTARI ŞERTLEŞTİRİLMİŞ RAYLARIN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE EN 13674-12003+A12007 STANDARDINA GÖRE SERTLİK DAĞILIMI

EN 13674-12003+A12007 standardında mantarı sertleştirilmiş R 350 HT kalitesindeki rayların sıvı ve katı analiz sonuçları ve artık element değerleri Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

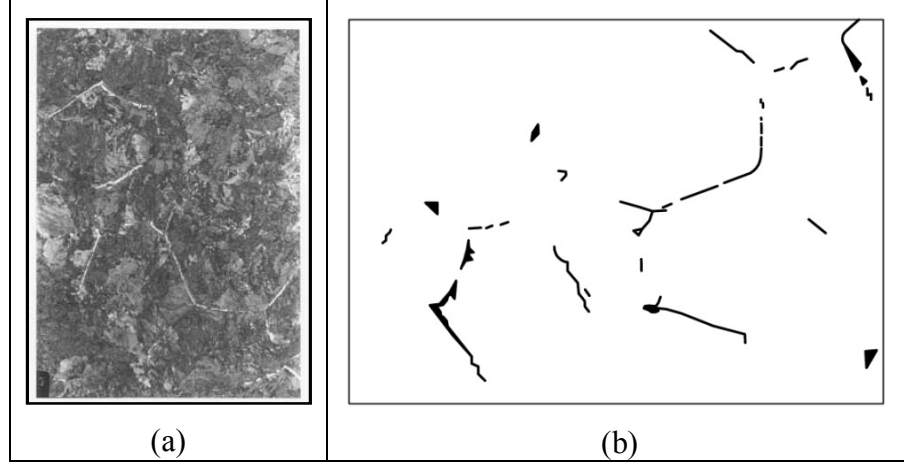
Toplam oksijen miktarı 20 (10<sup>-4</sup> % ppm max. kütle olarak ) ve toplam hidrojen miktarı 2.5 (10<sup>-4</sup> % ppm max. kütle olarak) olmalıdır. Mikroyapı tamamen perlitik yapıda olmalıdır. Ancak tane sınırlarında ferritik yapı görülebilir. Tane sınırlarında görülebilecek max. ferrit miktarı Şekil 3.10’da görülmektedir.

Çizelge 3.6. R350 HT ray kalitesinin kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikleri.

	% Kütle Olarak Bileşim										10 <sup>-4</sup> % ppm max. kütle olarak	Rm min. (MPa)	min. % uzama (MPa)	Merkez çizgi üzerinde yüzey Sertliği HBW/RS
	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr max.	Al max.	V max.	N max.	O				
Sıvı	0,720,80	0,150,58	0,701,20	0,020	0,025	0,15	0,004	0,030	0,009	20	2,5	1175	9	350/390
Katı	0,700,82	0,130,60	0,651,25	0,025	0,030	0,15	0,004	0,030	0,010	20	2,5			

Çizelge 3.7. Maksimum artık elementler. Tüm değerler M kütle olarak.

	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)



Şekil 3.10. Tane sınırlarında izin verilen maksimum ferrit'i gösteren a) mikro fotoğraf ve b) diyagram.

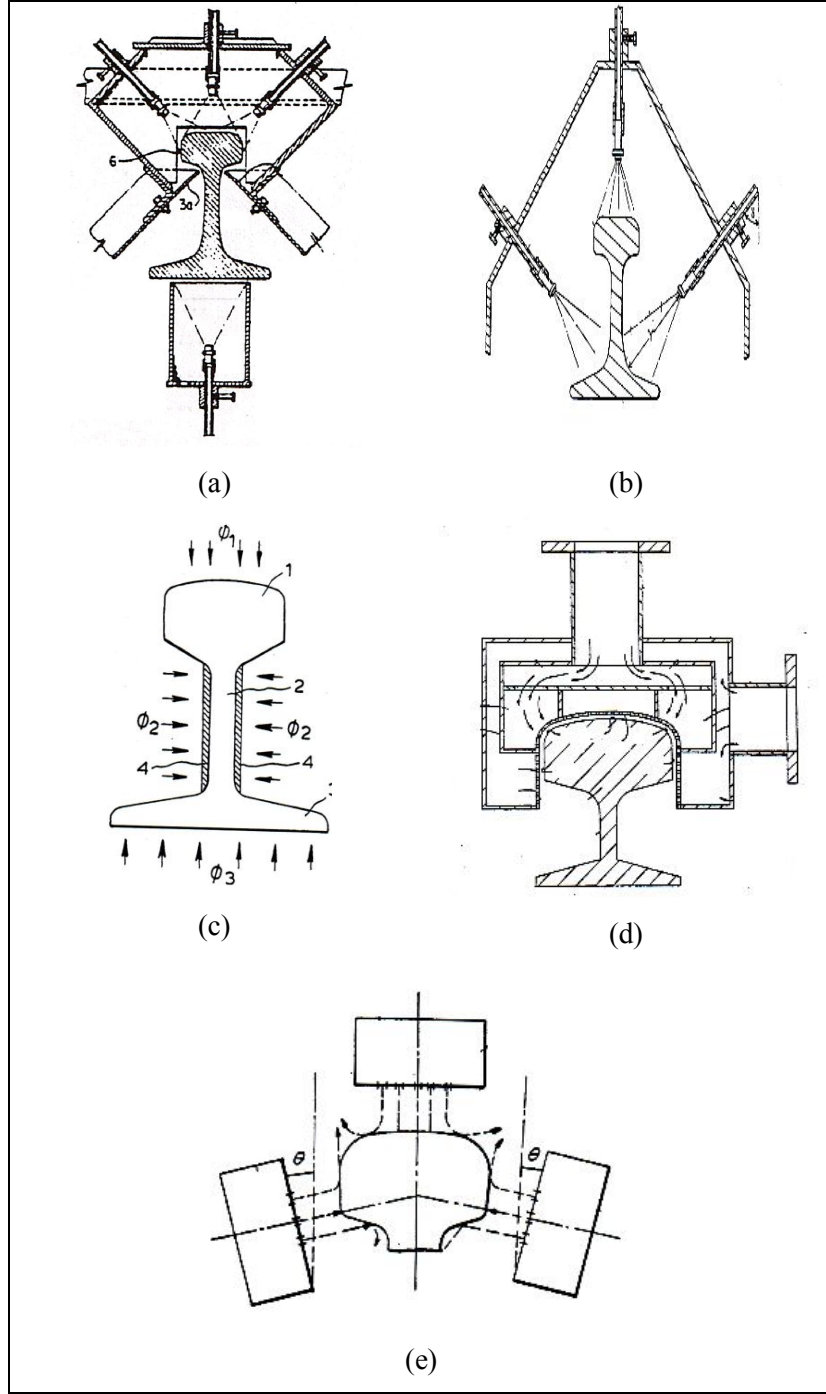
EN 13674-12003+A12007 standardında R350 HT ray kalitesindeki demir yolu rayının sertlik ölçümü yapılırken 4 farklı bölge tanımlanmıştır bu bölgeler tanımlanmış ve bu bölgelerdeki istenen sertlik değerleri listelenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. 13674-1:2003 (E) standardında R350HT kalite rayın sertlik ölçümü yapılan 4 farklı bölgesi ve değerleri.

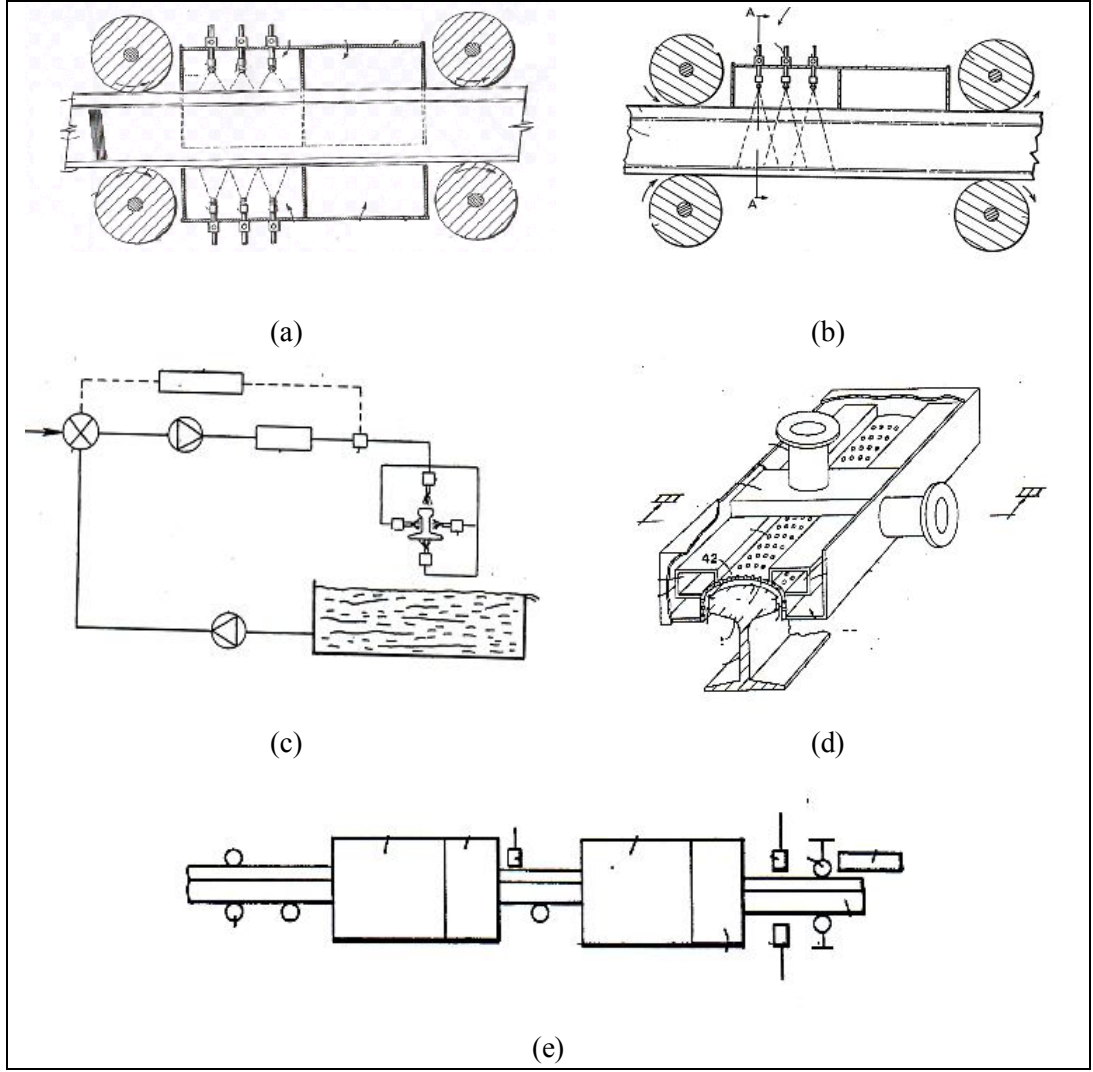
Konum		Sertlik HBW
RSa		350-390
1		340 min
2		331 min
3		321 min
4		340 min

### **3.8. RAY HADDEHANESİNDE HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA İLE DEMİR YOLU RAYLARININ ÜRETİMİNİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ÇEŞİTLİ MANTAR SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ**

Aşınmaya direnci geliştirilen demir yolu rayları, östenitik dönüşüm sıcaklığı altında kontrollü bir şekilde güçlü bir soğutma ile üretilir. Hızlandırılmış su verme ile üretilmiş raylar, kafa (mantar) bölgesinde ince perlitik bir yapıya sahiptir. Soğutma sistemi, bir dizi sıvı soğutma aracı bulunana kafalardan (püskürtme) oluşmaktadır. Tek bir kesit için soğutma sistemi dizaynları Şekil 3.11’de verilmektedir. Hadde çıkışında sıcak olarak alınan raylar, ara ısıtmaya gerek kalmaksızın ve/veya indüksiyon kaynaklı ısıtma sisteminden geçirilerek, bir tutucu rola sistemi ile soğutma sistemine transfer edilir. Ray uzunluğunun her segmenti, sıvı soğutucu (Şekil 3.11 a,b, ve c) ve basınçlı hava + sıvı soğutucu (Şekil 3.11 d ve e) karışımına tabi tutulur. Şekil 3.11-a’da rayın mantar kısmı ve alt kısmı sıvı soğutmaya maruz iken Şekil 3.11-e ve d’de rayın yalnızca mantar kısmı hızlandırılmış soğutmaya tabi tutulmuştur. Tasarlanan diğer sistemlerde rayın web bölgesi (Şekil 3.11-c) ve web bölgesi altı (Şekil 3.11-b) hızlandırılmış olarak soğutulmuştur. Şekil 3.11’de verilen soğutma sistemlerinin her birinin sıralı seri dizilişleri Şekil 3.12’de verilmiştir.

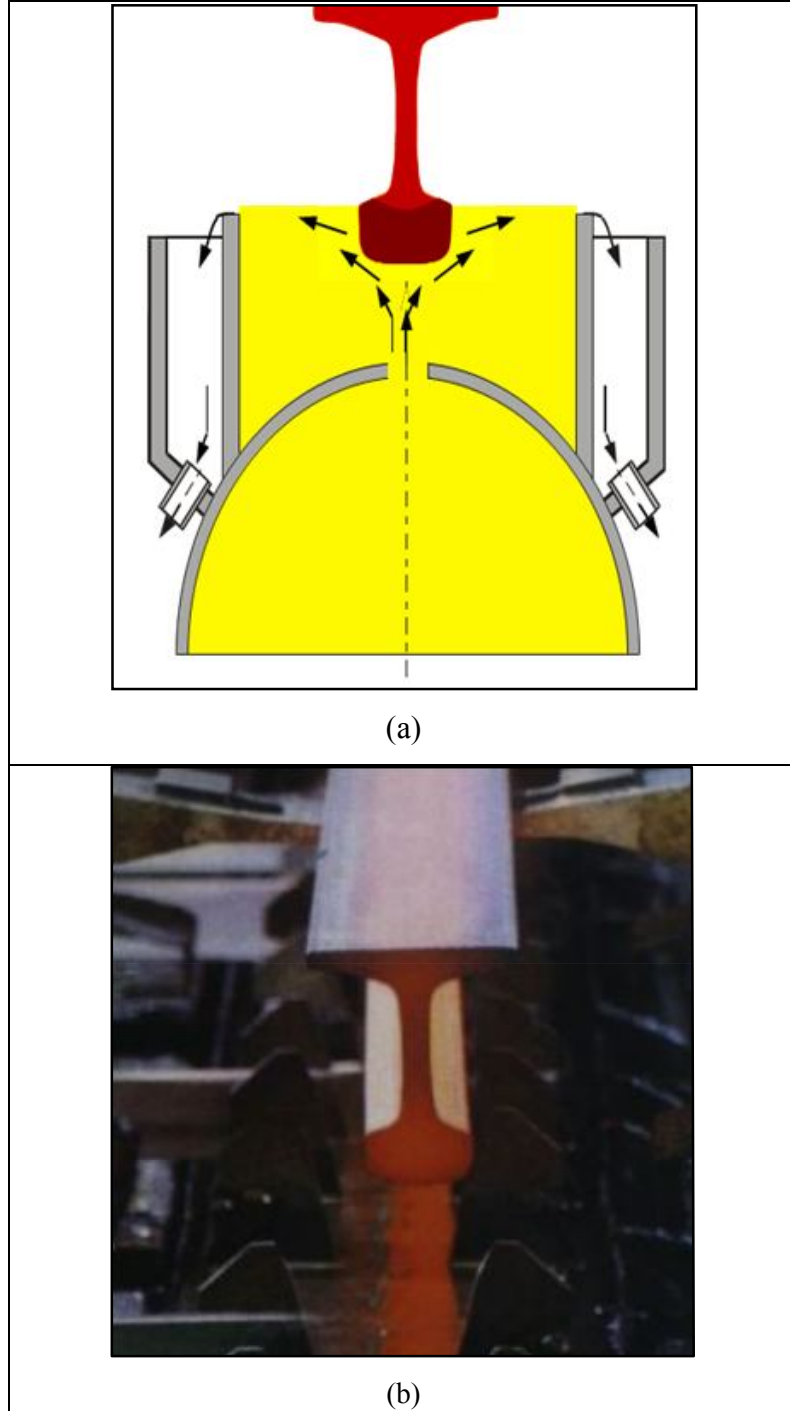


Şekil 3.11. Soğutma sistemleri: a) mantar ve alt kısmına sıvı, b) mantar ve web bölgesi altına sıvı, c) mantar, web bölgesi ve alt kısmına sıvı, d) yalnızca mantar kısmına sıvı + hava karışımı ve e) yalnızca mantar kısmına sıvı + hava karışımı olarak püskürtülen hızlandırılmış soğutma sistemleri.



Şekil 3.12. Şekil 3.10'da verilen soğutma sistemlerinin sıralı seri dizilişleri.

Ray yüzeyine spreyleme ile hızlandırılmış su verme metotlarından başka daldırma yöntemi de ray yüzeyini sertleştirme amacıyla kullanılmıştır. Şekil 3.13'de Voestalpine tarafından gerçekleştirilen mantar sertleştirme ısıl işlemi gösterilmiştir.

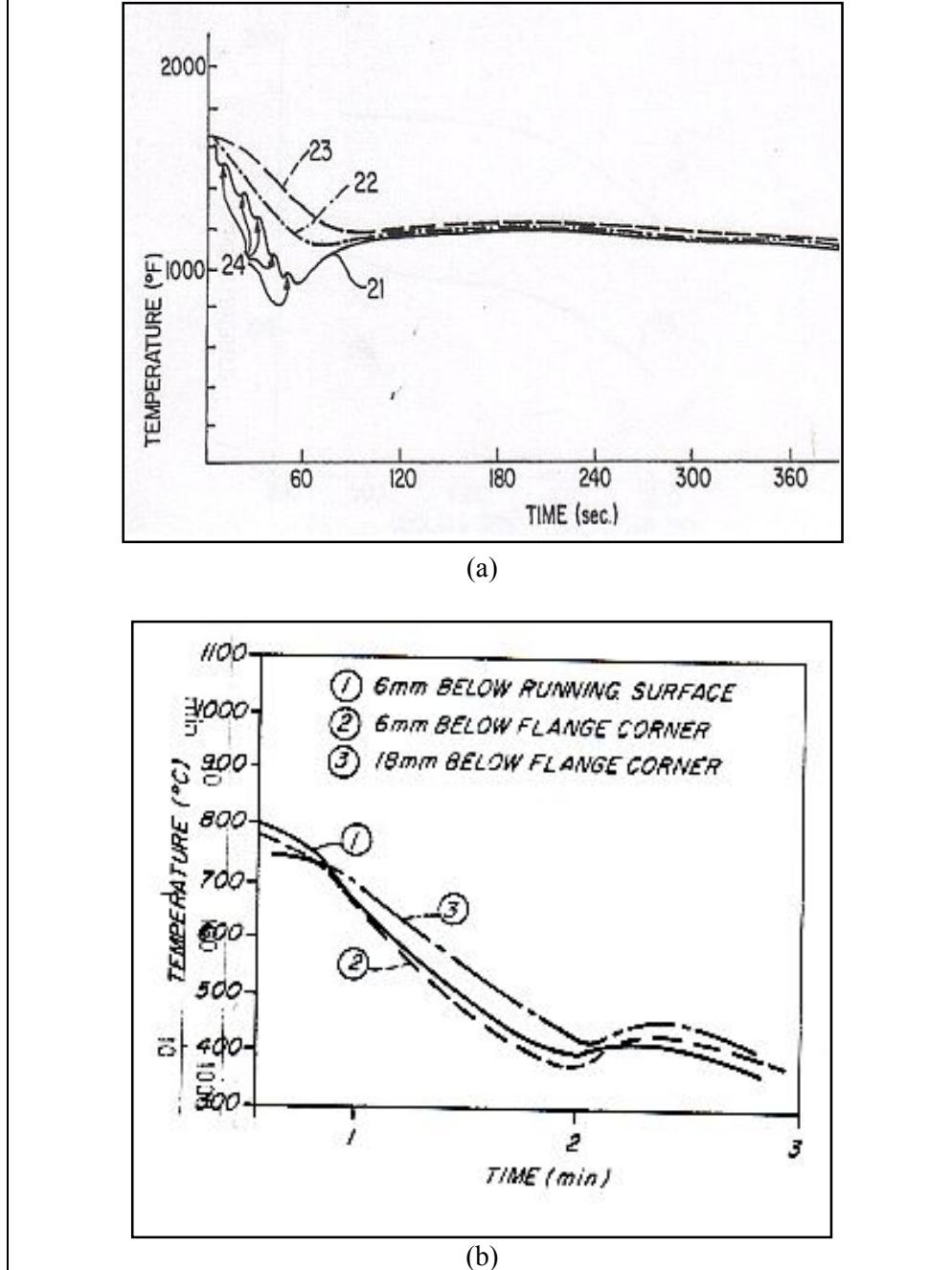


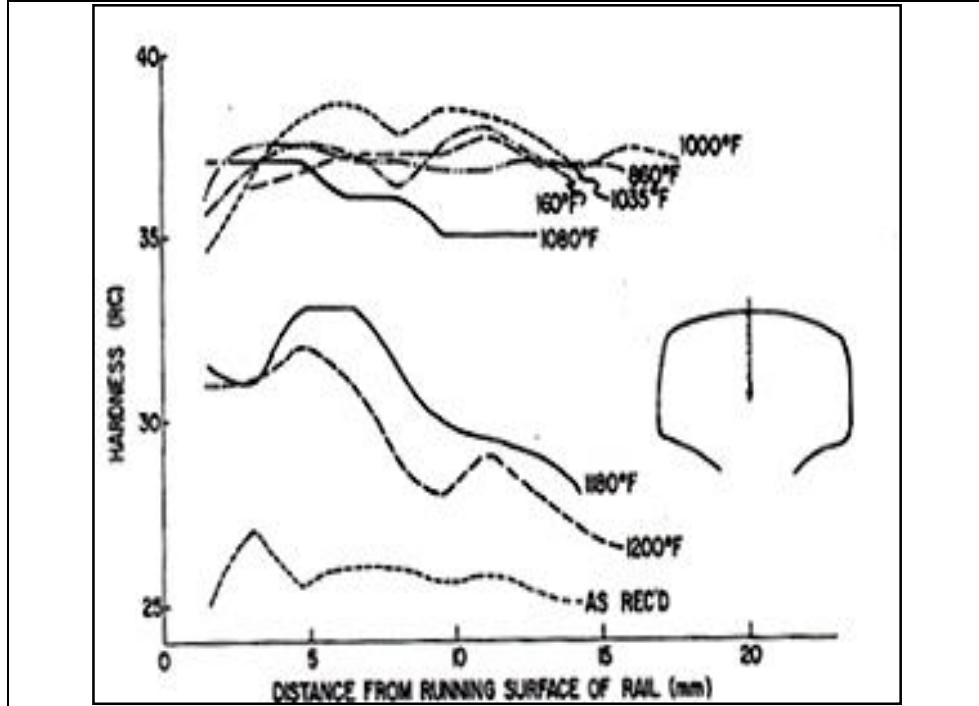
Şekil 3.13. Voestalpine tarafından geliştirilen a) ray segmentinin daldırma işlemi ve b) sistemin sıralı seri hali.

Gerek sıvı ve gerekse basınçlı hava + sıvı spreyleme sisteminde rayın mantar kısmından inilen sıcaklık değeri (Şekil 3.14) 1-2 dakika içinde yaklaşık 400 °C'dir. Şekil 3.15'de hızlandırılmış soğutma işlemi sonrası rayın yüzeyinden içeriye doğru sertlik değişimi verilmiştir. Bu cihazlar ve yöntemler, rayın mantar kısımlarında ince

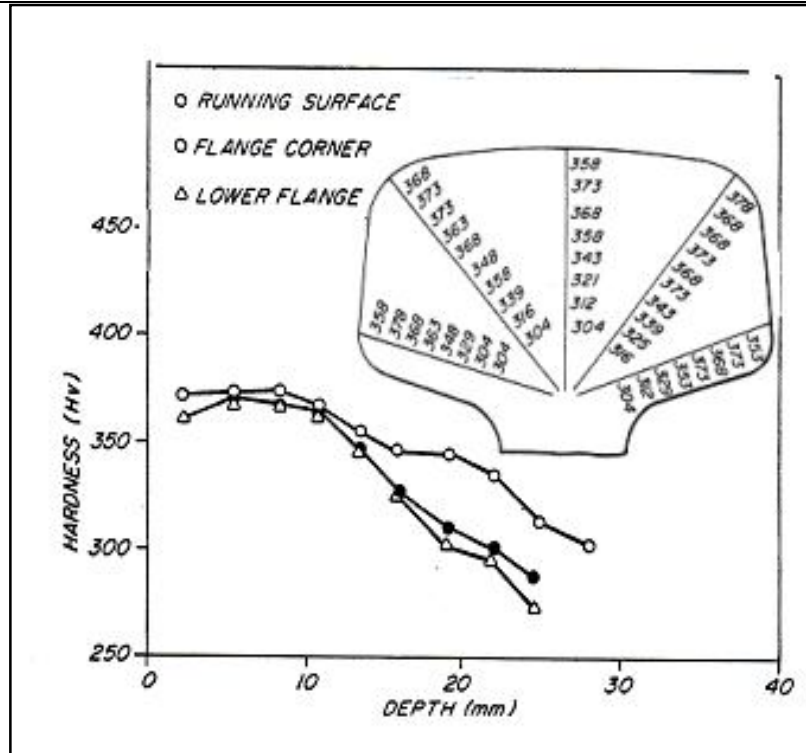


perlitik yapılı rayların üretimine yatkındır. Web bölgesine uygulanan spreyci işleminde (Şekil 3.11-c), bu bölgede bey nitik yapı oluşması amaçlanmıştır.





(a)

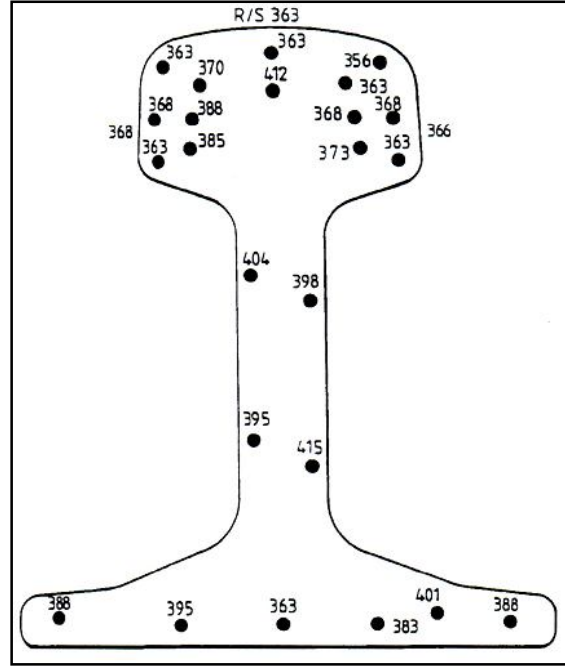


(b)

Şekil 3.15. Sertlik-derinlik ölçümü: a) Şekil 3.11'de a şıkkındaki sistemde, b) Şekil 3.11'de e şıkkındaki sistemde elde edilen sertlik-derinlik grafiği.

### 3.9. KARBÜRSÜZ BEYNİTİK ÇELİKLERİN ÜRETİMİ

Aşınmaya ve yorulmaya dirençli mikroyapısı gerekli olarak karbitsiz beynitik çelik ürünlerinin üretim metodu. Bu metot kompozisyonu 0,05-0,50 karbon, 1,00-3,00 silikon ve veya alüminyum, 0,50-2,50 manganez ve 0,25-2,50 kromdan oluşan, demir ve istenmeyen impruteler dengeli ve kontinü dökümle dökülmüş, sıcak haddelenmiş çelik kullanılarak oluşan bir metottur.



Şekil 3.16. Sertlik dağılımı.



Şekil 3.17. Elde edilen iç yapı.

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Demiryolu üzerinde rayların performansı konusunda talep, trenlerin daha fazla hız yapabilmesi ve yük trenlerine daha fazla yük yüklenebilmesi üzerinedir. Rayın mantarının sertleştirilmesi işlemi, demiryolu rayının mekanik özelliklerini (sertlik v.b.) iyileştirerek demir yolu ömrünü uzatan ekonomik ve etkili yöntemdir. Bu çalışmada R260 kalite demiryolu tren rayının mantarının sertleştirme ısıl işlem parametrelerinin belirlenmesi ve sonuçta R350 HT kalite ray özelliklerine ulaşılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan R260 kalite tren rayı bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca standarda göre sertliği 260 HB olan bu rayın diğer mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. R260 kalite tren rayının kimyasal kompozisyonu.

Alaşım elementleri (%)													
C	Mn	Si	S	P	N	Al	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Sn
0,72	1,06	0,38	0,008	0,02	53	0,0015	0,04	0,37	0,65	0,0041	0,0044	0,038	0,001

Çizelge 4.2. R260 kalite tren rayının mekanik özellikleri.

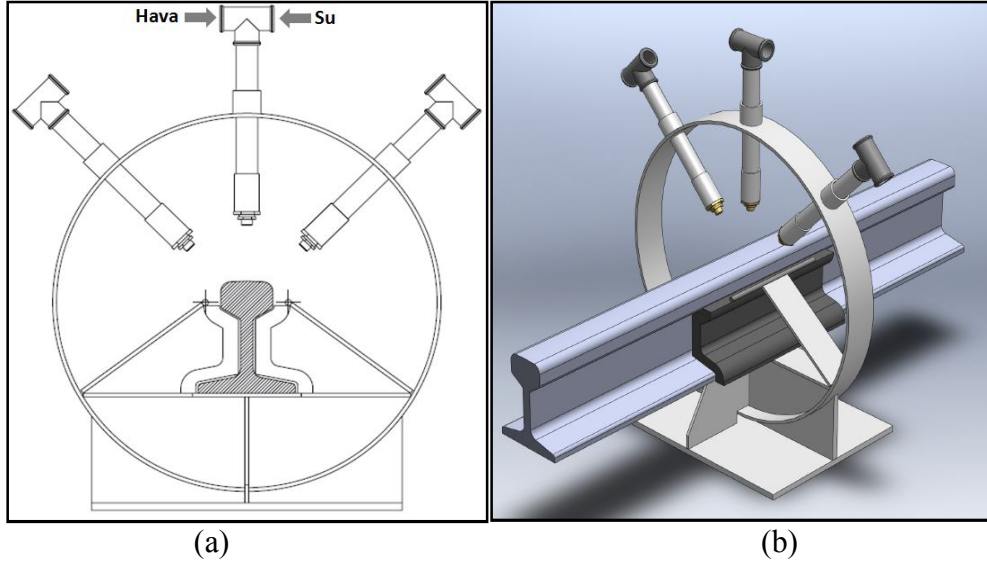
Çekme mukaveti (MPa)	1300
Uzama (%)	13,5
Kırılma tokluğu (MPa)	43

Bu çalışmada mantar sertleştirme ısıl işlemi hızlandırılmış su verme olarak anılacaktır. Hızlandırılmış su verme işlemi için R 260 kalite tren raylarından yaklaşık

55 mm uzunluğunda ray dilimleri hazırlanmıştır. Mantar sertleştirme ısıl işlemi iki ayrı çalışma altında yapılmıştır; ön çalışma ve deneysel çalışma.

#### **4.1. HIZLANDIRILMIŞ SU VERME SİSTEMİNİN TASARIMI**

Soğutma sisteminin kesit ve sıralı seri hali Şekil 4.1’de verilmiştir. Su verme sistemi tasarlanırken amaç, soğutucunun (su ve/veya su+hava karışımının) ray mantarının istenilen bölgesine (55 mm uzunluğuna) belirli bir basınç ve debide verilmesini sağlamaktır. Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi soğutma sisteminde soğutucu rayın mantar kısmını soğutmakta, rayın Web (sac) ve ayak kısmına temas etmemektedir. Soğutma sisteminde rayın mantar yüzeyine soğutucunun pulverize halde verilmesi için özel Nozule kullanılmıştır. Nozul soğutucunun çıkış kanal çapı 2,5 mm’dir. Su ve hava basıncı eşittir ve 5 bar olarak seçilmiştir. Su ve hava ayrı ayrı hortumlardan gelmektedir. Su ve hava birlikte verildiklerinde geri besleme meydana gelmemesi için birleşme noktaları öncesinde hem su hem de hava hortumlarına çek walf bağlanmıştır.



Şekil 4.1. Mantar sertleştirme işleminde kullanılan soğutma sisteminin a) kesitten, b) tasarım ve c) imalat görüntüsü.

Nozulun ray mantarına olan uzaklığı 60 mm ve 125 mm olarak seçilmiştir. Yalnızca su ve su + hava karışımının debisi sırasıyla 4,3 ve 3,6 l/dk olarak ölçülmüştür.

#### 4.2. HIZLANDIRILMIŞ SU VERME ISIL İŞLEMİ VE MANTAR SERTLEŞTİRME

R260 kalite tren rayından mantar sertleştirme işlemi neticesinde R350 HT tren rayı elde etmek için uygulanacak ısıtma işlem parametreleri belirlenirken rayın hadde çıkış sıcaklığı ve literatür taraması dikkate alınarak ostenitleme sıcaklığı değişken olarak seçilmiştir. Ostenitleme sıcaklığı ön çalışmalarda 900 °C ve nozulun mantara olan uzaklığı 60 mm olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda nozulun mantara

uzaklığı 125 mm ve ostenitleme sıcaklıkları 800 °C, 850 °C ve 900 °C olarak tespit edilmiştir. Hızlandırılmış soğutma süreleri ön çalışmalarda 60 sn iken deneysel çalışmalarda 10, 20 ve 30 sn dir.

Ayrıca rayların mantar kısmının sertleştirilmesi amacıyla ön çalışmalarda suya daldırma işlemide yapılmıştır. Daldırma ortamları olarak işlem görmemiş su ve % 3 oranında bor yağı ilave edilmiş su kullanılmıştır.

55 mm uzunluğunda ray numunelere ostenitleme ısıl işlemi Proterm (Şekil 4.2) marka ısıl işleminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Proterm marka ısıl işlem fırını.

### 4.3. NUMUNE HAZIRLAMA

Raydan 55 mm uzunluğunda dilimler çıkartmak ve ısıl işlem sonrası ray diliminin uzunlamasına dik kesitinin ortasından numune çıkartmak için ısı artışına sebep olmayan şerit kesme makinesi ve/veya diskaton (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4) kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Uzay makine uzay 350 model 350 mm ye kadar kesme çaplı tip SO 350 kesme cihazı.



Şekil 4.4. Struers discotom-6 numune kesme cihazı.

Kesme işlemi gerçekleştirilen numuneler daha sonra Şekil 4.5’de gösterilen Struers cito pres-10 cihazında bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler önce sırasıyla 120 -1200 numara aralığındaki silisyum karbür zımparalardan geçirilmiştir. Keçede parlatıldıktan (Şekil 4.6) sonra % 2’lik Nital ile yüzeyleri dağlanmıştır.





Şekil 4.5. Struers cito pres-10 bakalit alma cihazı.



Şekil 4.6. Struers tegrapol 21 otomatik parlatma cihazı.

#### 4.4. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

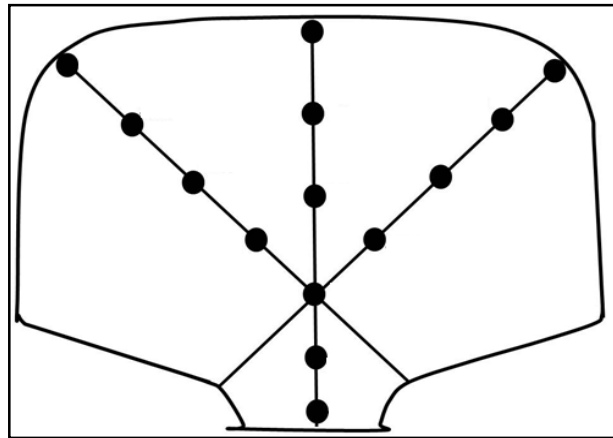
Metalografik olarak hazır hale getirilen numunelerin mikroyapı çalışması Şekil 4.7'de gösterilen Laboratuar tip Nikon eclipse MA 200 marka metal mikroskobunda yapılmıştır. Sıcak haddeden çıkmış ve mantarı sertleştirilmiş tren rayı numune yüzeyinden, yüzeyinin 10 mm ve 20 mm altından 500 ve 1500 büyütmelerde mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.



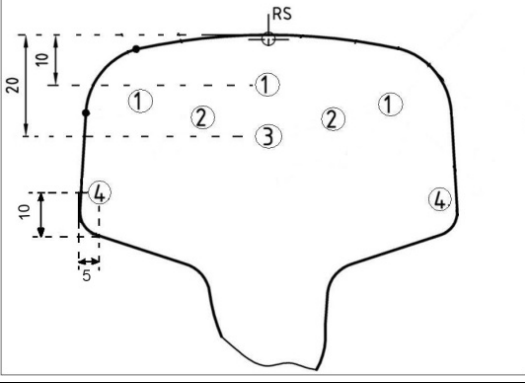
Şekil 4.7. Laboratuvar tip Nikon eclipse MA 200 metal mikroskobu.

#### 4.5. SERTLİK DENEYİ

Sıcak haddeden çıkmış ve mantar sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiş ray numuneler üzerinde gerçekleştirilen sertlik ölçüm noktaları ön çalışma ve deneysel çalışma için sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’de gösterilmiştir. Ön çalışma sertlik ölçümleri, mantarın üst orta kısmından, mantarın sağ ve sol yan tarafında mastar köşelerinden içe doğru birer cm aralıklarla yapılmıştır. Deneysel çalışma sertlik ölçümleri ise EN 13674-1:2003 (E) standardına göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8. Ray kesiti üzerinde ön çalışmalarda sertlik ölçümü yapılan noktaların gösterimi.

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

Şekil 4.9. Ray kesiti üzerinde deneysel çalışmalarda sertlik ölçümü yapılan noktaların gösterimi.

Sertlik değerleri, Zwick/Roell marka universal sertlik ölçüm cihazı ile 187,5 kg yük altında 2,5 mm'lik bilye ile Brinell cinsinden ölçülmüştür (Şekil 4.10).

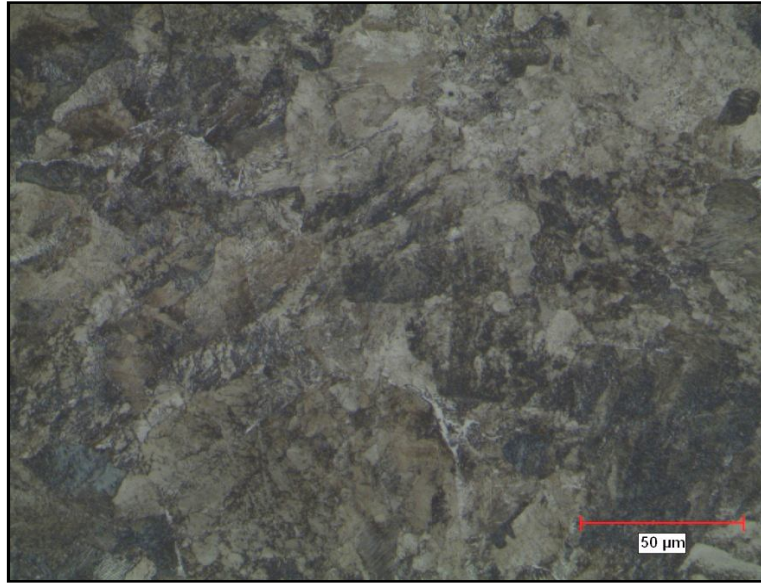


Şekil 4.10. Zwick roell marka sertlik ölçme cihazı.

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Kimyasal bileşimi, Çizelge 4.1’de verilen rayın sıcak haddeleme sonrası rayın sertliği 290 HB iken optik ışık mikroskobu görünümü Şekil 5.1’de verilmektedir. Şekil 5.1 sıcak haddeleme ile üretilmiş ve işlem görmemiş rayların ötektoid perlitik mikroyapıya sahip olduğunu göstermektedir. Sıcak hadde sonrası ray numunesinin mikroyapısındaki tane boyutu yaklaşık 55-60  $\mu\text{m}$ ’dir.



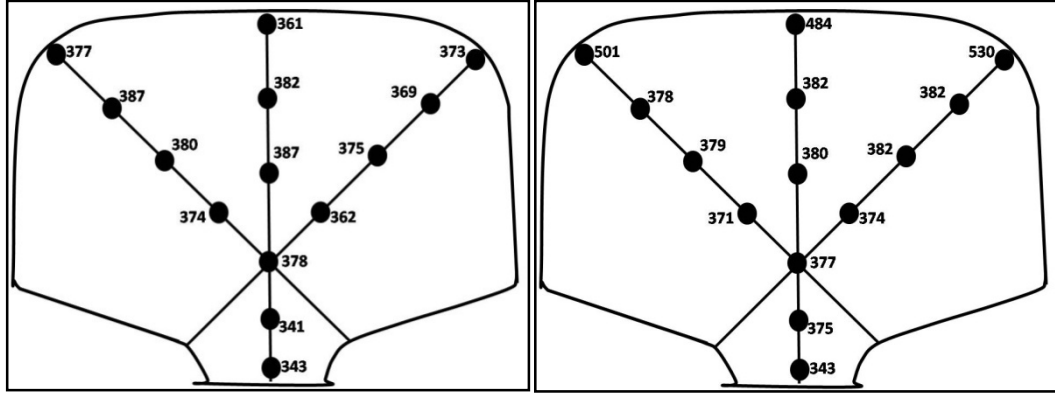
Şekil 5.1. İşlem görmemiş raya ait mikroyapı görünümü.

### 5.1. ÖN ÇALIŞMA SONUÇLARI

#### 5.1.1. Ön Çalışma Sertlik Ölçüm Sonuçları

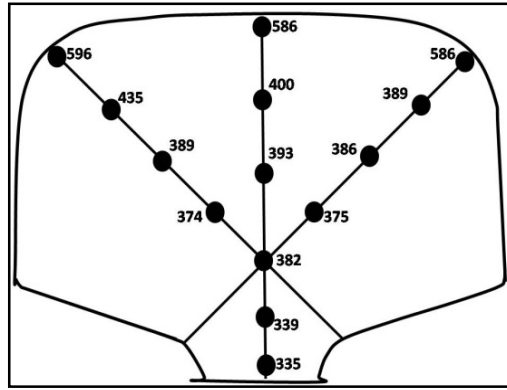
İşlem görmemiş rayın sertliği 290 HB iken yağda, % 3 bor yağ katkılı suda, daldırma ve su püskürterek mantarı sertleştirilmiş rayların sertlikleri, Şekil 5.2’de verilmiştir.

İncelenen raylar arasında en yüksek sertlik, mikroyapı sonuçları ile uyumlu olarak püskürtme uygulanmış rayın üzerinde (650 HV) elde edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise yağda daldırılmış rayın üzerinde bulunmuştur.



(a)

(b)



(c)

Şekil 5.2. Sertlik Brinell cinsinden taraması: a) yağda daldırma, b) % 3 bor yağı katkılı Suda daldırma ve c) su püskürtme yöntemi ile sertleştirme ısıl işlemi uygulanmış rayların mantarında gerçekleştirilen sertlik taraması.

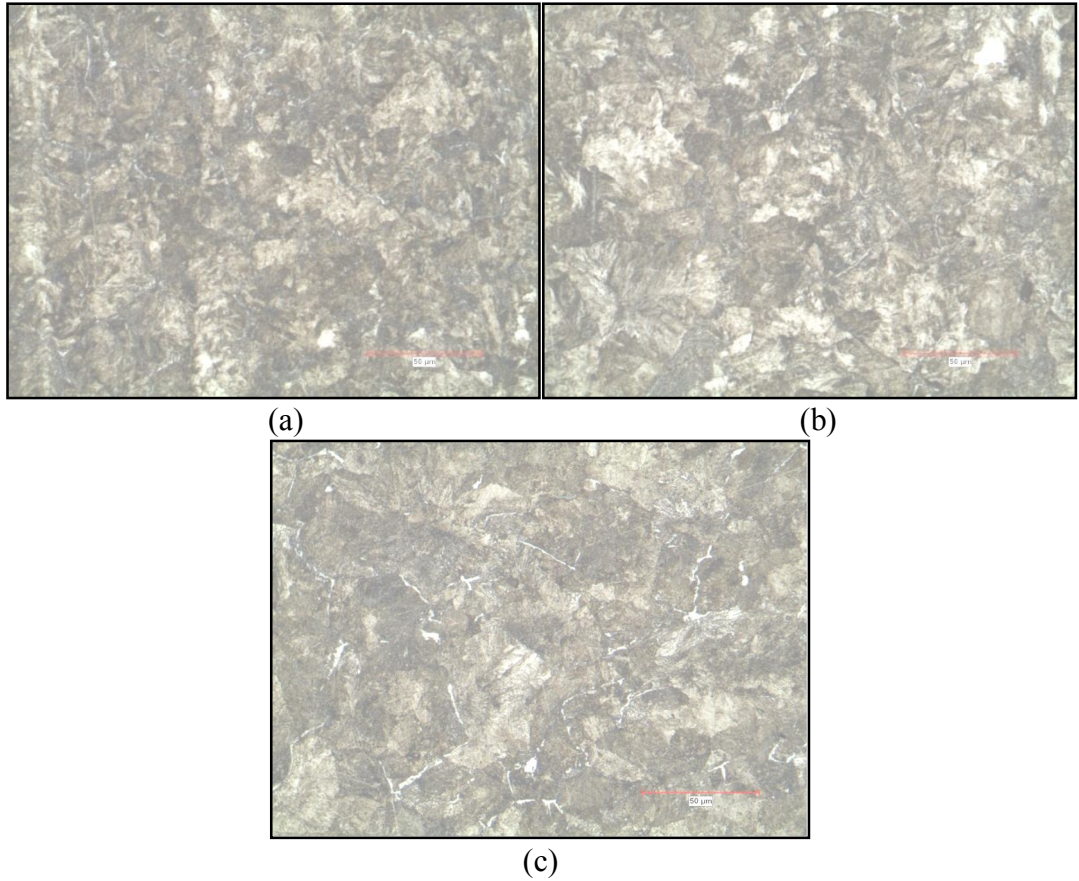
Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir (TCDD) Yollarının Dirillik Rayların Kabul şartlarına göre, ısıl işlem sonucu elde edilen sertlik değerleri yüksek çıkmıştır.

### 5.1.2. Ön Çalışma Mikroyapı Sonuçları

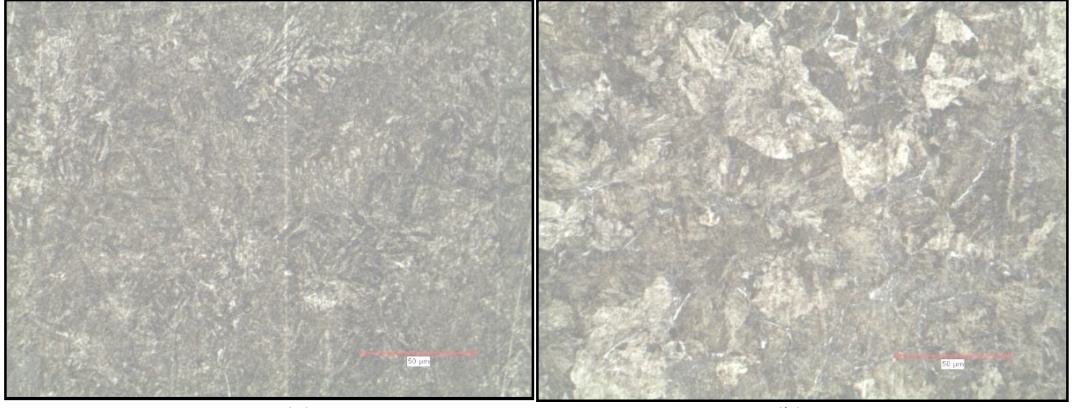
İncelenen rayların yağda, % 3 bor yağı katkılı suda daldırma ve su püskürtme ısıl işlemi sonrası mikroyapı görünüşleri sırasıyla Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de sunulmaktadır. Ön çalışma kapsamında ısıl işleme tabi tutulmuş numunelerin

mikroyapıları sıcak hadde sonrası elde edilen mikroyapıya kıyasla daha ince tanelidir. Tane boyutundaki incelme, yağda daldırma ısı işleminden su püskürtme ısı işlemine doğru artmaktadır. Yağda daldırma ısı işlemine tabi tutulmuş rayın tane boyutu 30-45  $\mu\text{m}$  aralığında iken su püskürtme ısı işlemine tabi tutulmuş numune ise 25-35  $\mu\text{m}$  aralığında tane boyutuna sahiptir. % 3 bor yağı katkıli suda daldırma ve su püskürtme uygulanmış rayların üzerindeki mikroyapıları karşılaştırıldığında % 3 bor yağı katkıli suda daldırma ısı işlemi uygulanmış rayın üzerindeki mikroyapısı su püskürtme ısı işlemi uygulanmış rayinkine kıyasla daha kabadır.

Sertlik sonuçlarına ve mikroyapı sonuçlarına dayanarak ön çalışmada yağda, % 3 bor yağı katkıli suda daldırma ve su püskürtme ısı işlemine tabi tutulmuş numunelerin yapısı perlitik olduğu düşünülmektedir.

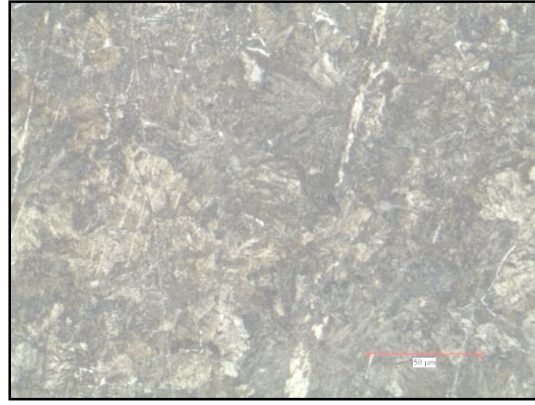


Şekil 5.3. Yağda daldırma ısı işlemi uygulanmış rayın a) üst, b) orta ve c) alt kısmına ait mikroyapı görünümü.



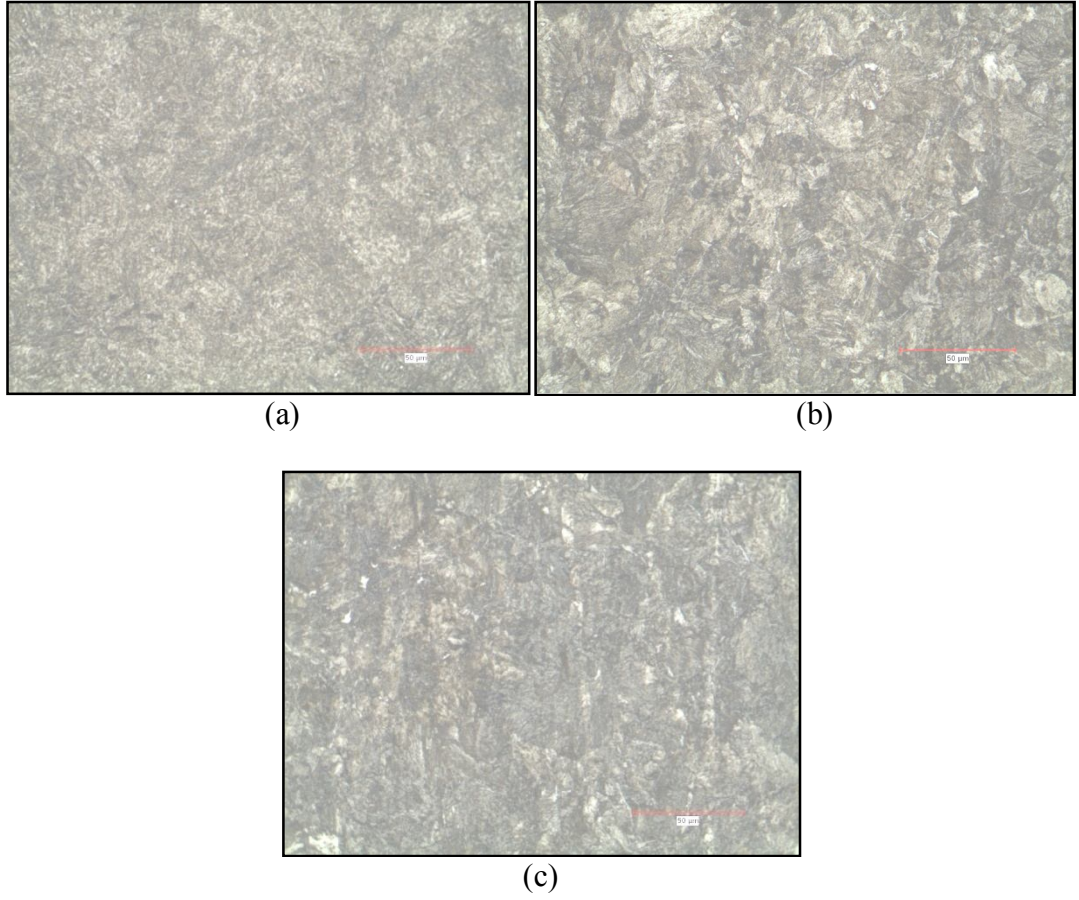
(a)

(b)



(c)

Şekil 5.4. % 3 bor yağı katkılı suda daldırma ısıl işlemi uygulanmış rayın a) üst, b) orta ve c) alt kısmına ait mikroyapı görünümü.



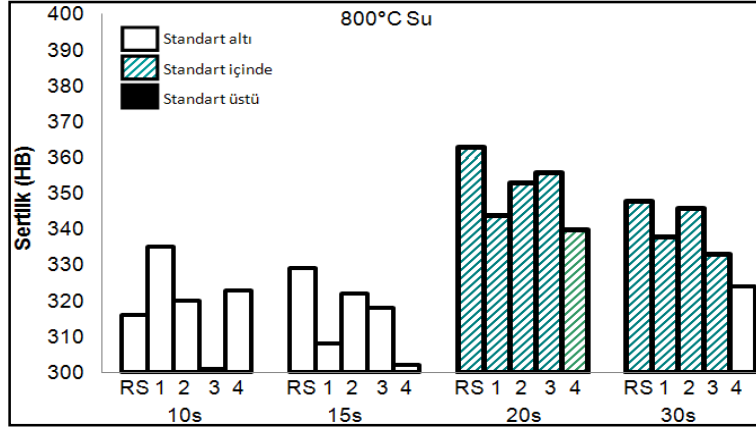
Şekil 5.5. Su püskürtme ısıt işleminin uygulanmış rayın a) üst, b) orta ve c) alt kısmına ait mikroyapı görünümü.

## 5.2. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

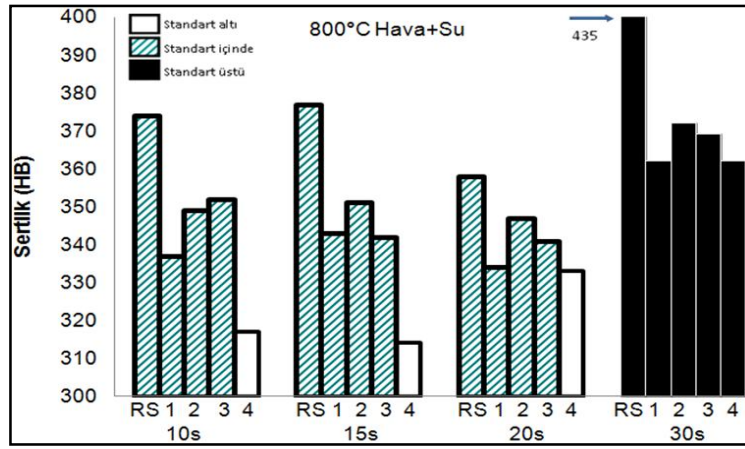
### 5.2.1. Deneysel Çalışma Sertlik Sonuçları

EN 13674-12003+A12007 standardına göre deneysel çalışmada yüzey sertleştirmeye tabi tutulmuş rayların EN 13674-12003+A12007 göre sertlik ölçüm sonuçları Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir. Düşük sıcaklıklarda kısa süre içinde gerçekleştirilen su püskürtme ısıt işleminin ile EN 13674-12003+A12007 standardına ulaşılırken sıcaklık arttıkça standardın gerektirdiği sertlik değerlerine ulaşmak için püskürtme süresi artmaktadır. 800 °C de su püskürtme ısıt işleminin uygulandığında 20 saniyede standart sertliklerine ulaşılırken 900 °C de 30 saniye süreyle su püskürtme uygulandığında standart sertlikleri elde edilmiştir.





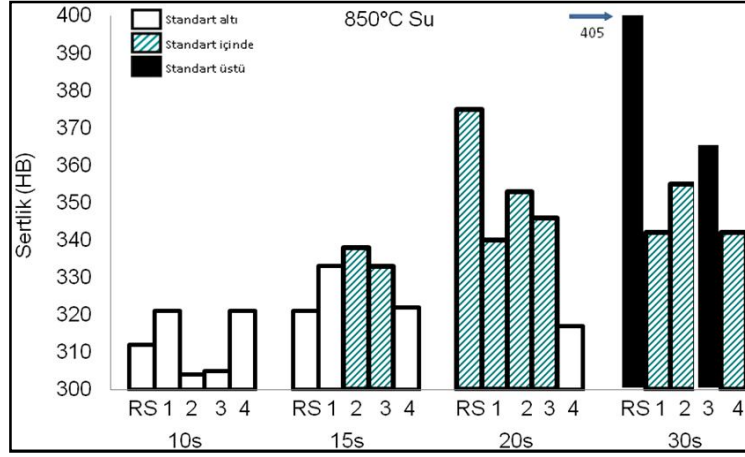
(a)



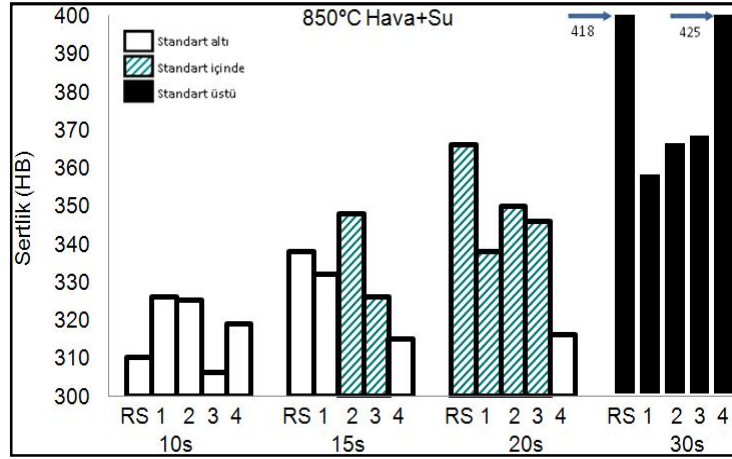
(b)

Şekil 5.6. 800 °C de 10, 15, 20 ve 30 saniyeyle a) su ve b) su + hava püskürterek sertleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden itibaren EN 13674-12003+A12007 göre sertlik taraması.

Hızlandırılmış ısıtma işleminde suyun yerine soğutucu olarak su + hava karışımı kullanıldığında sertleşme süresi daha da kısalmıştır. 800 °C’de 10 saniye su + hava püskürterek standarda uygun sertlik değerleri ölçülürken 900 °C’de standarda uygun sertlik değerleri 30 saniyede elde edilmiştir.



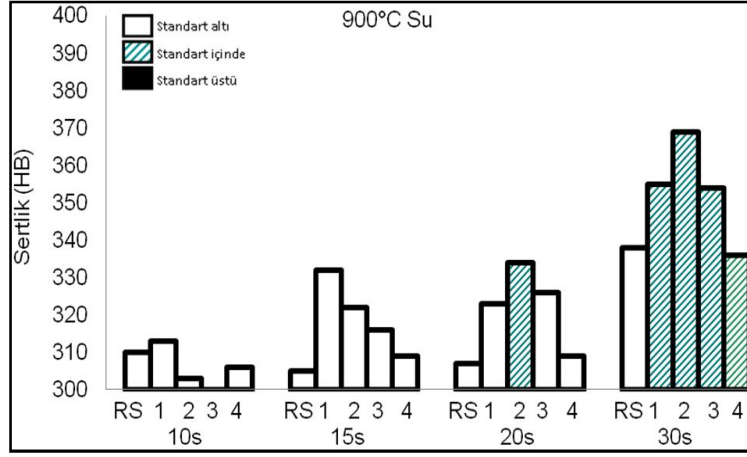
(a)



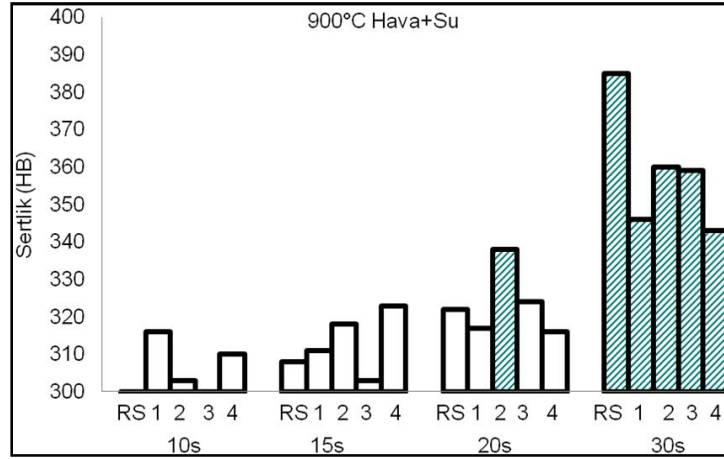
(b)

Şekil 5.7. 850 °C de 10, 15, 20 ve 30 saniyeyle a) su ve b) su + hava püskürterek sertleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden itibaren EN 13674-12003+A12007 göre sertlik taraması.

Düşük ostenitleme sıcaklıklarında gerçekleştirilen hızlandırılmış sertleştirme ısıl işlemi daha yüksek soğutma hızı sağlamak ve standarda uygun sertlik değerlerine daha kısa sürelerde ulaşılmaktadır. Yüksek ostenitleme sıcaklıkları ise hem standart sertlik değerlerine ulaşmak için zaman almakta hem de rayın sıcaklığını daha yüksek sıcaklığa çıkarmak için daha fazla enerji harcattırmaktadır.



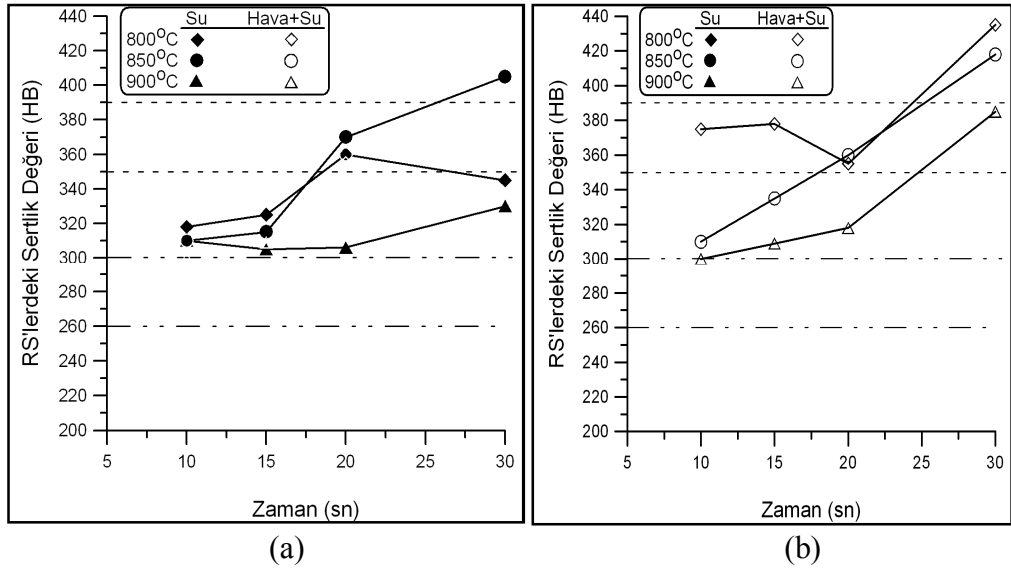
(a)



(b)

Şekil 5.8. 900 °C de 10, 15, 20 ve 30 saniyeyle a) su ve b) su + hava püskürterek sertleştirme işlemine tabi tutulmuş numunelerin yüzeyden itibaren EN 13674-12003+A12007 göre sertlik taraması.

Şekil 5.9, ray yüzeyinde ölçülen sertlik değerlerinin soğutma süresine göre değişimini vermektedir. Hava + su, suya göre daha yüksek sertlik artışına sebep olurken 800 ve 850 °C’lerde standartta istenen değerin üzerinde sertlik ölçümü elde edilmiştir.



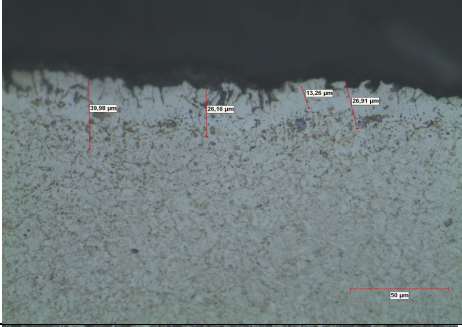
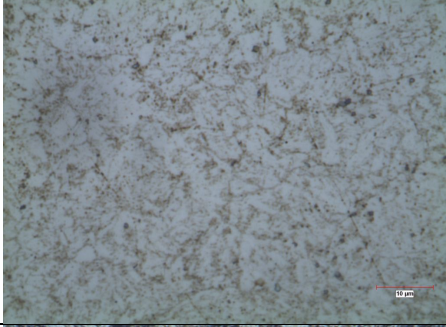
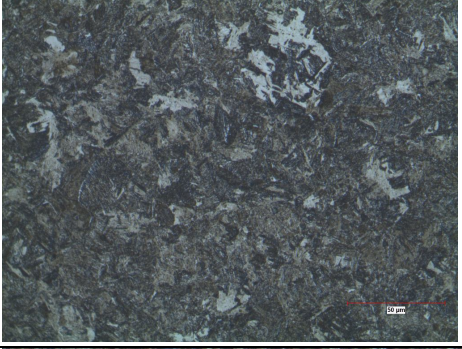
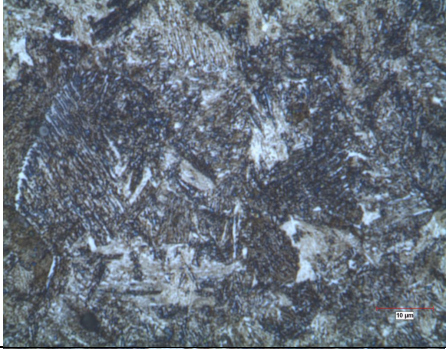
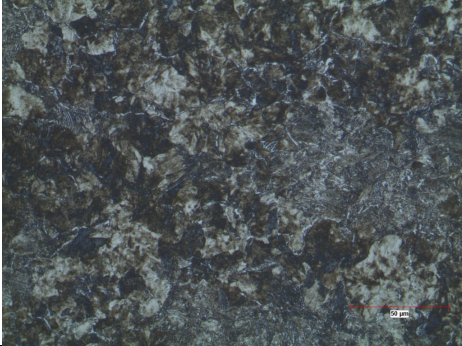
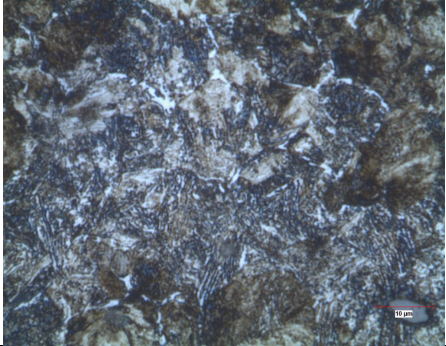
Şekil 5.9. Ray sertlik değişimi: a) su ve b) hava+su püskürtme süresi ile ray yüzeyindeki sertlik değişimi.

### 5.3. DENEYSEL ÇALIŞMA MİKROYAPI SONUÇLARI

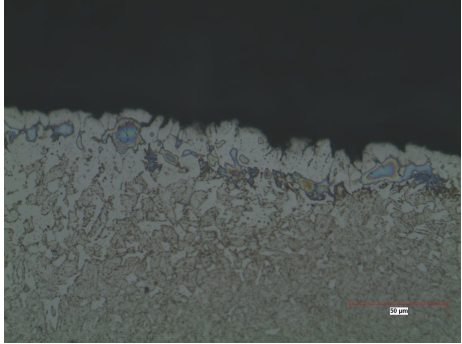
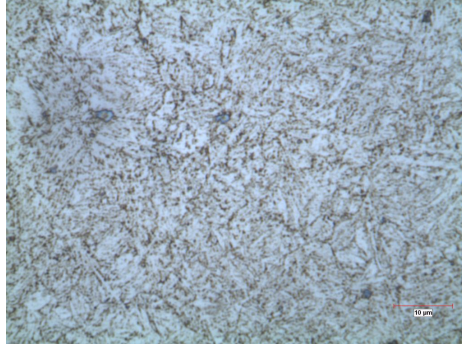
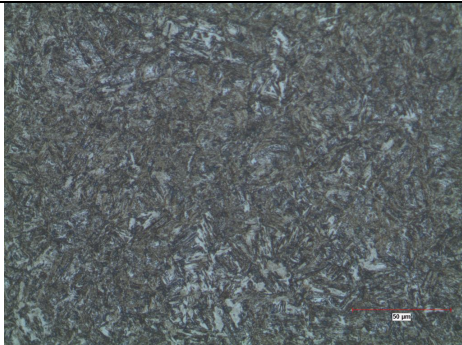
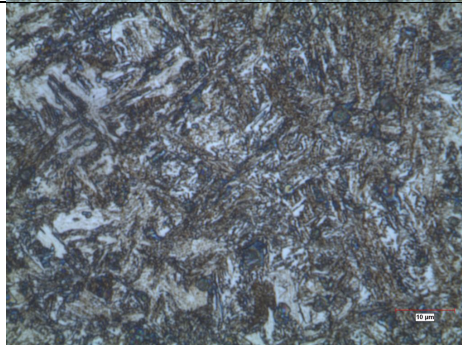
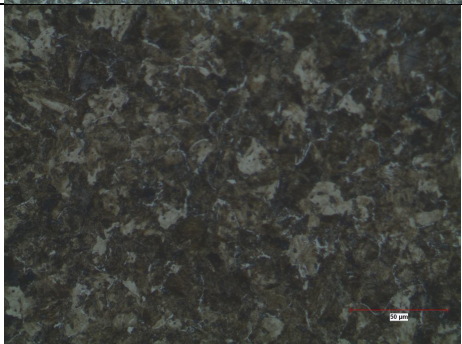

Deneysel çalışma kapsamında 800 °C’de ostenitlenmiş ray diliminin 10 sn ve 30 sn su püskürtme ısıtma işlemi sonrası elde edilen mikroyapı görüntüleri sırasıyla Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 800 °C’den 10 sn ve 30 sn su + hava karışımı ile püskürtme ısıtma işlemi uygulanan sertleştirilen ray numunelerin mikroyapı fotoğraflarını vermektedir. Mikroyapı fotoğrafları, rayın yüzeyinden, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altından çekilmiştir.

Yüzeyden çekilen mikroyapı fotoğraflarından dekarburizasyon tabaka kalınlığı 30-100 µm aralığında ölçülmüştür. EN 13674-1:2003 (E) standardı, ray malzemesinde 250 µm’ye kadar dekarburizasyon tabakasının kabul edildiğini belirtmektedir.

Çizelge 5.1. 800 °C'den 10 saniye su püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü.

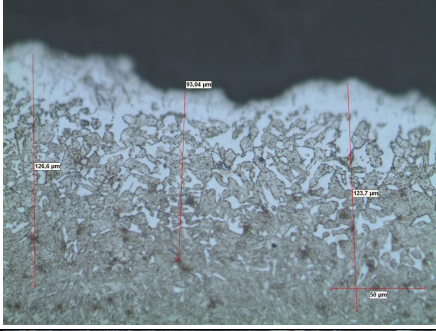
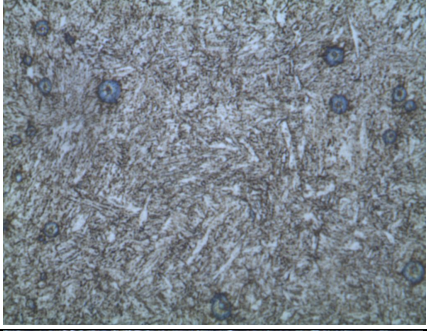
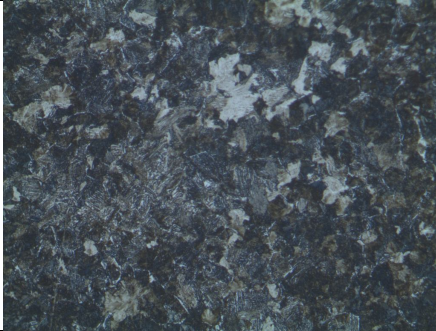
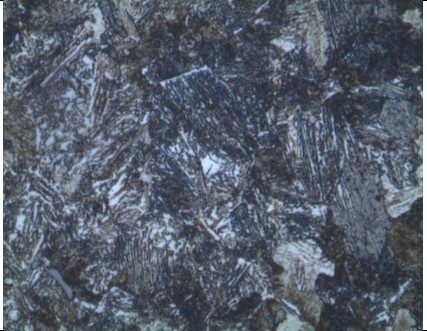
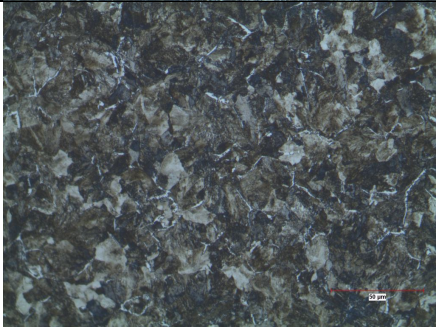
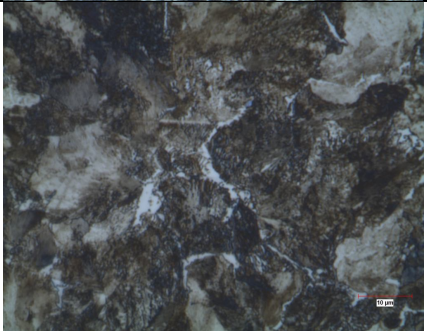
	Düşük Büyütme (500 x)	Yüksek Büyütme (1500x)
Yüzey (RS bölgesi)		
Yüzeyin 10 mm altı (1 numaralı bölge)		
Yüzeyin 20 mm altı (3 numaralı bölge)		

Çizelge 5.2. 800 °C'den 30 saniye su püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü.

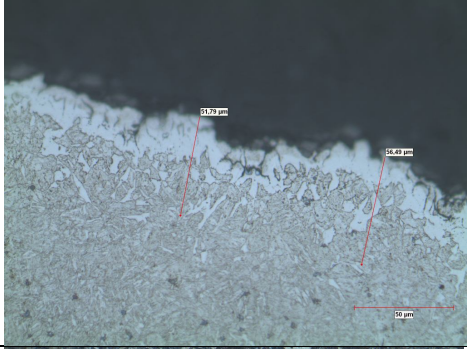
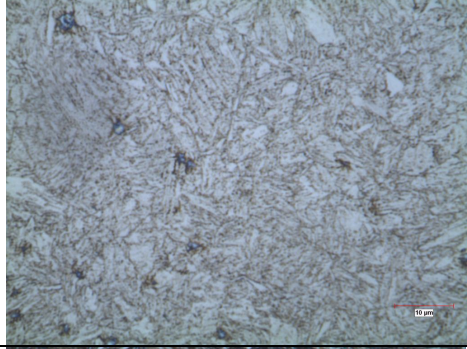
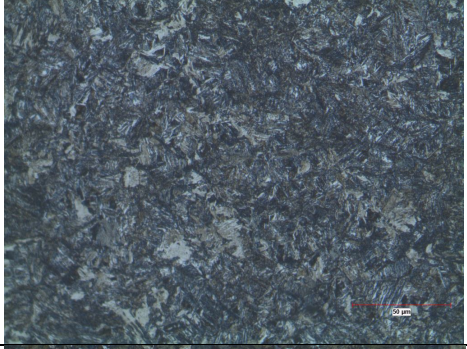


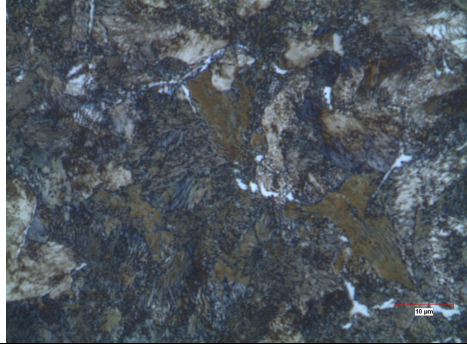
	Düşük Büyütme (500 x)	Yüksek Büyütme (1500x)
Yüzey (RS bölgesi)		
Yüzeyin 10 mm altı (1 numaralı bölge)		
Yüzeyin 20 mm altı (3 numaralı bölge)		

Gerek su gerekse su+hava püskürterek sertleştirme ısıl işlemi uygulanmış numune mikroyapıları, püskürtme süresi arttıkça tane boyutunun incelmesini göstermektedir. 800 °C de 10 sn su püskürtme sonrası tane boyutu 5-10 mikron aralığında iken su püskürtme süresinin artması ve su yerine su+hava karışımı kullanılması ile tane boyutu daha da incelmıştır.

Çizelge 5.3. 800 °C'den 10 saniye su + hava püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü.

	Düşük Büyütme (500 x)	Yüksek Büyütme (1500x)
Yüzey (RS bölgesi)		
Yüzeyin 10 mm altı (1 numaralı bölge)		
Yüzeyin 20 mm altı (3 numaralı bölge)		

Çizelge 5.4. 800 °C'den 30 saniye su + hava püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen rayın yüzeyinin, yüzeyin 10 mm ve yüzeyin 20 mm altındaki bölgenin optik ışık mikroskop görünümü.

	Düşük Büyütme (500 x)	Yüksek Büyütme (1500x)
Yüzey (RS bölgesi)		
Yüzeyin 10 mm altı (1 numaralı bölge)		
Yüzeyin 20 mm altı (3 numaralı bölge)		



## BÖLÜM 6

### GENEL SONUÇLAR

Sıcak haddeleme ile üretilmiş rayın sertliği 290 HB iken 900 °C de östenitlenmiş uygulanan üç farklı ısıl işlem sertliğinde iyileşme meydana gelmiştir. Yağa daldırma, % 3 bor yağı katkılı suda daldırma ve su püskürtme ısıl işlemi uygulanmış rayın sertliği sırasıyla 361 HB, 484 HB ve 586 HB olarak ölçülmüştür.

Yağda, % 3 bor yağı katkılı suda ve püskürtme ısıl işlem sırasına göre mikroyapıda incelme meydana gelmiştir. Yağda ısıl işlemde, su püskürtme ısıl işlemine doğru mikroyapıda tane boyutu 25-45 mikro metre aralığında değişmiştir.

900 °C de östenitlenmiş rayın 60 sn için yağda, % 3 bor yağı katkılı suda ve su püskürtme ısıl işlemi sonrası sertlik değerleri EN 13674-12003+A12007-standardına göre fazla çıkmıştır.

800 °C, 850 °C ve 900 °C östenitlenen rayları 10-30 saniye için su püskürtme ısıl işlemi sonrası sertlikleri, belirli bir sıcaklık için süre arttıkça artmıştır. Aynı koşullar altında su+hava püskürtme ısıl işlemi sonrası sertlik değerleri, belirli sıcaklık ve süre için, su püskürtme ısıl işlemine kıyasla artmıştır.

800 °C de östenitlenmiş rayın 10 ve 30 sn su ve su+hava püskürtme ısıl işlemi sonrası elde edilen mikroyapı incelemelerinden tane boyutunun 10 mikronun altına düştüğü ortaya çıkmıştır.

800 °C 10 sn su+hava püskürtme ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değeri EN 13674-12003+A12007 standardını sağlarken 900 °C de standarda uygun sertlik değeri 30 sn de elde edilmiştir.

EN 13674-12003+A12007 standardının kabul ettiği dekarbürizasyon kalınlığı 250 mikron iken testi yapılan raylarda 50 mikronun altında dekarbürizasyon derinliği ölçülmüştür.

## KAYNAKLAR

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

14. Kalousek, J., Fegredo, D. and Laufer E., "Proc. int. conf. on wear of materials" *Vancouver, B.C*, 2: 212-231 (1985).
15. Lichtberger Dr. B., "Track Compendium" *Hamburg Printed in Germany*, 17: 200-250 (2005).
16. Inchinose, H. and Takahara, J., "An investigation on contact fatigue and wear resistance behaviour in rail steel" *Proc 1st. Int. Heavy Haul Conf.*, Australia, 307: 1-10 (1978).
17. Wu, J. and Shih, P., "Dynamic responses of railway and carriage under high-speed moving loads" *Journal of Sound and Vibration*, 236: 61-78 (2004).
18. Economopolous, M. and Lambert, N., "A New Process For In -Line Head Hardening of Rails: Part 1- Metallurgical and Thermal and Principles of the Process" *Mechanical Working and Steel Processing Proceedings*, 21: 143-152 (1990).
19. Brantfitt, B. L., "Advanced In Line Head hardening of Rail" *Research Department, Bethlehem Steel Corporation. R.L Cross and D. P. Wirick Pennsylvania Steel Technologies*, Pennsylvania, 15: 20-30 (1994).
20. Pan, A.V. and Shumilin E.N., "Production of wear -resistans rail at the ntmk" *Tagil Iron and Steel Plant*, 40: 21-25 (1994).
21. Steele, R.K, Joerms, M.W. and Moyer, G.J., "Plastic deformation of rail road rail" *AAR Report R*, 833: 15-19 (1993).
22. Torun, A., "Ray Haddeleri Gelişim Süreci ve Teknolojisi Araştırma Raporu" *Kardemir*, 5-12 (2003).
23. Boer, H., Masumoto, H., "Niobium in Rail Steel" *Dinslaken* , Germany, 48-61 (2002).
24. Perlman, A.B. and Gordon, J.E., "Effect of Grinding Strategy on Rasidual Stressin the Rail Head" *International conference on Rail Quality and Maintance for Modern Railway Operation Ed. J.j. Kalker D.f. Cannon, Kluver Academic Publisher*, 55: 10-18 (2001).
25. Tüvasaş, İTÜ, Tübitak, "Raytaş 89" *Ulaşımında Raylı Taşıt Sempozyumu*, Sakarya, 12: 51-58 (1989).
26. Le, H. and Clayton, P., " A Statistical Analysis of the Oxide Content of Rail Stell" *Oregon Graduate Institute of Science Technology Rail Steels Symposium Proceedings*, 48: 67-75 (1994).
27. Olofson, U. and Telliskvi, T., "Wear and Plastic Deformation of Two Rail Steels – Full Scale Test and Laboratory Study" *Department of Machine Design*, Sweden, 60: 44-58 (2004).

28. Lhe, D., Lang, K.H. and Vhringer, O., "Residual Stresses and Fatigue Behavior" *ASM International Materials Park*, 51: 27–53 (2002).
29. Bramfitt, B. L., "Accelerated cooling of rail," *Iron and Steelmaker*, 18: 33-41 (1991).
30. Berber, Y., ztuyak, ., rs, F. ve Kalaycıoğlu, O., "Kardemir'de Ray retimi" *3. Demir –elik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Karabük, 3: 15-18 (2005).
31. Hodson, W.H., "Metallurgical Aspect of Rail Selection" *Track Sector Course*, 8: 3-5 (1989).
32. İmer, C.S., "Kardemir rneđinde elik retim Metodları Arası Bir Karşılaştırma" *1. Demir –elik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Karabük, 1: 973-985 (2001).
33. Kardemir A.ř., "Haddehaneler Mdrlđ Hizmet İi Eđitim Notları" *Kardemir A.ř, Karabük*, 2: 10-15 (2000).
34. Kardemir A.ř., "Kalite Ynetim Mdrlđ Hizmet İi Eđitim Notları", *Kardemir A.ř, Karabük*, 3: 5-12 (2000).
35. Takeda, Y., "Rails" *Nippon Steel Corporation*, Tokyo, 83: 1-12 (1989).
36. Brooks, C.R., "Metallography and Microstructures", *ASM Handbook*, 88: 30-39 (1988).
37. United States Patent, "Cyclic heat treatment for controlling grain size of superalloy castings" Patent no: 5,302,217, *United States Patent*, Date of patent: Apr 12, (1994).
38. Boyer, H.E., "Casting and Properties of Steels", *Metals Handbook*, 120: 25-38 (2000).
39. Brooks, C.R., "Heat Treatment of Steels", *ASM Handbooks*, 140: 3-19 (1991).
40. Eker, B., Tařeri, L. ve Günaydın, L. "Makine Tasarımı El Kitabı" *Trakya Üniversitesi Yayınları*, Tekirdađ, 7: 214-220 (1994).
41. Baydur, G., "Malzeme Bilgisi" *Milli Eđitim Bakanlığı Yayınları*, Ankara, 18: 55-66 (1979).
42. Yalm, H. ve Gr, M., "Malzeme Bilgisi" *Palme Yayıncılık*, Ankara, 15: 203-205 (2002).
43. Bramfitt, B. L., "Accelerated cooling of rail," *Iron and Steelmaker*, 18: 33-41 (1991).

44. Bouse, G.K., Bernstein, I.M. and Stone, D.H., "Role Of Alloying And Microstructure On The Strength and Toughness Of Experimental Rail Steels" *American Society For Testing and Materials, Philadelphia*, 250: 145-161 (1978).
45. Singh, U.P., Singh, R. and Jha, S., "Influence of microalloying on fracture toughness and wear resistance of rail steel" *Scand. J. Metall.*, 24: 180-186 (1995).
46. Cramer, R.E., "American Railway Engineering Association" *Area Proceedings*, 50: 537-539 (1949).
47. Stone, D.H. and Steele, R.K., "The Effect Of Mechanical Properties Upon The Performance Of Railroad Rails" *American Society for Testing and Materials*, 250: 21-47 (1978).
48. Brantfitt, B.L., "Advanced In Line Head hardening of Rail" *Research Department, Bethlehem Steel Corporation. R.L Cross and D. P. Wirick Pennsylvania Steel Technologies*, Pennsylvania, 60: 20-30 (1994).
49. Prabhudev, K.H., "Handbook of Heat Treatment of Steels" *Tata Mgraw Hill Offices*, US, 70: 107-114 (2000).
50. United States Patent, "Method for the production of improved railway rails by accelerated cooling in line with the production Rolling mill" Patent no: 4,486,248, *United States Patent*, Date of patent: Dec 4, (1984).
51. De Boer, H., Bienzeisler, H., MÜsgen, B., Schmedders, H. and Wick, K., "Verbesserung des betriebsverhaltens von eisenbahnschienen durch feinerlitisieren des schienekopfes" *Stahl Eisen*, 112: 101-107 (1992).

## ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin KOYMATCIK 1985 yılında Karabük'te doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2003 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde öğrenime başlayıp 2008 yılında mezun oldu. 2009 yılında Kardemir Karabük DÇ. fabrikasında mühendis olarak göreve başladı. Aynı yıl Karabük Üniversitesi fen bilimleri enstitüsünde yüksek lisansa başladı. Halen Kardemir Karabük demir çelik fabrikasında kalite temin ve denetim mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Kardemir A.Ş.  
Kalite yönetim müdürlüğü  
Fabrika mah./KARABÜK

Tel: (544)668 83 60

E-posta: hkoymatcik@kardemir.com