

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARDEMİR'DE RAY ÜRETİMİNDE
İYİLEŞTİRMELER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Osman KALAYCIOĞLU

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eşref AVCI**

Haziran 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARDEMİR'DE RAY ÜRETİMİNDE
İYİLEŞTİRMELER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Osman KALAYCIOĞLU

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Eşref AVCI**

**Bu tez 13 / 06 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu
ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr. Eşref AVCI
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr. Sakin ZEYTİN
Üye**

**Doç. Dr. Kenan GENEL
Üye**

ÖNSÖZ

Yüksek öğrenim hayatımın başlangıcından bugüne kadar lisans ve yüksek lisans çalışmalarımın her kademesinde bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Eşref AVCI'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Gerekli doküman ve kaynak temininde ve engin bilgileriyle yönlendiren Kardemir A.Ş. Haddehaneleri Müdürü Sayın Yusuf BERBER Beye ve Haddehane Mühendisleri Ünal ÖZTUYAK ve Ferhat ÖRS Beylere teşekkür ederim. Ayrıca, deneyleri yapmamda yardımlarını esirgemeyen Kalite Kontrol Mühendisi Figen DİKİLİTAŞ Hanıma, Etüd-Proje Baş Mühendisi İsa ÜNLÜ ve Hakan ÜNAL Beylere ve Erdemir Ar-Ge Müdürü Yılmaz KARAKAŞ ve Ziya ASLANOĞLU beylere ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimi sırasında maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fevzi YILMAZ Beye şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLOLAR LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KARDEMİR'İN TANITIMI.....	2
2.1. 3 Nisan 1937.....	2
2.2. Özelleştirme Süreci.....	3
2.2.1. Özelleştirme sonrası.....	4
2.3. Kardemir'in Modernizasyonu.....	5
2.3.1. Çelik sektöründeki gelişmeler ve Kardemir.....	6
2.3.2. Kardemir'in yatırım çalışmaları	7
2.3.3. Yatırım hedefleri	8
2.4. Kardemir'in Ana Üniteleri.....	9
2.4.1. Çelikhane müdürlüğü.....	9
2.4.2. Yüksek fırınlar.....	10

BÖLÜM 3.

METALLERİN HADDELENMESİ	11
3.1. Profili'nin Haddelenmesinde Temel İlkeler.....	12
3.1.1. Dikey sistemde haddeleme ilkeler.....	13
3.1.1.1. Haddeleme hızı	15
3.1.1.2. Profil ayaklarına etkiyen kuvvetler	15
3.1.1.3. Pasoda ezilme safhaları.....	17
3.1.2. Profil kalibrasyonunda genel ilkeler	18
3.1.3. Haddelemede kapma ve sürtünmenin mekanizma.....	19
3.2. Ana Tahrikler İçin Motor Tipleri.....	24
3.3. Kardemirde Haddehaneler.....	26
3.3.1. I.ve II. Haddehane (eski, 28" Trio Haddehane).....	26
3.3.2. Tav çukurları.....	27
3.3.3. Ara tav fırını.....	27
3.3.4. 28" Döo hadde	27
3.3.5. Kontinü haddehane.....	28

BÖLÜM 4.

KARDEMİR'DE RAY ÜRETİMİ

4.1. Rayın Tanımı ve Özellikleri.....	29
4.1.1. Ray malzemelerindeki gelişmeler	31
4.2. Ray Çeliği Üretim Metodları	37
4.3. Kardemir Haddehanelerinde Ray Üretimi	39
4.3.1. Ray haddelemesindeki gelişim süreci.....	40
4.3.2. Ray çeliğinin tavlanması.....	40
4.3.3. Rayın haddeleme süreci.....	41
4.3.4. Rayların soğuma şartları.....	44
4.3.5. Rayların doğrultulması.....	45
4.4. Rayın Haddelenmesinde Şekillendirme Parametreleri.....	45
4.4.1. Toplam ezme ve uzama miktarı.....	48
4.5. Ray Haddeleri Gelişim Süreci ve Teknolojisi.....	50
4.5.1. Indiana ray haddesi.....	50
4.5.2. Fukuyama Works ray haddesi.....	52

4.5.3. Rayların haddelenme metodları.....	54
4.5.3.1. Açılı haddeleme metodu.....	55
4.5.3.2. Üniwersal haddeleme metodu.....	55
4.5.3.3. Üniwersal haddenin konvansiyonel ray haddesine göre avantajları.....	56
4.6. Rayın Soğuması Sırasında Oluşan Reaksiyonlar.....	58
4.6.1. Ray çeliklerinde kırılma direncini artırmak için ısııl işlem seçimi.....	65
4.6.2. Mantar kısmının sertleştirilmesi.....	67
4.7. Rayların Isıl İşlemi.....	67
4.7.1. Off-line ısııl işlem metodu.....	68
4.7.2. In-line ısııl işlem metodu.....	69
4.8. Yeni Nesil Raylar.....	70
4.8.1. Sertleştirilmiş mantarlı raylar.....	71
4.8.1.1. Mekanik Özellikler.....	72
4.8.1.2. Isıl işlem görmüş tabakanın özellikleri.....	73
4.8.1.3. Mantarı sertleştirilmiş raylarda eğme yorulma mukavemeti.....	75
4.8.1.4. Aşınma direnci.....	76
4.8.2. Düşük alaşım mantarlı sertleştirilmiş raylar.....	78
4.8.3. Uçları sertleştirilmiş raylar.....	81
4.9. Kardemir'de Yeni Ray ve Profil Haddesi Fizibilitesi.....	83
4.9.1. Ray sektörünün yarınları adına tahminler.....	84
4.9.2. ABD Nucor Berkeley modern profil haddesi.....	85
4.9.3. Yeni kurulan haddenin mevcut hadde ile karşılaştırılması.....	87

BÖLÜM 5.

DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	89
5.1. Gerekçe ve Amaç	89
5.2. Deney Malzemeleri	91
5.3. Deneylerin Yapılışı	92
5.3.1. Sertlik Deneyi.....	94
5.3.2. Çekme Deneyi.....	94

5.3.3. İnküzyon Testi.....	95
5.3.4. Ağırlık düşürme (sadme) testi	95
5.3.5. Kükürt baskı testi (Baumann tipi).....	96
5.3.6. Mikroyapı analizleri	96
5.3.7. Çentik Darbe Deneyi.....	96
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	98
6.1. Çelikhane Numunelerinin Karakterizasyonu.....	98
6.1.1. Sertlik değerleri ölçümü	98
6.1.2. Çelikhane numunelerinin makro incelemeleri çekme ve uzama değerleri.....	100
6.1.3. Kükürt baskı deney sonuçları	102
6.1.4. Mikroyapı analizleri.....	106
6.1.5. İnküzyon ve sadme testi.....	109
6.1.6. Çelikhane numunelerinin değerlendirilmesi.....	110
6.2. Haddehanede Numunelerinin Karakterizasyonu	111
6.2.1. Havada Soğuma.....	111
6.2.1.1. Mekanik test sonuçları.....	112
6.2.1.2. Sertlik değerleri	114
6.2.1.3. Mikroyapı görüntülerinin incelenmesi.....	115
6.2.1.4. Çentik darbe mukavemeti.....	122
6.2.1.5. Baumann kükürt baskı deneyi.....	123
6.2.2. Suda Soğuma.....	125
6.2.3. Izgarada Soğuma	127
6.2.3.1. Mekanik Testler.....	127
6.2.3.2. Mikroyapı analizleri.....	130
6.2.3.3. Baumann kükürt baskı deneyi.....	135
6.2.4. XRD Sonuçları.....	136
6.2.5. Ağırlık düşürme (sadme) testi.....	139
6.2.6. Haddehane deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi.....	139

BÖLÜM 7.	
TARTIŞMALAR.....	142
7.1. Raylarda Mikroyapı Etkisi.....	143
7.2. Ray mikroyapısının iyileştirilmesi.....	146
7.3. Ray Sertliğinin Önemi.....	149
BÖLÜM 8	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	152
KAYNAKLAR.....	154
EKLER.....	160
ÖZGEÇMİŞ.....	164

SİMGELER VE KISALTMALAR

NP	:	Normal Profil
IPE	:	Hafif profiller
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
K _f	:	Malzemenin akma mukavemeti
ζ	:	Özgül deformasyon mukavemet katsayısı
L	:	Deformasyon işi
σ	:	Haddelemede gerilmeler
I/v, ,I/v'	:	Direnç momenti
A _o	:	İlk giriş (blum) alanı
A _f	:	Son çıkış alanı
BSD	:	Brinell sertlik değeri
BOF	:	Bazik oksijen fırın
C _k	:	Kapalı ayakta şekil değiştirme tepkisi
C _a	:	Açık ayakta şekil değiştirme tepkisi
Ø	:	Yarma açısı
μ	:	Sürtünme katsayısı
F _o	:	İlk paso alanı
F _n	:	"n" sayılı bir kalibrede son kesit alanı
P	:	Hadde yükü

M	:	Tork
K	:	Profil bölümlerinden birinin uzama sabitinin paso ortalama uzamasına oranı
λ_m	:	Paso uzama sabiti
λ_{aa}	:	Açık ayak uzaması
λ_k	:	Kaburga uzaması
k_f	:	Deformasyon için gerçekleşecek gerilim
λ_{ka}	:	Kapalı ayak uzaması
β	:	Genişleme sabiti
Γ	:	Yükseklik ezmesi sabiti
H	:	Ayak yüksekliği (Rytcl'e göre)
U_g	:	Uzama katsayısı
V	:	Ayak yüksekliği (Brovot'a göre)
DVMF	:	Alman malzeme araştırmacıları birliğinin keskin çentikli olmayan çentik darbe deney numunesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Haddelenmede malzeme üç eksenli hacimsel gerilmesi $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$...	11
Şekil 3.2.	Standart bir blum görüntüsü.....	14
Şekil 3.3.	Taslak malzeme için yarma işlemi.....	14
Şekil 3.4.	Profilin kaba hali.....	14
Şekil 3.5.	Bir I profil.....	14
Şekil 3.6.	Diagonal sistem paso şekilleri.....	14
Şekil 3.7.	Malzeme üzerine etkiyen kuvvetler.....	16
Şekil 3.8.	Haddelenme safhaları.....	18
Şekil 3.9.	Ck/Ca oranları ile yarma açısının değişimi.....	18
Şekil 3.10.	Kapma anındaki kuvvetlerin dağılımı (Kapma mümkün).....	21
Şekil 3.11.	Kapma anındaki kuvvetlerin dağılımı (Kapma mümkün değil)....	21
Şekil 3.12.	Hava boşluğu artarken kapma açısının küçülmesi	21
Şekil 3.13.	Merdane blumu kaparken toplam kuvvet eşitliği hali	22
Şekil 4.1.	Atalet momenti ve direnç momentinin (I/v , I/v') ağırlıkla değişimi.....	31
Şekil 4.2.	Çeşitli çelik türlerin hidrojen içerikleri.....	35
Şekil 4.3.	Rayın tezgah paso resimleri.....	43
Şekil 4.4.	Sıyırma yolluğu.....	44
Şekil 4.5.	Dik ve eğik sistem.....	47
Şekil 4.6.	Ön şekillendirme pasoları.....	47
Şekil 4.7.	Paso çeşitleri.....	47
Şekil 4.8.	Dik sistemde yerleştirmeler.....	47
Şekil 4.9.	İndiana ray haddesi lay out'u.....	50
Şekil 4.10.	Tongue-and-groove, Fiat veya slab-and-edging metodu paso dizaynı...	54
Şekil 4.11.	Çapraz (veya açılı) metodu paso dizaynı.....	55
Şekil 4.12.	Pohang Works Ray ve Profil Haddesi.....	56

Şekil 4.13.	Standart sistem ve üniversal sistemin karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.14.	Perlitin yapısı ve büyümesi (a) Karbon ve demirin yeniden dağılımı (b). Perlit lamellerinin mikroyapısı (x 2000)	58
Şekil 4.15.	Soğuma sırasında faz diyagramı ile ilişkili olarak ötektoidaltı ve ötektoidüstü çeliklerde mikroyapı oluşumu.....	60
Şekil 4.16.	Lameller arası mesafenin mekanik özelliklere etkisi.....	61
Şekil 4.17.	Perlitte lameller arası aralık üzerine östenit dönüşüm sıcaklığının etkisi.....	61
Şekil 4.18.	Yavaş soğutulmuş çeliklerde dayanımın,% Fe ₃ C, % Perlit ve karbon miktarı ile ilişkisi.....	62
Şekil 4.19.	Bir ötektoid çelik (%0.8 C) için izotermal dönüşüm (IT) diyagramı.....	64
Şekil 4.20.	Bir ötektoid çeliğinin çekme özellikleri üzerine dönüşüm sıcaklığının etkisi.....	65
Şekil 4.21.	Perlit fazının yapı içindeki oranına bağlı olarak aşınma oranı ve sertlik ilişkisi.....	68
Şekil 4.22.	Mantarı serleştirilmiş rayın mantar kısmı sertlik dağılımı (Brinell)	69
Şekil 4.23.	Isıl işlem sonrası mantarda sertlik dağılımı.....	73
Şekil 4.24.	Mantarda sertlik yüzeyden uzaklık ilişkisi.....	74
Şekil 4.25.	Mantarı sertleştirilmiş rayın mikroyapı analizleri.....	74
Şekil 4.26.	Raylarda bükme deneyi ve şartları.....	75
Şekil 4.27.	NHH rayların aşınma direncinin mukayesesi.....	76
Şekil 4.28.	Standart ray ile 0.84 C+0.05V rayların aşınma hızlarının karşılaştırılması	77
Şekil 4.29.	P 65 (a) ve yeni P 65 K (b) raylarının aşınmayı azaltıcı mantar ölçüleri	78
Şekil 4.30.	Alaşımli raylarda ısıl işlem görmüş ve sertleşmiş alan.....	79
Şekil 4.31.	Süper alaşımli sertleştirilmiş rayların yüzeyden 5 mm içerdeki mikroyapısı.....	79
Şekil 4.32.	Ray kesitinin sertlik dağılımı.....	80
Şekil 4.33.	Alaşımli NHH rayların aşınma direnci.....	80
Şekil 4.34.	ASTM NO'lara göre sıradan C ve NS II(Alaşımli) raylar.....	81
Şekil 4.35.	Sertliğin ray kesitinde ve boylamasına karşılaştırılması.....	82

Şekil 4.36.	Uç sertleştirilmiş rayların makro ve mikro yapı görüntüleri.....	83
Şekil 5.1.	DeneySEL akış şeması.....	90
Şekil 5.2.	Ray kesiti üzerinde sertlik ölçüm noktaları.....	94
Şekil 5.3.	Üniversal çekme deneyi makinesi.....	95
Şekil 5.4.	Çentik darbeli eğme deneyi ve DVMF numunesi.....	97
Şekil 6.1.	Döküm numunelerinin sertliğinin dağılımı.....	99
Şekil 6.2.	Döküm numunelerinin çekme mukavemeti ve kopma uzaması.....	102
Şekil 6.3.	260x360 mm ebatındaki ilk iki döküm numunelerinin kükürt baskı ve makro incelemesi	103
Şekil 6.4.	a) A ve b) B kodu dökümden çekilen raylarda kükürt baskı ve makro inceleme.....	104
Şekil 6.5.	a) C ve b) D kodlu dökümden çekilen raylarda kükürt baskı ve makro inceleme	105
Şekil 6.6.	A döküm kodlu rayın a) mantar yüzey altı b) mantar içi metalografik incelenmesi	107
Şekil 6.7.	B döküm kodlu rayın a) mantar yüzey altı b) mantar içi metalografik incelenmesi.....	107
Şekil 6.8.	C döküm kodlu rayın a) mantar yüzey altı b) mantar içi metalografik incelenmesi.....	108
Şekil 6.9.	D döküm kodlu rayın a) mantar yüzey altı b) mantar içi metalografik incelenmesi.....	108
Şekil 6.10.	Farklı hızlarda havada soğutulan numunelerin a) çekme mukavemeti ve b) kopma uzaması	113
Şekil 6.11.	Havada soğuyan numunelerin sertlik dağılımı	115
Şekil 6.12.	1 numaralı numunelerin mikroyapı analizleri.....	117
Şekil 6.13.	2 ve 3 numaralı numunelerin mikroyapı analizleri.....	118
Şekil 6.14.	1 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	119
Şekil 6.15.	2 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	120
Şekil 6.16.	3 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	121
Şekil 6.17.	Ray numunelerinin çentik darbe mukavemeti değerleri.....	122

Şekil 6.18.	1, 2 ve 3 numaralı numunelerin kükürt baskı makro incelemeleri..	124
Şekil 6.19.	Suda soğuyan 5 No'lu numunenin büyütme mikroyapısı.....	125
Şekil 6.20.	5 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	126
Şekil 6.21.	Izgarada soğutulan numunelerin çekme mukavemeti	128
Şekil 6.22.	Izgarada soğutulan numunelerin kopma uzaması.....	128
Şekil 6.23.	Izgarada ve havada soğutulan numunelerin kopma uzamalarının karşılaştırılması.....	129
Şekil 6.24.	Izgarada ve havada soğutulan numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	129
Şekil 6.25.	Izgarada soğuyan numunelerin büyütme mikroyapı analizleri.....	131
Şekil 6.26.	Izgarada soğuyan numunelerin sertlik dağılımı.....	132
Şekil 6.27.	4 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	133
Şekil 6.28.	Havada ve ızgarada soğuyan numunelerin sertlik değerleri dağılımlarının karşılaştırılması.....	134
Şekil 6.29.	Izgarada soğuyan malzemenin kükürt baskı makro incelemesi....	135
Şekil 6.30.	1 No'lu numunenin XRD sonuçları.....	136
Şekil 6.31.	2 ve 3 No'lu numunelerin XRD sonuçları.....	137
Şekil 6.32.	4 ve 5 No'lu numunelerin XRD sonuçları.....	138

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kardemir A.Ş hisse dağılımı.....	3
Tablo 2.2.	Yatırım maliyetleri.....	5
Tablo 2.3.	Kardemir'in üç yıllık kar ve zarar durumu.....	6
Tablo 3.1.	Sincap kafesli motorun devirlere göre verimleri.....	25
Tablo 4.1.	UIC 860.0 Standardı çelik analizi.....	32
Tablo 4.2.	1950'lere kadar tipik ray çeliği bileşimleri.....	33
Tablo 4.3.	Günümüz (UIC 900A) tipik ray çeliği bileşimleri.....	34
Tablo 4.4.	Çeşitli imalat metodlarında H ₂ seviyesi.....	35
Tablo 4.5.	İndiana ray haddesi merdane ölçüleri.....	51
Tablo 4.6.	11525 tip rayların her paso için haddeleme hızları ve ezme oranları.	52
Tablo 4.7.	Fukuyama Works'da üretilen kesitler ve üretim miktarları.....	53
Tablo 4.8.	Rayda görülen boyutsal sapmalar.....	56
Tablo 4.9.	Karbonun çeliğin dayanımı üzerine etkisi	61
Tablo 4.10.	Mantarı sertleştirilmiş örnek bir rayın kimyasal kompozisyonu.....	72
Tablo 4.11.	Mantarı sertleştirilmiş örnek bir rayın mekanik özellikleri.....	72
Tablo 4.12.	% 0.05 V ilave edilmiş rayların mekanik özelliklerinin diğer raylarla karşılaştırılması	77
Tablo 4.13.	Düşük alaşımlı mantarlı rayların alaşım elementleri.....	79
Tablo 4.14.	Düşük alaşımlı mantarlı rayların ısıtılardan sonra mekanik özellikler.....	79
Tablo 4.15.	Uç sertleşme içeriği.....	82
Tablo 4.16.	Mevcut rayların yaş dağılımı.....	84
Tablo 5.1.	46.3 ve 49.43 kg/m'lik deney numune rayların kimyasal analizi.....	91
Tablo 5.2.	Çeşitli standartlara ait kimyasal analizi değerleri (%)......	91
Tablo 6.1.	Döküm numuneleri ve kimyasal analizleri	98
Tablo 6.2.	Döküm numunelerinin sertlik değerleri	99

Tablo 6.3.	Döküm numunelerinin çekme mukavemeti ve kopma uzaması	101
Tablo 6.4.	Döküm numunelerinde sülfür ve küresel oksit incelemesi	109
Tablo 6.5.	Numunelerin havada soğuma hızları	111
Tablo 6.6.	Havada soğuyan malzemenin mekanik testleri	112
Tablo 6.7.	Havada soğuyan malzemelerin sertlik ölçümleri	114
Tablo 6.8.	Ray numunelerinin değişik noktalarından alınan çentik darbe mukavemet değerleri.....	121
Tablo 6.9.	Izgarada kontrollü soğuyan numunelerin mekanik test sonuçları	127
Tablo 6.10.	Izgarada soğuyan malzemelerin sertlik değerleri	132

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kardemir, haddehaneler, ray üretimi, rayın sertliği.

Kardemir A.Ş.'nin bugün Türkiye çapına yayılmış yüzlerce eseri vardır. “Fabrikaları kuran fabrika ” olarak bilinen Kardemir son yıllarda modernizasyon atağına girerek hızla yatırımlara başlamış olup, sektörünün en gözde tesislerinden biri haline gelmektedir.

Mevcut rayların modernize edilmesi ve yeni rayların döşenmesiyle demiryolları, tekrar en ekonomik en güvenilir ulaşım biçimi olarak layık olduğu yere gelecektir. Bu aşamada Türkiye'nin tek ray üreticisi olan Kardemir bir kez daha öne çıkmaktadır. 1950'lerde partiler halinde başlanan ray üretimine gerekli düzenlemelerin ardından 2001 yılında tekrar başlanmış olup, şu an TCDD ve dünya normlarında ray üretilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda ilk safha olarak rayın içyapısında bulunan inklüzyon, hava boşlukları ve oksitlerin rayın mekanik özelliklerine etkisini görmek için çelikhanedeki blumlar testlere tabi tutuldu. Deneysel çalışmanın diğer bölümü olarak haddehanede rayın haddelendikten sonra soğuma şartlarının rayın mekanik ve özellikle kırılma tokluğu üzerindeki etkilerini saptamak amacıyla havada suda ve ızgarada soğutuldu. Sonuçları görmek için sertlik ölçümü, çekme mukavemetleri ve % uzama tespiti, SEM ve optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri, ağırlık düşürme testi, kükürt baskı deneyi, çentik darbe mukavemeti ölçümü ile XRD analizleri yapıldı.

Deneysel sonuçlarda çelikhanede segregasyon ve oksit değerlerinin kabul edilebilir değerlerde olduğu, rayın kırılmasına yol açabilecek bir yapısal hataya rastlanmadığı ve yeni kurulacak vakum altında gaz giderme ve desülfürizasyon tesisiyle beraber daha iyi kalitede çelik üretilebileceği görüldü. Haddehanede yapılan deneysel çalışmalar sonunda ise ızgarada kontrollü ve yavaş soğuyan numunelerin, havada ve suda soğuyan numunelere göre daha homojen dağılmış ince perlitik yapıya sahip olduğu ve daha yüksek tokluk ile daha iyi mekanik özellikler sergilediği görüldü.

Bu çalışma ile raylarda ihtiyaç duyulan performans artışını sağlamak için gerekli ana özellikler olan aşınma direnci, yorulma direnci, plastik deformasyon direnci için kontrollü ve yavaş soğuma sonunda homojen ve ince dağılmış perlitik bir içyapı elde edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

IMPROVING OF RAIL PRODUCTION AT KARDEMİR

SUMMARY

Keywords: Kardemir, rolling mills, rail production, rail hardness.

KARDEMİR has marked many establishments all over the country. It has been called that “The factory that establishes factories”. Now, it has started many investments on technological modernizations recently, aiming to become one of the favorite brands in the world.

Railroad is the most important, reliable and economical way of shipping and traveling if they are modernized. In 1950’s Kardemir had manufactured the first rail and after essential arrangements, it has started to manufacture rail in 2001 again and therefore it is the leader in rail production in Turkey. Kardemir produces rail according to TCDD and World standards.

As being the first experimental study for this thesis, some tests were done in Steelworks, in order to determine inclusion, bulk vacancy, pinholes and oxides in blooms which effects steel’s mechanical properties. In another stage of this experimental study, the rolled hot rail was subjected to cooling process in different ways which are in air, water and in cooling bed conditions, to determine the effects on mechanical properties in rolling mills unit. For characterization of rail properties; the hardness measurements, tensile strength, elongation, microstructure by SEM and optical microscope, weight drop test, Baumann type sulphur press test, fracture toughness test and XRD analysis were studied.

Finally; it is determined that; the oxide values within the Steelworks study results are acceptable, and there is no inclusion and structural weakness to break rails. It is therefore possible to produce high quality steel by means of establishing vacuum degassing and desulphurization to lower the hydrogen content. The rolling mill’s experimental studies showed that the samples, which slowly cooled in controlled cooling bed, showed better homogenous; fine dispersed pearlitic microstructure and gave fine mechanical features than the samples cooled in air and water.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

3 Nisan 1937 tarihinde Cumhuriyetin ilk önemli ağır sanayi kuruluşunun temeli, görkemli törenlerle Soğanlı çayının kıyısında uzayıp giden çeltik tarlalarının üzerinde atılıyordu. Buralar bölgenin en önemli pirinç ekim alanlarıydı. Yüksek dağlarla çevrili dümdüz vadinin sessizliği artık bozuluyordu. İnsanlar çevre köylerden, Eflani ve Kastamonu'dan akın akın gelmişlerdi. O günlerin en önemli merkezi olan Safranbolu'dan memurlar, halk ve öğrenciler törende yerlerini almışlardı.

Karabük Entegre Demir ve Çelik Fabrikalarının (KARDEMİR A.Ş.) son ünitesini teşkil eden haddehaneler, genellikle uzun hadde ürünü olarak isimlendirilen konstruksiyon çelikleri, ray ve inşaat çeliklerinin üretildiği ünedir. 1940 yılında ilk önce 28"lik Trio ve 12"-16"lik haddeler işletmeye alınmıştır. Bunu 1941 yılında sac haddesinin ilavesi izlemiştir. 1960 yılından itibaren 34"lük Blok ve 28"lik Döo haddeler grubunu ihtiva eden ikinci haddehane grubu hizmete girmiştir. Son olarak 1965 yılında hafif profil, yuvarlak çubuk ve filmaşın üretimi için 350.000 ton/yıllık kapasiteye sahip Kontinü haddehane kurulmuştur.

Uluslararası standartlarda ray, normal ve paralel flanşlı profil üretmek amacıyla şimdiki yeni haddehane holüne yıllık 400.000 ton kapasiteli Ray ve Profil Haddesinin kurulması KARDEMİR A.Ş.'nin başlattığı yatırımları arasındadır. Böylece işçilik ve üretim maliyetleri düşecek, kapasite artışıyla nihai mamul tonajı 400.000 ton/yıla çıkarılacaktır. Blum makinesi'nin 400.000 ton/yıllık kapasitesi tam kullanılarak blum makinesi'nin verimliliği de artırılabacaktır. Ray ve profile özellikle Ortadoğu ülkelerine ihracat yapma olanağı ortaya çıkacaktır.

BÖLÜM 2. KARDEMİR'İN TANITIMI

2.1. 3 Nisan 1937

Türkiye'de Demir Çelik Sanayinin kurulması çalışmalarına 1932 yılında Rus heyetinin incelemeleri ile başlanmıştır. Heyetin verdiği raporda, 1929-1930 yılları gümrük istatistiklerine göre yılda 150.000 ton ham demire sürüm bulunabileceği, gelecekteki ihtiyaç da düşünüldüğünde yılda 300.000 ton ham demir üretim yapacak yüksek fırınlara gereksinim duyulacağı, yüksek fırınların işletilmesi için kurulacak kok fabrikasından da kimya sanayi bakımından çok önemli yan ürünler elde edileceği, ağır sanayi merkezi çevresinde kurulacak sülfirik asit ve diğer yan sanayinin ekonomik olacağı saptanmıştır. Nihayet ağır demir sanayinin kuruluş yerinin tespiti ve diğer sorunların incelenmesi için, Sümerbank ve Erkan-ı Harbiye birlikte incelemelerde bulunarak Birinci Sanayi Planında yer alan ağır demir sanayinin kesin olarak kurulmasına karar verilmiştir. Kuruluş yeri için KARABÜK yöresini uygun bulmuşlardır [1].

27 Temmuzda 1939 tarihinde I. Kok Fabrikası, 9 Eylül 1939 tarihinde ise I. Yüksek Fırın işletmeye alındılar. Çelikhane 6 Ocak 1940 tarihinde 28", 12" ve 16"lik Haddehaneler nisan, haziran, Temmuz 1940'da işletmeye alındılar. Günümüzde en ileri tekniklerle gerçekleştirilmeye uğraşılan yatırımların yıllar süren gecikmeler düşünülürse o dönemin olağan üstü gerçekleşme hızı bizleri düşündürmelidir.

1950'de II. Yüksek Fırının da işletmeye açılmasıyla 54.151 ton ergimiş demir, 91.046 ton çelik, 76.396 ton hadde ürünü elde edilmişti. Bu dönemlerde Karabük İşletmeleri, Türkiye'nin demir-çelik gereksinimini karşılayabildi ve Dünya'da 15. sırada bulunuyordu.

13 Mayıs 1955’de Sümerbank’tan ayrılarak 6559 sayılı yasayla 200 Milyon TL sermayeli Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü adıyla "Kamu İktisadi Teşekkülü" durumunu aldı. 1960’da 400 Milyon TL, 1971’de 2 Milyar TL değerinde bir kuruluş haline geldi [1].

2.2. Özelleştirme Süreci

Türkiye'nin ilk ağır sanayi tesisinin kapatılma kararı üzerine başta çalışanlar ve yöre halkı olmak üzere başlatılan yoğun mücadeleler sonucunda fabrikanın kapatılma kararından vazgeçilerek 13 Ocak 1995 tarihinde Karabük Demir Çelik Fabrikası müessesesinin özelleştirme kapsamına alınması sağlandı. 30 Mart 1995 tarihinde de Karabük Demir Çelik Fabrikaları çalışanları, yöre halkı, yöre esnaf ve sanayicisinin ortak kurduğu KARDEMİR AŞ'ye 1 TL sembolik bedelle devredildi.

KARDEMİR A.Ş. kurucu ortakları ve Müteşebbis Heyet ile Özelleştirme Yüksek Kurulu arasında imzalanan devir sözleşmesinin 3. maddesinin (a) bendinde belirtilen hisse dağılımı grup ve oranlarına göre devir tarihinden itibaren 30 Mayıs 1995 tarihine kadar en geniş katılımı sağlayacak biçim ve tarzda ortaklık yapısını oluşturmayı taahhüt etmiştir [2].

7–14 Temmuz 1995 tarihlerinde yapılan hisse satışı sonucu sermaye 408 Milyar TL olmuştur. Hisse satışlarından sonra KARDEMİR A.Ş. ortaklık yapısı şu şekilde oluşmuştur:

Tablo 2.1. Kardemir A.Ş hisse dağılımı [2]

A grubu	KARDEMİR çalışanları	4.914 adet ortak	% 51.8
B grubu	Sanayici ve Tüccarlar	401	% 24.2
C grubu	Esnaf ve Sanatkarlar	271	% 1,3
D grubu	Yöre Halkı	6.177	% 22.7

Bunun sonucu olarak devir alınan KARABÜK DEMİR ÇELİK FABRİKALARI A.Ş'nin sermayesi KARDEMİR A.Ş'ye devredilerek çıkarılmış sermaye 8.733.927.521.411. TL'ye yükseltilmiş, (1) TL bedelle devralınan şirket 408 milyar TL'lik hisse alan ortakların hisseleri nispetinde bedelsiz dağıtılmıştır. Böylece devir hükümleri, 30 Mart 1995 tarihinden geçerli olmak kaydıyla yürürlüğe girmiştir. Özelleştirme aşamasında KARDEMİR AŞ'ne Kamu tarafından bazı desteklerde verilmiştir [3].

2.2.1. Özelleştirme sonrası

5 Nisan 1994'te Türkiye Cumhuriyeti hükümeti kararı ile aynı yıl sonuna kadar özelleştirilemezse kapatılmasına karar verilen Karabük Demir Çelik Fabrikaları, 01 Nisan 1995 tarihinden itibaren çalışanların yöre halkının, yöre sanayicilerinin ve esnafın iştirakiyle kurulan 13.000 ortaklı KARDEMİR AŞ'ne devir edildikten sonra hızla radikal tedbirler almaya başladı. Öncelikle fabrikanın günün teknolojik gelişmelerine göre yeniden yapılandırılması ve yenilenmesi için çalışmalar başlatıldı. Bu çerçevede Çelikhane Konverter Sistemi, Kontinü Döküm Kütük ve Blum Tesisi, Yüksek Fırın Modernizasyonu ve Cevher Vinci Yapımı, Kireç Fabrikası, Oksijen Fabrikası ve Cüruf Değerlendirme Tesisi yatırımlarını gerçekleştirdi. Toplam değeri 183 Milyon USD olan bu yatırımlar ve modernizasyonlar ile üretim kapasitesi 700.000 ton/yıl'dan, 1.000.000 ton/yıl'a çıkmıştır. Ürün kalitesi, çeşidi artmıştır [4].

Yapılan yatırım ve yenileme çalışmalarından sonra maliyetlerde düşüşler başlamış ve ton başına 60 USD seviyelerinde indirimler olmuştur. KARDEMİR A.Ş. yaptığı yatırımların sonucunda sağladığı maliyet tasarrufları yanında üretimini de giderek artırdı. Yatırımların tamamlandığı 1999 yılından sonra Kardemir A.Ş 2000 yılını rekor üretimle kapattı [5] (Ek.1).

Tablo 2.2. Yatırım maliyetleri [2]

PROJE ADI	YATIRIM MALİYETİ (x 1000 USD)
Yüksek Fırın Revartmanları	7.653.598
Kuvvet Santr.Tamamlanması	4.587.182
Yüksek Fırın Gazı Temizlenmesi	1.330.417
Diğer Biten Yatırımlar	445.201
Kireç Fabrikası Yapımı	9.871.781
Kontinü Kütük Tesisi	23.029.239
Çelikhane Konvertör Tesisi	63.293.592
Oksijen Fabrikası	31.429.391
Kontinü Blum Makinası	14.723.065
Kok Fabrikası Yenilenmesi	3.589.808
Haddehane Modernizasyonu	13.638.374
Diğer Yatırımlar	4.261.625
Filyos Liman Projesi	402.530
Diğer Yenileme Yatırımları	5.261.858
Toplam	183.277.661

2.3. Kardemir'in Modernizasyonu

Özelleştirildiği 1995 yılından sonra ilk üç sene kâr eden KARDEMİR A.Ş. daha sonraki yılları zararla kapatmış ancak, 2003 ile 2004 yıllarında tekrar kâr eden bir kuruluş haline gelmiştir. Geçmiş yıllarda 3-5 günlük hammadde stoğu ile % 40 kapasitede çalışan KARDEMİR'de, gerçekleştirilen bakım-onarım ve yenileme çalışmaları yanında, izlenen planlı ve doğru politikalar sonucu her alanda mükemmel gelişmeler sağlanmıştır. Buna göre, 2003 ve 2004 yıllarında KARDEMİR'in borçları yapılandırılmış, 2004 yılı sonu itibariyle 104 trilyon geçmiş yıl borcu ödenmiştir [6].

Tablo 2.5. Kardemir'in üç yıllık kâr ve zarar durumu (\$) [7]

Yıllar	Faaliyet	Dönem
	Kâr/Zarar	Kâr/Zarar
2002	-2,049,000	-81,270.000
2003	12,804,000	62,175,000
2004 (9Aylık)	57,559,000	52,254,000

2.3.1. Çelik sektöründeki gelişmeler ve Kardemir

Türkiye'nin 2003 yılında 18.298.000 ton olan sıvı çelik üretimi, 2004 yılının Ocak-Kasım Döneminde 18.696.000 tona ulaşmış olup, 2004 sonu itibariyle 20 milyon tonun üzerinde olmuştur. Çin'de 2003 yılında 220.115,000 ton olan sıvı çelik üretimi ise, 2004 yılının Ocak-Kasım döneminde 245.293.000 tona ulaşmış olup, 2004 sonu itibariyle 265 milyon tonun üzerinde olmuştur. ÇİN, % 25 dolayındaki üretim payı ile Dünya sıralamasında birincidir. Türkiye ise % 2'lik üretim payı ile 12. sırada yer almaktadır. Kardemir, 1 milyon ton/yıl yüksek fırın ve 1,5 milyon ton/yıl çelikhane kapasitesiyle Türkiye Demir Çelik sektöründe % 4,4'lük bir paya sahiptir. Ayrıca, Dünya Çelik üretiminin % 65'i entegre tesislerde, % 35'i hurdaya dayalı tesislerde, %40'ı uzun ve % 60'ı ise yassı ürün olarak üretilmektedir. Ülkemizde ise, tam tersine % 31'i entegre tesislerde,% 69'u hurdaya dayalı tesislerde, % 83'ü uzun ve % 17'si yassı ürün olarak üretilmektedir [4].

Türkiye'de Ocak-Ekim 2004 Döneminde, 4.155.792 ton yassı ürün, 521.834 ton vasıflı çelik, 910.000 ton kütük, blum ve 618.341 ton uzun ürün olmak üzere toplam 6.205.976 ton ithalat gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, aynı dönemde 5.752.946 ton uzun ürün, 807.369 ton yassı ürün 3.236.027 ton kütük, blum, 162.636 ton vasıflı çelik olmak üzere toplam 9.959.780 ton demir ve çelik ürünleri ihracatı yapılmıştır. Bu dengesizliğin ortadan kaldırılması için Türkiye'nin bir an önce uzun üründen yassı ürüne geçmek için gerekli çalışmaları yapması zorunlu görünmektedir. İskenderun Demir Çelik Fabrikasının Erdemir tarafından satın alınıp yassı ürüne

geçiş için yatırımlara başlamış olması ülkemiz için uzun ve yassı ürün dengesi açısından çok önemli bir adım olmaktadır [5].

Kardemir'de uzun mamul piyasasından çekilerek yakın zamanda vasıflı çelik, uluslararası standartlarda ray, yapısal çelik (paralel flanşlı profiller dahil) ve kalın yuvarlak ile diğer demir çelik fabrikalarında üretilmeyen ürünlerin üretimine geçmek için çalışmalarını sürdürmektedir [6].

2.3.2. Kardemir'in yatırım çalışmaları

Kardemir'in içinde bulunduğu ekonomik durum nedeniyle 1999 yılından beri yapılamayan ve Kardemir için hayati öneme haiz olan; yatırımların önemli bir bölümü 2004 yılında gerçekleştirilmiştir. Kardemir'de 2003 ve 2004 yıllarında gerçekleştirilenler ile 2005 yılında yapılması planlanan önemli yatırım ve çalışmaları aşağıda sunulmuştur.

- 700.000 USD tutarındaki 10.000 m³/saat kapasiteli soğutma kulesi yatırımı tamamlanmıştır.
- 7.5 milyon USD tutarındaki kok fabrikalarının sıcak tamirati 26 Ocak 2004 tarihinde başlatılmış olup, 17 Temmuz 2004 tarihinde tamamlanmıştır.
- Yatırım tutarı 10 milyon \$ olan yüksek fırınların revartmanı projesi kapsamında 2 No'lu yüksek fırının yenilenmesine 2 Haziran 2004 tarihinde başlanmış 15 Temmuz 2004 tarihinde tamamlanmıştır. 3 No'lu Yüksek Fırının yenilenmesi çalışmalarına 2 Eylül 2004 tarihinde başlanmış olup, 25 Ekim'de çalışmalar tamamlanmıştır. 1 No'lu Yüksek Fırının yenilenmesi çalışmalarının da 2005 yılında bitirilmesi planlanmıştır.
- Yatırım tutarı yaklaşık 1.000.000 USD olan Bilgi İşlem Projesi 2005 yılı sonunda tamamlanmıştır.
- Ray ve Profil Haddehanesi modernizasyon projesi başlamış olup, projenin 18 ay içinde tamamlanması hedeflenmektedir. Bu proje ile Kardemir, uluslararası

standartlarda Türkiye'de de sadece Kardemir'de üretilecek olan 72 m uzunluğa kadar ray ile büyük boy köşebent, profil, kaliteli büyük yuvarlak olmak üzere, toplam 400.000 ton/yıl üretim yapılabilecektir. Tesis bu kapsamda ülkemizde ve Ortadoğu'da ilk ve tek olacaktır.

- 2004 yılındaki başarılı çalışmalar neticesinde Kardemir A.Ş.; Dışbank ve Ekonomist Dergisi tarafından 250 Kuruluş için yapılan değerlendirmede, en kârlı şirketler sıralamasında birinci, istihdamı en büyük şirketler sıralamasında ise üçüncü olmuştur [7].

2.3.3. Yatırım hedefleri

- Ray ve profil haddehanesi yatırımı. 400.000 ton/yıl, 72 m boya kadar ray, 400 mm'ye kadar U, 450 mm'ye kadar I, 260 mm'ye kadar H Profiller, maden direği ve kalın yuvarlak.

- Elektrik ark ocağı yatırımı (90 tonluk),
- Slab döküm tesisi yatırımı (500.000 ton/yıl),
- Kütük makinasının kapasitesinin arttırılması,
- Filmaşın ve spooler bar yatırımı,
- Desülfürizasyon tesisi yatırımı,
- Vakum altında gaz giderme tesisi yatırımı,
- Baca gazlarının değerlendirme yatırımı ve
- Çevre yatırımları vb.

Kardemir'in Kısa Vadeli Hedefleri;

- 2008 yılına kadar kapasitenin 1.500.000 tonun üzerine çıkarılması,
- Çalışan başına 240 ton olan çelik üretiminin 500 ton seviyesine yükseltilmesi,
- Ülkemizde diğer demir çelik fabrikalarında üretilmeyen ürünlerin sadece Kardemir'de üretilmesinin sağlanması. Uluslararası standartlara uygun üretimin yapılması,

- Uluslararası çevre kriterlerine göre üretim yapılması. Verimliliğin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi ile oluşturulacak değerın çalışanlara ve ortaklara dağıtılması [7].

2.4. Kardemir'in Ana Üniteleri

2.4.1. Çelikhane

Yüksek Fırınlarda üretilen sıvı ham demir 65 tonluk potalara doldurularak demiryoluyla Çelikhane Mikser Holü'ne sevk edilir. Burada bulunan 2 adet 100'er ton'luk vinçlerle mikserde şarj edilir. Mikserlerin her biri 600 ton'luk olup, sürekli olarak kok gazı ile ısıtılarak sıvı metal sıcaklığı muhafaza edilir. Çelikhanein üretim programına göre ve de üretilecek çeliğin kalitesine, tonajına, son analizine ve çelik çıkış sıcaklığına göre sıvı maden tonaj ve oranı, hurda tonaj ve oranı belirlenir. Sıvı metal mikserden şarj potasına doldurulur, tartılır, sıvı metalin cürufu çekildikten sonra şarj holünde bulunan 2 adet 125 ton'luk vinçlerle, hurda şarjı sonrası konvertere şarj edilir (Ek.1).

Şarj için hazırlanan sıvı metal sıcaklık ve kimyasal kompozisyonuna göre konvertere oksijen üfleme anında şarj edilecek flaks malzemeler, üflenecek toplam oksijen miktarı ve oksijen üfleme süresi belirlenir ve gerekli hazırlıklar operatörler tarafından yapılır. Bu hazırlıklardan sonra konverter, flaks ve oksijen üfleme lans sistemleri hazır sinyalleri sonrası oksijen üfleme başlanır. Konvertörlerde yanma meydana geldikten sonra flaks malzemeleri ilave edilir, hedef değerlere göre belirlenen süre oksijen üflenir ve üfleme sonrası konverter yatırılarak numune alınır ve laboratuardan neticesi alındıktan sonra döküme geçilir. Konverterde döküm anında gerekli olan deoksidasyon, alyaj ve curuf yapıcı malzemeler ilave edilir. Potaya alınan çelik, döküm holünde bulunan 2 adet 140 ton'luk vinçler vasıtasıyla pota fırınına gönderilir ve pota fırınında hedef analiz ve sıcaklık ayarları yapıldıktan sonra ilgili döküm makinesine gönderilir. Döküm makinesi taretine konan pota açılarak tandiçe akıtılır ve buradan da bakır kalıplara akan çelik su ile soğutulurak müşterinin talep ettiği boyda/boylarda kesilerek ilgili ünite ve/veya ünitelere sevk edilir [8].

2.4.2. Yüksek Fırınlr

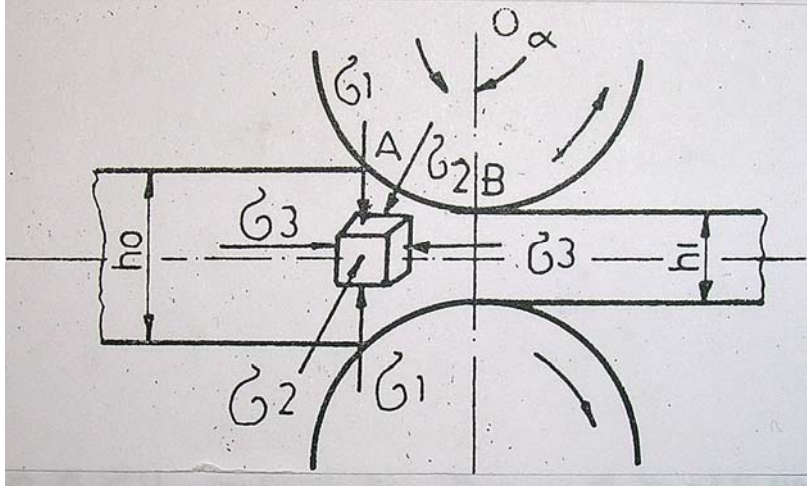
Kardemir'de 3 adet yüksek fırın mevcuttur. 1 No'lu yüksek fırın (Fatma) ve 2 No'lu yüksek fırın (Zeynep)'in kuruluş kapasiteleri 135.000 ton/yıl'dır. Yapılan modernizasyon çalışmalarıyla iki fırının kapasiteleri toplam 525.000 ton/yıla çıkarılmıştır. Yapımları aynı zamanda gerçekleşmekle beraber işletmeye alınış tarihleri zamanın taleplerine göre 1 No'lu yüksek fırın için 9 Eylül 1939, 2 No'lu yüksek fırın için 7 Ocak 1950 olmuştur. Her iki fırın da 351 m³ hacme sahip olup 8 tüyerlidir. 3 No'lu yüksek fırın (Ülkü) 10 Aralık 1962 tarihinde işletmeye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 325.000 ton/yıldır. Yapılan modernizasyonlarla beraber günümüz kapasitesi 625.000 ton/yıla çıkarılmıştır. 818 m³ hacme sahip olup 16 tüyereli bir fırındır. İlave yakıt olarak katran enjeksiyonu yapılmaktadır.

- **Cevher hazırlama tesisi;** Cevher Hazırlama ve Harmanlama Tesisleri, Yüksek Fırınlrın ihtiyacı olan parça cevherlerin uygun ebatlarda (10-50 mm) hazırlanması, Sinter Tesisi için gerekli olan demir cevheri (0-10 mm), kireçtaşı tozu (0-3 mm) ve kok tozunun (0-3 mm) istenilen fiziksel özelliklerde hazırlanmasını sağlar. 5500 ton/gün kapasiteye sahiptir. Harmanlama sahasında 4 adet Sinterlik harman sahası mevcuttur. 1-2 no'lu sahalar 140.000 ton, 3-4 no'lu sahalar 70.000 ton cevher kapasitelidir.

- **Sinter tesisleri;** Sinter Tesislerinde, 2 adet sinter makinesi mevcuttur. 1 no'lu sinter makinesinin emiş alanı 90 m², kapasitesi 890.000 ton/yıldır. 2 no'lu sinter makinesinin emiş alanı 60 m², kapasitesi ise 450.000 ton/yıldır [8].

BÖLÜM 3. METALLERİN HADDELENMESİ

Metallere şekil verme işlemleri olarak döküm, dövme ve haddeleme bilinmektedir. Metaller ısıtılmadan da şekillendirilebilir. Kalıp içinde presleyerek, döverek ve haddeleyerek metallere şekil vermek mümkündür. Talaş kaldırmak suretiyle ve kaynak, geçme, bağlama elemanı kullanılarak birleştirme suretiyle şekil verme konumuz dışında olduğundan ayrıca bahsedilmeyecektir. Metallerin haddeden geçirilerek şekillendirilmesine plastik deformasyon adı verilir. Şu halde metallerin sıcak olarak haddelenmesi bir plastik deformasyon işidir. Metalin haddelenmesi esnasında kristal yapı üç eksenli hacimsel gerilmeye maruzdur [9].



Şekil 3.1. Haddeleme esnasında malzemenin üç eksenli hacimsel gerilmesi $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ [9]

Şekil değiştirme enerjisi hipotezine göre deformasyon için gerçekleşecek gerilim şartı bir tek gerilme ile ifade edilebilir.

$$kf = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \quad (3.1)$$

Metalin merdane eksenine istikametinde serbestçe yayıldığı bir durum için $\sigma_2=0$ alınabilir.

Serbest yayılmanın olmadığı bir durum için ise $\sigma_1 = \sigma_2$ alınabilir. Böylece $\sigma_2 - \sigma_3 = k_f$ elde edilir, Şayet σ_2 gerilmesi için diğer gerilmelerin ortalama bir değeri alınırsa $\sigma_2 = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ yukarıdaki hipotezden $\sigma_1 - \sigma_3 = 1,15 \cdot k_f$ bulunur. Bu formüllerde k_f malzemenin akma mukavemetini göstermektedir. Bu ifade $\sigma_{1-3} = \zeta \cdot k_f$ şeklinde gösterilir. ζ : özgül deformasyon mukavemet katsayısıdır.

Haddeleme esnasında yapılan deformasyon işi de, $dl = \int_{h_1}^{h_0} k_f \cdot F \cdot dh$ olup malzeme hacmi V , ve k_f sabit kalacağından

$$L = k_f \cdot V \cdot \log \frac{h_0}{h_1} \quad (3.2)$$

elde edilir. 800-1000 °C sıcaklıkta k_f fazla değişmediğinden metallerin haddelenmesinde iyi bir nitelik olarak değerlendirilir [9].

3.1. Profili'nin Haddelenmesinde Temel İlkeler

Profil kalibrasyonunda uygulanan çeşitli parametreler, şekillendirmenin temel ilkelerine dayanılarak açıklanmaktadır [10].

Bütün profillerde olduğu gibi I Profillerinin haddelenmesinde de ortak hedef, blum ve ingottan standart ölçülere uygun malzemenin elde edilmesidir. (Şekil 3.2)

Bu amaç ile tüm haddeleme yöntemlerinde iki ayrı şekillendirme safhası gözlenir:

- a- Taslak profilinin ilk pasolarda elde edilmesi,
- b- Taslağın bitirme tezgâhlarında istenilen boyutlarda profil haline dönüştürülmesi.

Birinci safhada ani bir şekil değişmesi ile dikdörtgen kesitli malzeme yarmalı taslak haline gelmektedir (Şekil 3.3). İkinci safhada şekil değiştirme daha yavaştır. Bu

dizide kullanılan paso sayısı ve şekli çekilecek malzemeye bağlıdır. Şekil 3.4'de görülen kalibre sistemleri bugün en çok kullanılan haddeme teknikleridir.

I. Kalibre dizisi kapalı paso sisteminden oluşmakta ve genellikle boyu 80-380 mm olan profillerin haddelenmesinde uygulanmaktadır.

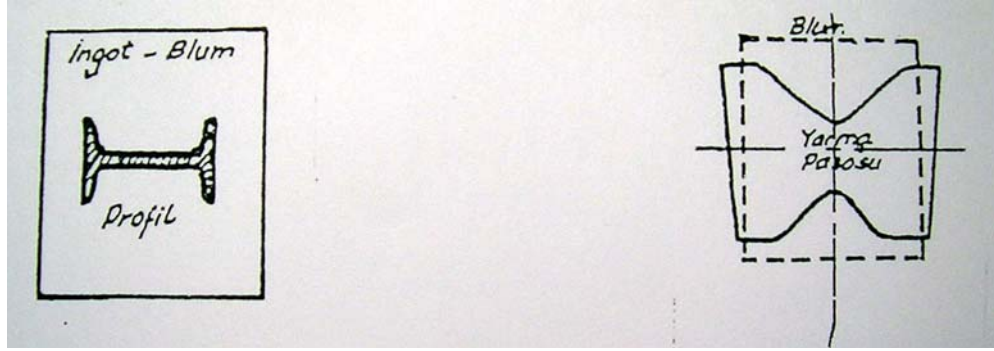
II. Kalibre sistemi ile boyları 300-700 mm olan ağır profiller şekillendirilmektedir. Bu dizinin ön safhalarında malzeme blok haddesinde son kaburga kalınlığının 3-5 misline kadar yarıdır. Kaburga-ayak oranları bu pasolarda da aynı tutulur. Son safhalardaki şekillendirme I. dizinin aynıdır.

III. Sistemdeki taslak hazırlama işlemi II. diziyeye benzer. Ancak bitirme (son) işlemi dikey çalışan üniversal tezgahlarda yapılır. Bu nedenle geniş ayaklı özel "H" profillerinin bu metod ile haddelenmesi mümkündür.

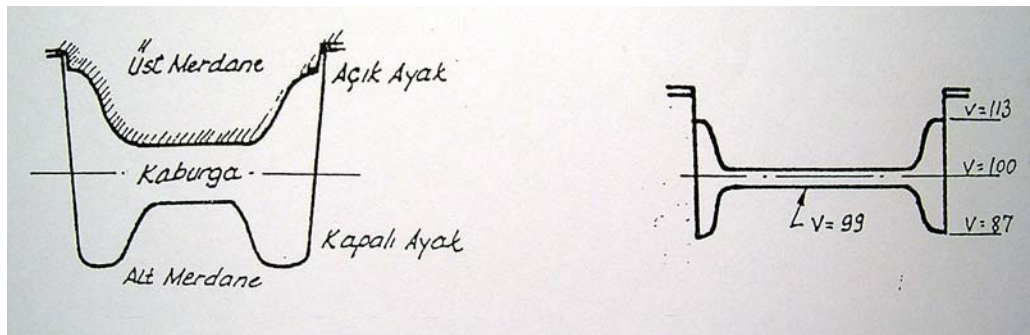
IV. Sistem kapalı fakat eğik pasolar kullanılmaktadır. Eğik sistem hafif ve orta profiller için gerekli olup, ilk pasolarında $20 - 25^{\circ}$ lik bir eğim vardır. Bu eğim son pasoya gittikçe azalmaktadır. Yukarıda ana hatları belirtilen sistemler arasında enerji tüketimi, birim haddeme basıncı, paso aşınması gibi önemli faktörler açısından IV. sistemin avantajlı olduğu saptanmıştır. Buna karşın yan kuvvetlerin aşırılılığı nedeni ile kuşaklara çok yük biner. Pasolara eğim verilerek bu problem çözümlenmeye çalışılır. Aşınma yönünden bu tip kalibre taşıyan merdanelerin ömrü diğerlerine oranla 2-2,5 misli daha fazladır. Eğimin 25° geçmemesi şartı ile birim haddeme kuvveti dik sistem (I. sistem) oranla daha azdır. Ancak eğimin artması ile yolluklama işletmecisi için problemler çıkarabilir [10].

3.1.1 Dikey sistemde haddeme ilkeleri

Kapalı profil pasosu, yarma dili (kaması), açık ve kapalı ayak bölümlerinden oluşur. (Şekil 3.5) Açık ayak bölgesi iki merdane ile sınırlandırılmıştır. Kapalı ayak ise tek bir merdaneye oyulmuştur. Haddeme ancak pasonun iç ve dış yanal yüzeylerine koniklik verilmesi ile gerçekleşir. Aşınmadan ötürü sadece pasonun ayak boyutları kontrol edilebilir. Paso genişliği ise gittikçe artarak geçerli toleransların dışına çıkar.

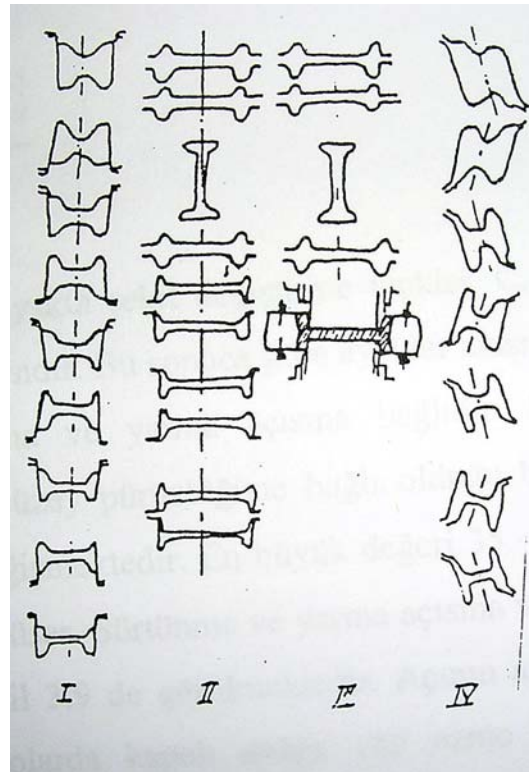


Şekil 3.2. Standart bir blum görüntüsü [10] Şekil 3.3. Taslak malzeme için yarma işlemi [10]



Şekil 3.4. Profilin kaba hali [10]

Şekil 3.5. Bir I profil [10]



Şekil 3.6. Diagonal sistem paso şekilleri [11]

3.1.1.1. Haddeleme hızı

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi pasonun çeşitli şekillendirme noktalarında çevresel hız değişiktir. Polukhin, Fedosov ve Matveyev [11] yukarıdaki çap farkına değinerek, açık ayağın dış yüzeyinde uca doğru hız artışına ve iç yüzeyde ise aynı oranda bir azalmaya dikkati çekmektedir. Bu analize göre, yatay herhangi bir kesitte açık ayak haddeleme hızı sabittir.

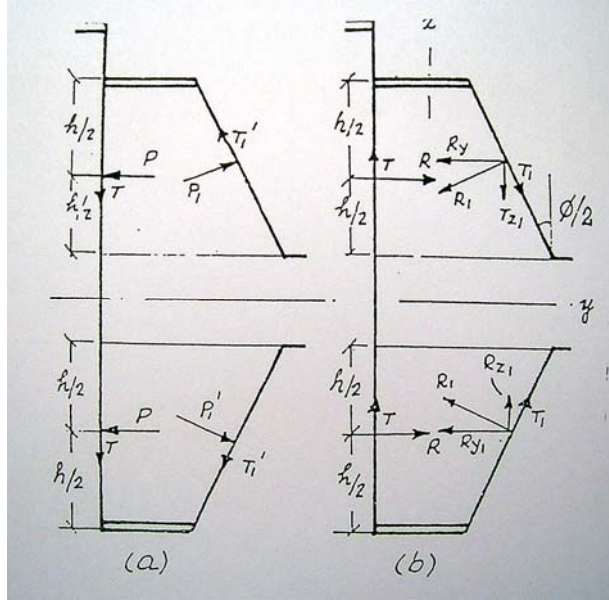
Aynı araştırmacılar yaptıkları hız karşılaştırmalarında açık ayak hızının kaburgaya ve kaburganın ise kapalı ayağa oranla fazla olduğunu saptamışlardır. V. Grume profildeki hız değişimine deneysel olarak çok açık şekilde saptamıştır (Şekil 3.6). Bu araştırmacıya göre profillerin haddeden çıkış hızı, kaburga hızına eşittir. Polukhin ve arkadaşları da bu sonucu doğrulamışlardır. Ancak yarma ve ön şekillendirme pasolarında kaburga tam anlamı ile oluşmadığından yukarıdaki öneri sadece o safha için geçersizdir [11].

3.1.1.2. Profil ayaklarını etkileyen kuvvetler

Kaburga bölgesi direkt ezilmeye uğrarken ayaklardaki durum daha karmaşıktır. Polukhin [11] ve arkadaşları ayaklardaki ezilmenin sarflarını analiz edebilmek amacı ile aşağıdaki ön kabuller çerçevesinde basitleştirmelere gitmiştir :

- a) Açık ve kapalı ayaklar eşit şekil ve boyutlardadır.
- b) Her iki ayak için önerilen yan ezme eşittir.
- c) Kapalı ayakta yükseklik ezmesi yoktur.
- d) Ayaklarda yatay gerilimler yoktur.

Merdane-malzeme sürtünmesinden ötürü merdane yüzeyinde oluşan kuvvetler Şekil 3.7a’da gösterilmiştir. Burada önemli olan, dış ve iç ayak yan yüzlerinde sürtünme kuvvetlerinin yön değişikliğidir. Malzeme üzerine etkileyen kuvvetlerin analizi ise 3.7b’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Malzeme üzerine etkiyen kuvvetler [11]

Kuvvet analizlerine dayanarak Polukhin detaylı hesaplamalar yaparak kapalı ayaktaki şekil değiştirme tepkisinin açık ayaktakine oranını matematiksel olarak saptayabilmiştir ;

$$\frac{C_k}{C_a} = \frac{1 + 2\mu \cdot \text{Cot} \left(\frac{\theta}{2} - \mu^2 \right)}{1 + \mu^2} \quad (3.3)$$

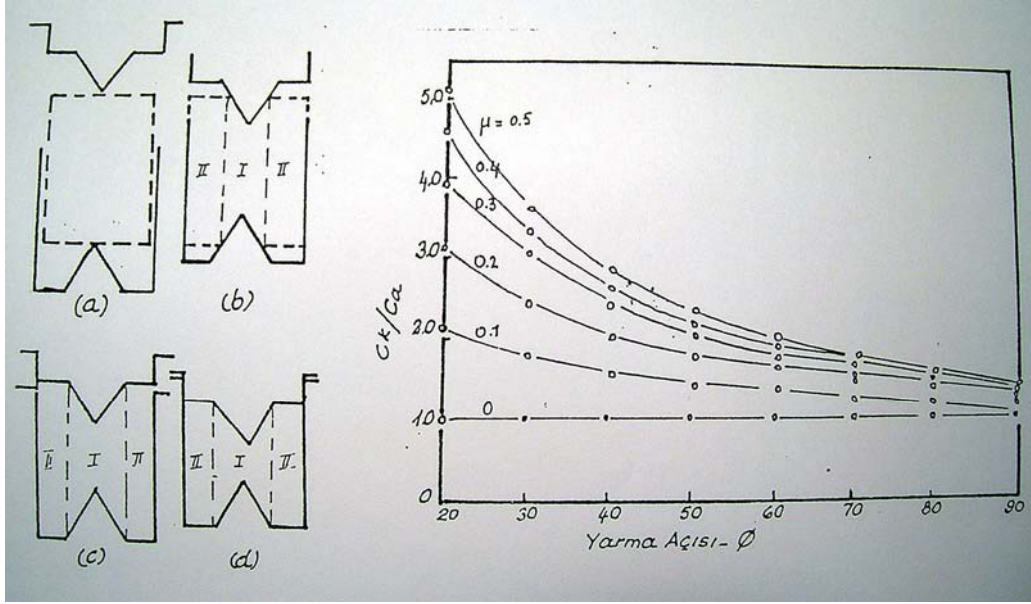
Burada; C_k kapalı ayakta şekil değiştirme tepkisi, C_a açık ayakta şekil değiştirme tepkisi, θ yarma açısıdır. Bu sonuca göre ayaklar arası şekil değiştirme tepkisi oranı, sürtünme katsayısına ve yarma açısına bağlıdır. Sürtünme sabitinin malzeme sıcaklığı ve paso yüzey pürüzlüğüne bağlı olduğu bilinmektedir. Yarma açısı ise pasodan pasoya değişmektedir. En büyük değeri $35-50^\circ$ dir. Giderek azalır ve son pasoda 10° kadar düşer. Sürtünme ve yarma açısına verilen değerlerden hesaplanmış C_k/C_a oranları Şekil 3.9'da görülmektedir. Açının azalması ile bu oran arttığından lider ve son pasolarda kapalı ayağa yan ezme verilmez. Bundan ötürü bazı kalibreciler kapalı ayağın 1/2-2/3, açık ayağın 1/3-1/2 kadarlık bölümü hiç şekil değiştirmeye tepki göstermeyecek boyutlandırmalar önerirler. Lider ve son pasolara bu yöntem uygulanmaz. C_k/C_a oranının fazla olmasından ötürü açık ayakta belirmesi

olağan fitile kaçma hali, kalın kaburga pasolarda gözlenmez. Çünkü kalın kaburga bölgesi kapalı-açık ayak yönünde bir malzeme akışına tampon görevi görür .

Yarma açısının büyük değerleri için C_k/C_a oranı 1'e yaklaştığından ön şekillendirme pasolarında ayak çekmesi gözlenmez. Ancak uygun blum seçimi de gereklidir. Yüzey sürtünme sabitinin C_k/C_a oranına etkisi çok fazladır. Eğrilere de görüldüğü gibi sürtünme ile oran arasında doğru bir bağlantı vardır. İdeal şartlarda sürtünmenin sıfır olması halinde ayaklar arası şekil değiştirme tepkisi eşittir ve ayaklar çekmez. Ancak sıcak haddeceilikte sürtünme sabitinin değerleri üzerine önerilen veriler kesin değildir [12]. Bundan ötürü tepki oranı için mutlak veriler önerilemez. Pratikte aşınmayı önlemek ve ayak çekmesini azaltmak amacı ile lider ve son pasoya sürtünmeyi azaltıcı sıvılar akıtılır. Yukarıda kısaca özetlenen Polukhin ve arkadaşlarının önerilerine göre, kapalı ayaktaki yatay gerilimler açığa oranla 1.25-1.75 misli azdır. Buna dayanarak b ve d şıklarındaki ön kabuller yerine, ortalama 1,5 misli daha az yatay gerilim oranı kabul edilecek olursa, C_k/C_a oranı karşılaştırılabilecek pratik düzeye ulaşabilir.

3.1.1.3. Pasoda ezilme safhaları

Tipik bir ayaklı I profilde çeşitli bölgeler aynı anda çalışmazlar. Bu durum Şekil 3.2'de değiştirme bölgelerini inceleyerek açıklanabilir. Şekil 3.8'de malzemenin iki merdane arasındaki birbirini takip eden 4 safhası görülmektedir. Önce açık ayaklar yan ezmeye uğrar, kaburga ve kapalı ayak merdane ile temas halinde değildir. Bu ilk safhadır. Bunu takiben 2. safhada kapalı ayakta yükseklik azalması gözlenir. Yine kaburga ezilmemiştir. 3 safhada ayaklar ezilirken kaburga merdaneler ile temasa geçer. Kaburganın tüm ezildiği 4. safhada ayaklardaki şekil değiştirme sona ermiştir. Yarma açısının artması, ayak-kaburga ezilme safhaları arasındaki zaman farkını azaltacağından daha homojen şekil değiştirme sağlar. Malzeme kitlesinin ve sıcaklığının fazla olduğu ilk pasolarda bu açının da büyük olması nedeni ile ayaklarda çekme olmaksızın kaburga fazlaca ezilebilir. Pratikteki gözlemler ise profil haddelenmesinde ilk pasoların dolmadığını göstermiştir. Ancak bu durum uygun blum boyutlarının seçilmemiş olmasındandır [11].



Şekil 3.8. Haddelenme safhaları[11]

Şekil 3.9. C_k/C_a oranları ile yarma açısının değişimi[11]

3.1.2. Profil kalibrasyonunda genel ilkeler

Kalibrasyon yapılırken aşağıdaki maddeler göz önünde tutulmalıdır.

a) Fazla uzama sabitleri ve elemanlar arası aşırı malzeme akışlarına sıcaklığın yüksek olduğu ve kavislerin büyük olduğu ilk paslarda müsaade edilmelidir.

b) Malzemenin tüm sıcaklığının düştüğü ve bilhassa bölgeler arası sıcaklık farklılaşmasının en belirgin olduğu son pasoda, yatay malzeme akışı önlenmeli ve elemanlara çok yaklaşık ezme düzeyleri sağlanmalıdır. Bu pasoda köşe kavisleri ufaktır ve malzeme akışını önleyici niteliktedir. Açık ayak uzamasının ortalamadan fazla olduğu zaman fitile kaçma, kaburga katlanması ve kapalı ayakta yapışma gözlenir. Kapalı ayak uzamasının ortalamadan fazla olması halinde kapalı ve açık ayakta tam dolma olmaz. Yinede ince ayakların benimsendiği dizaynlarda tam dolma sağlanmasında bu geçerlidir.

c) Sadece komşu bölgeler arası malzeme akışı sağlanabilir.

d) Küçük kavisler malzeme akışını önleyerek fitile kaçma veya katlamalara sebep olur. Küçük sıcaklıklarda yatay akış önlenmelidir, çünkü bu durum aşırı aşınmaya sebep olur.

e) İnce açık ayaklar için az, kalınlıkları için fazla yan ezme verilir. Kapalı ayakta direkt ezme verilmelidir ve değerler aşırtakinden az olmalıdır.

f) Sıcaklık, profil ağırlığı ve köşe kavislerinin yanı sıra her bölgenin kendi kesit miktarı da malzeme akışına o derece etkendir.

g) Son pasoda kaburga ezmesi ayaklardan daha az olmalıdır. Ufak bir hadde ayarı kaburgayı ayaklardan daha fazla etkilenmektedir.

h) Boşluk veya fitile kaçma olaylarında bir önceki pasodaki kavisler arttırılmalıdır. Eğer boşluk varsa kavis azaltılabilir, fitile kaçma varsa tüm paso tornalanır.

ı) Paso genişliği ve koniklik saptanırken kapalı ayağa giren kısmın en az 2/3 yüksekliğinde olması gereklidir. Açık ayak için birkaç milimetre yeterlidir.

k) Kalibreler dizayn edildikleri gibi pratikte çok nadiren kullanılırlar. Bu nedenle ayarlardan doğacak problemleri ortadan kaldırmak için son ve lider pasolarda elemanlara eşdeğer ezme verilir.

i) Buradaki hesaplamalar yeni merdane içindir. Aşınmadan sonra bu parametreler değişecektir. Sıcak boyutlardan daima (-) toleranslar düşülerek dizayn yapılmalıdır [9].

3.1.3. Haddeledede kapma ve sürtünme mekanizması

Haddelenen metalin, merdane pasosundan geçişinde çeşitli faktörlere bağlı olarak iki hal olabilir:

1) Metal, merdaneler tarafından kapılır ve merdane pasosunun içine doğru itilir. (Şekil 3.10).

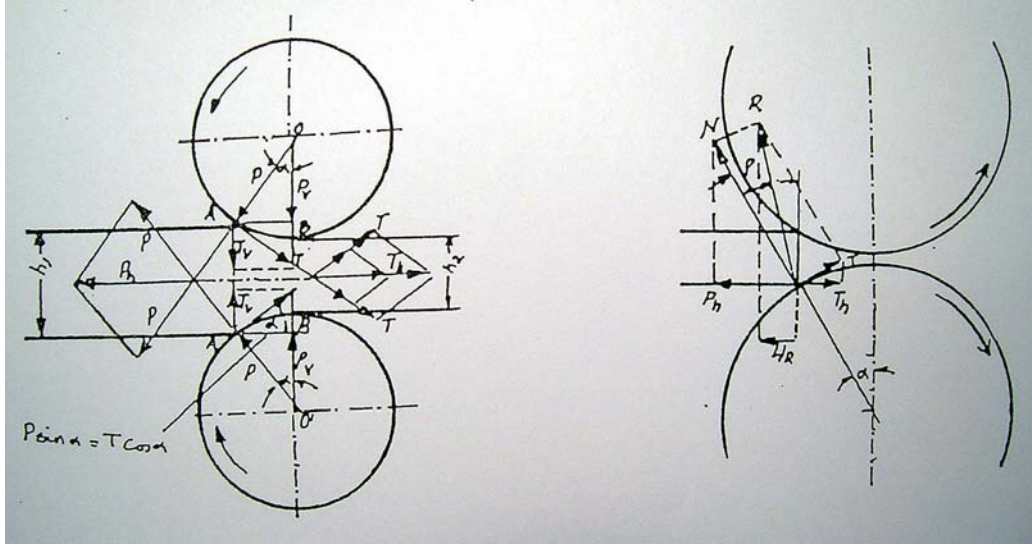
2) Metal, merdane yüzeyine kayar (Şekil 3.11).

Metalin merdane pasosundaki davranışını tayin edici faktörler kapma açısının miktarı ve bu açının sürtünme açısına oranıdır.

Sürtünme kuvvetinin boyutu, temas eden yüzeylerin durumuna, kayma hızına ve merdane basıncına bağlıdır. Merdaneler arasından geçen metal, merdanelere temas noktasında P kuvveti tatbik eder ve merdaneler de metal üzerine eşit ve ters yönlü bir reaksiyon uygular. Bu kuvvet temas noktası ile merdaneler merkezinden geçer (Şekil 3.10). Metal ile merdaneler arasındaki hız farkından dolayı sürtünme kuvveti T meydana gelir. Bu kuvvet, merdane yüzeyine teğet ve P kuvvetine dik olarak oluşur.

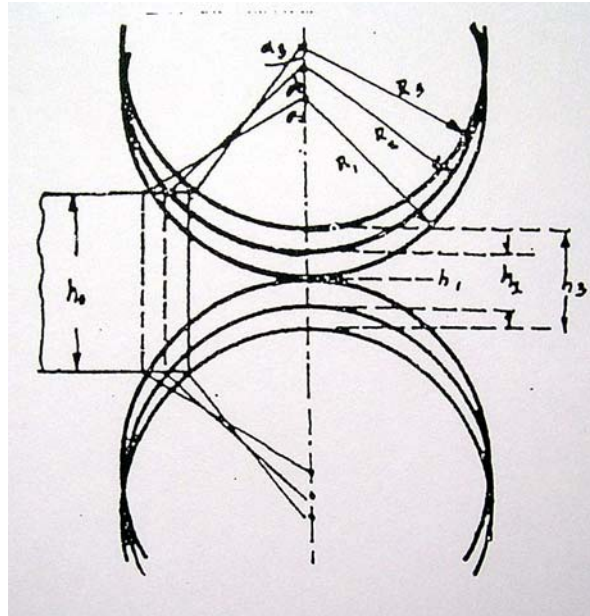
Haddelenmede ortaya çıkan kuvvetler vektörlerle gösterilmiş ve bileşenlerine ayrılmıştır. P_v : merdane basıncı P'nin dikey bileşenidir ve haddelenen metalin yüksekliğini azaltmak için gereklidir. P_h , P'nin yatay bileşenidir. Haddelenen metali merdanelerden çıkarmaya çalışır. Sürtünme kuvveti T de iki bileşene ayrılmıştır. Dikey bileşen T_v , metali ezmeye çalışır. Yatay bileşen T_h ise metali merdane pasosu içine sürmeye çalışır. Eğer çubuklar üzerinde pasosunun ilk yüksekliğinden yüksekliği azaltarak çeşitli haddelenme deneyleri yapılırsa, ortaya şu sonuçlar çıkar: (Şekil 3.12) Kapma açısı α artacak ve neticesinde yatay bileşen P_h de artacaktır. Aynı zamanda sürtünme kuvvetinin dikey bileşeni T_v azalacaktır. Bundan dolayı metali merdaneler dışına atma eğilimi artacaktır. α açısının belli bir değerinde serbestçe haddelenme imkânsız hale gelecektir [12].

Haddelenen metali merdanelerden içeri itmek için herhangi bir kuvvet kullanmadan, serbest haddelenme yerini aldığı andaki maksimum α açısına, maksimum kapma açısı adı verilir. Maksimum kapma açısının değerleri; merdanelerin yüzey durumuna, metale, haddelenme sıcaklığına ve hızına bağlı olarak geniş değerler arasında değişir .

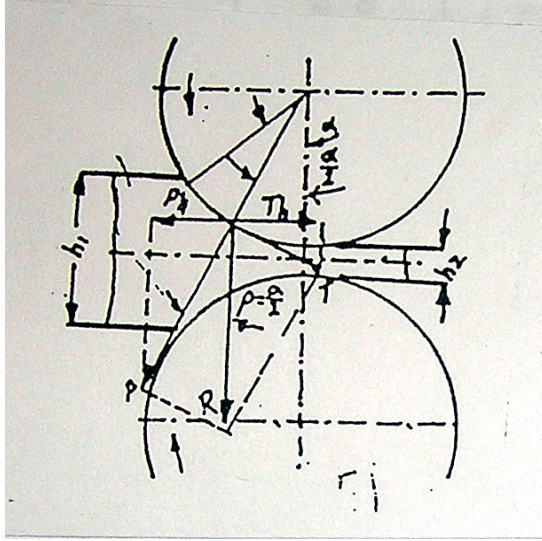


Şekil 3.10. Kapma anındaki kuvvetlerin dağılımı
(Merdanenin kapması mümkün)[12]

Şekil 3.11. Kapma anındaki kuvvetlerin dağılımı
(Kapma mümkün değil)[12]



Şekil 3.12. Hava boşluğu artarken kapma açısının küçülmesi[12]



Şekil 3.13. Merdane blumu kaparken toplam kuvvet eşitliği hali [12]

$$\text{Sürtünme Kuvveti} \quad T = f P \quad (3.4)$$

Burada;

$$f = \text{Sürtünme katsayısı} \quad f = \tan \rho$$

$\rho =$ Sürtünme açısı

P ve T'nin koordinat sisteminin yatay eksenini boyunca ayrılması ile bileşenlerin değerleri bulunur. (Haddemele yönü pozitif yön seçilmiştir.) (Şekil 3.10).

$$P\text{'nin yatay bileşeni} \quad P_h = -P \sin \alpha, \quad (3.5)$$

$$T\text{'nin yatay bileşeni} \quad T_h = T \cos \alpha \quad (3.6)$$

Denge durumu için, metali iten ve çeken yatay kuvvetlerin cebrik toplamlarının 0 olması gerekir, veya kuvvetlerin merdane üzerindeki etkileri de düşünülebilir.

$$P_h + T_h = 0 \quad (3.7)$$

Dolayısı ile;

$$P \sin \alpha = T \cos \alpha \quad (3.8)$$

$$T = f \cdot P \quad (3.9)$$

$$\sin \alpha = f.P \cos \alpha \quad (3.10)$$

Bu nedenle;

$$f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \quad (3.11)$$

$$f = \tan \alpha_{\max} = \tan \rho, \quad (3.12)$$

ve bu sebeple

$$\alpha_{\max} = \rho \quad \text{olur.} \quad (3.13)$$

$\tan \alpha = \frac{\sqrt{R\Delta h}}{R - \Delta h / 2}$ denklemini kullanarak

$$f = \tan \alpha_{\max} = \frac{\sqrt{R\Delta h_{\max}}}{\left(R - \frac{\Delta h_{\max}}{2}\right)} \quad \text{bulunur.} \quad (3.14)$$

Burada Δh_{\max} ; merdanelerin metali kaptığı en büyük ezmedir.

Böylece aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- 1) Merdaneler metali kapma açısı sürtünme açısına eşit veya daha az olduğu zaman kapar,

$$\alpha \leq \rho \quad (3.15)$$

- 2) Serbest haddeleme aşağıdaki limitlerde yerini alır.

$$0 < \alpha \leq \rho \quad (3.16)$$

- 3) Kapma açısının maksimum değerlerini kullanarak (3.14) denkleminde sürtünme katsayısı bulunur. Haddeleme sırasında ρ bileşke açısı değişir ve değeri malzeme pasoyu tam doldurduğu zaman yaklaşık olarak $\alpha/2$ 'ye eşittir (Şekil 3.13).

Buradan 4. netice çıkarılabilir.

$$\alpha/2 \leq \rho \quad (3.17)$$

- 4) Metalin kapılmasından ve pasonun doldurulmasından sonra teorik limitler dahilinde serbest haddeleme yerini alabilir [12].

$$0 < \alpha \leq 2\rho \quad (3.18)$$

3.2. Ana Tahrikler İçin Motor Tipleri

Hadde tahrik sistemlerinde kullanılan başlıca dört tip motor vardır. Synchronous (Senkron Motorlar), Squirrel-Cage (Sincap Kafesli-Asenkron motorlar), Wound-rator (Rotoru sargılı Asenkron motorlar) ve doğru akım motorları. Bunlardan sonuncusu hariç hepsi alternatif akımla çalışırlar.

- **Senkron Motorlar (Synchronous Motors);** İndüksiyon motorlarına oranla verimleri daha yüksek, ilk yatırım masrafları ise biraz daha fazladır. Hadde tahriklerinde kullanılmak üzere, 10.000 HP büyüklüğe kadar olanlar vardır. Bunlar sabit süratli motorlar olup, enerji kaynağının frekansına bağlıdırlar. Ani akım darbesi durumlarında devir düşme imkânları yoktur. Bu yüzden de karşılaşılmaması muhtemel en büyük akım yüklerini karşılayabilecek büyüklükte torca sahip olmaları gerekir. Senkron motorlar genellikle motor-jeneratör gruplarının tahrikinde, hava kompresörlerinde, pompalarda ve benzeri sabit yüklerin mevcut olduğu teçhizatlarda kullanılırlar [13].

- **Sincap Kafesli Motorlar (Squirrel-Cage Motors);** Bu tip indüksiyon motorları dizayn yönünden en basiti olup, tork ve ebat yönünden geniş sınırlarda yapılmaktadırlar. 10.000 HP'ye kadar büyüklükte olanlar genellikle belirli sürat aralıklarında çalıştırılmak üzere dizayn edilmiş olup, 100 dev/dak. sürate kadar düşük devirli olabilmektedirler. İlk yatırım masrafları en az olan motorlardır. Fakat verimleri de senkron motorlardan daha düşüktür ve alçak süratlerde güç faktörü azalmaktadır. Örneğin: 500 HP, 60 çevrimli bir indüksiyon motorunun 900 ve 514 dev/dak verim ve güç faktörleri şöyledir:

Tablo 3.1. Sincap kafesli motorun devirlere göre verimleri [13]

Dev/dak.	% VERİM		
	1/2 Yükte	3/4 Yükte	Tam Yükte
900	91,1	92,9	93,1
514	91,3	92,3	92,3
	GÜÇ FAKTÖRÜ		
	1/2 Yükte	3/4 Yükte	Tam Yükte
900	82,0	88,0	90,0
514	75,0	83,0	86,5

Bu tip motorlar fanlarda, pompalarda, kompresörlerde ve makaslarda kullanılır. Genellikle ana tahriklerde kullanılmaz.

- **İndüksiyon Motorları -Bilezikli Asenkron Motorlar (Wound-Rotor);** Bu tip indüksiyon motorları çelik sanayinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bunlar genellikle volanlı motor jeneratör grupları için uygun olup, orta büyüklükte olanlar 360 dev/dak, büyük tipte olanlar ise 300 dev/dak. süratte dizayn edilirler, 514 dev/dk. olanlar da vardır. Tipik bir kuruluştta 8000 HP motorla birlikte 65 ton'luk 215.000 HP.sn'lik volan mevcut olup, 4 adet 2500 kW'lik ve 2 adet 1750 kW'lik doğru akım jeneratörleri ile tahrik edilmektedirler.

- **Doğru Akım Motorları ;** Haddelerin ana tahrik sistemlerinde geniş sürat sınırlarında çalışma talebi yüzünden bir çok büyük doğru akım motorları bu gaye ile kullanılmaktadır. Bunlar düz hız karakteristiğinde dizayn edilirler ve genellikle 600 voltta çalışırlar. 8000 HP büyüklükte olanları mevcuttur. Çalışma şartları sonucu ısınmalar yüzünden cebri hava soğutması gerekmektedir. Normal hız aralığı 2:1 olmakla birlikte daha büyük oranlarda mümkündür [13].

3.3. Kardemir’de Haddehaneler

3.3.1. I.ve II. Haddehane (eski, 28" Trio Haddehane)

Pinyon eksenleri arası nominal değeri 28" olan üçlü hadde 28"lik Trio Hadde olarak isimlendirilmektedir. İngiliz Davy United firması tarafından 1940 yılında kurulmuştur. 28" Trio Haddede haddelenecek malzemeleri tavlama için saatte 25'er ton kapasiteli, karışık gazla ısıtılan Bacht tipi, sürekli, arkadan şarjlı, alt ve üstten alevli iki tav fırını vardır. Fırının ısı şarjı 650.000 Kcal/ton, her bir fırının çektiği gaz ise ortalama 4500 Nm³/h'dir. Bu gaz altışar yanlarda, 5 önde 17 börnerle fırın içine verilmektedir. Gaz basıncı 110-120 mm.ss., fırın faydalı boyu 21400 mm, eni 3367 mm'dir. Malzeme fırında bulunan birbirine paralel ve su ile soğutulan özel borular üzerinde hareket eder. 1150 °C-1250 °C arasında tavlanan malzemelerin fırından alınıp role yoluna verilmesinde üç yönde ve eksen etrafında hareketli bir fırın vinci kullanılmaktadır [14].

Bu hadde grubuna ait üç profil tezgahında; birincisi ve ikincisinin faydalı boyu 1830 mm, üçüncü tezgahın faydalı boyu 1420 mm olan merdaneler kullanılır. Gerek blok, gerekse profil haddelerinde merdaneler su ile soğutulan ayrıca otomatik yağlama bronz yataklar üzerinde çalışır. Son tezgâhın çıkışında haddelenen malzemeleri istenilen boyda kesmek için 200x200 mm kesme kapasitesi olan sarkaç tipli iki sıcak testere bulunmaktadır. 2001 yılında yapılan çalışmalar sonucu mevcut soğutma ızgaralarına yapılan ilaveler ile ızgaralar 36 m'ye çıkarılmıştır.

I. Haddehane, eski ya da 28" Trio Haddehane olarak da adlandırılır. II. Haddehane içinde; her bataryası 4 çukurdan oluşan 12 çukur ihtiva eden Tav Çukurları, 34"lük Blok Haddesi, Ara Tav Fırını, 28"lik Duo Kütük ve 28"lik Duo Profil haddeleri ile ikmal hatları bulunur. II. Haddehane, yeni haddehane olarak da adlandırılır [14]

(Ek. 2).

3.3.2. Tav çukurları

Tav Çukurları 1960 yılında eski çelikhane üretilen 3,9 tonluk ingotları tavlama üzere kurulmuştur. Kuruluşunda 4'er çukurdan 2 batarya ile çalışmaya başlayan Tav Çukurlarında, çelikhane üretimine paralel olarak 4 çukurluk bir batarya ilave edilerek 12 çukura çıkartılarak 700.000 ton/yıl bir kapasite düşünülmüştür. Tav Çukurları karışık gazla otomatik kontrollü olarak ısıtılır. Her bir çukura birer börner vasıtasıyla saatte ortalama 1500 m³ gaz verilir. Malzemenin Tav Çukurlarına üstten şarjı ve tavlandıktan sonra haddeye verilmesi için iki adet asansörlü vinç kullanılır.

3.3.3. Ara tav fırını

28" lik Döo profil Haddesi ile beraber işletmeye alınan Ara Tav Fırını, dışarıdan sağlanan malzemenin veya 28" Döo Profil ve 28" Trio Hadde'de işlenen malzemenin ara tavlama için kullanılır. Karışık gaz ile reküperatif sistemle ısıtılan bu fırının beş bölmesi vardır. Gaz, her iki cepheden münavebeli olarak beşer börner vasıtasıyla verilir. Fırında tavlama malzemelerin boyu en çok 5800 mm'dir. Malzemeler önden 5 tonluk bir araba ile şarj ve deşarj edilir.

3.3.4. 28" Döo hadde

Biri kütük ve ikisi profil tezgahı olmak üzere üç tezgahtan oluşan ve ismini merdane eksenleri arasındaki uzaklığın nominal değerinden (28") alan bu grup İngiliz Davy United firması tarafından inşa edilmiştir. Nominal kapasitesi 45 ton/saat yıllık optimum kapasitesi ise daha önce sadece 75x75 ve 78x78 ebatlı kütükler üreten kütük haddesinin yıllık kapasitesi 225.000 ton olup, Kontinü Haddehanede 1991 tarihinden itibaren 90x90x9000 ebadında kütük kullanılmaya başlanınca buna paralel olarak haddede 90x90 kütük de üretilmeye başlanmış ve yıllık 75.000 tonluk bir üretim artışı meydana gelerek yıllık kapasite 300.000 tona ulaşmıştır. Bu bölümün çıkışında biri yatay diğeri sarkaç tipli olmak üzere iki sıcak testere vardır. Ayrıca ağır platinaların istenilen boyda kesilmesi için 250 tonluk giyotin tipi bir sıcak makasta bulunmaktadır [15].

İki tezgahtan oluşan profil+kütük haddesinin yıllık kapasitesi 170.000 tondur. Kontinü Haddehanede 90x90 kütük kullanılmasından dolayı meydana gelen 50.000 tonluk üretim artışının Duo profil haddesine yansması 30.000 ton olarak ortaya çıkmış ve yıllık üretim bu surette 200.000 tona ulaşmıştır. 28"Duo haddeler grubunda 1998 yılında enerjiden verim ve arıza duruşlarını asgariye indirmek açısından motor jeneratör sisteminden tristör hız kontrol sistemine geçilmiştir.

28" Duo Profil Hadde grubuna ait ara tav fırını 28" Trio Haddehanede hizmet vermektedir. Bitirme ikmal grubunda ise bir adet doğrultma tezgâhı ve iki adet ray delme ve kesme ünitesi (frezeleme tezgâhı) mevcuttur.

3.3.5. Kontinü haddehane

Alman Demag firması tarafından 1965 yılında kurulan bu tesiste 78x78x9000 ebatlı kütükler haddelenerek, hafif profil ve yuvarlak çubuk üretilebilmektedir. Kontinü haddede 1991 yılından itibaren yuvarlak çubuk üretimlerinde 90x90x9000 ebatlı kullanımına başlanmıştır. Daha sonra yapılan çalışmalar sonrası 1998 yılından sonra bu hadde grubunda 100x100x9000 ebatlı kütükler kullanılmaya başlanmıştır. Kontinü Haddehanede 4'ü dikey 15'i yatay olmak üzere toplam 19 tezgâh bulunmaktadır. 12-32 mm arası yuvarlak çubukların üretimi fiili olarak çalışan 15 yatay tezgahla yapılmakta; Ø 8-10 mm kangal üretimi için de ilaveten 6 adet yatay tezgahlı blok grubu kullanılmaktadır. Tesiste 80 ton/saat kapasiteli üç bölmeli ve itmeli tip tav fırını bulunmaktadır. Fırın ölçüleri 22x9.5 m olup yakıt olarak kok gazı ağırlıklı karışık gaz kullanılmaktadır [15] (Ek. 2).

BÖLÜM 4. KARDEMİR'DE RAY ÜRETİMİ

4.1. Rayın Tanımı ve Özellikleri

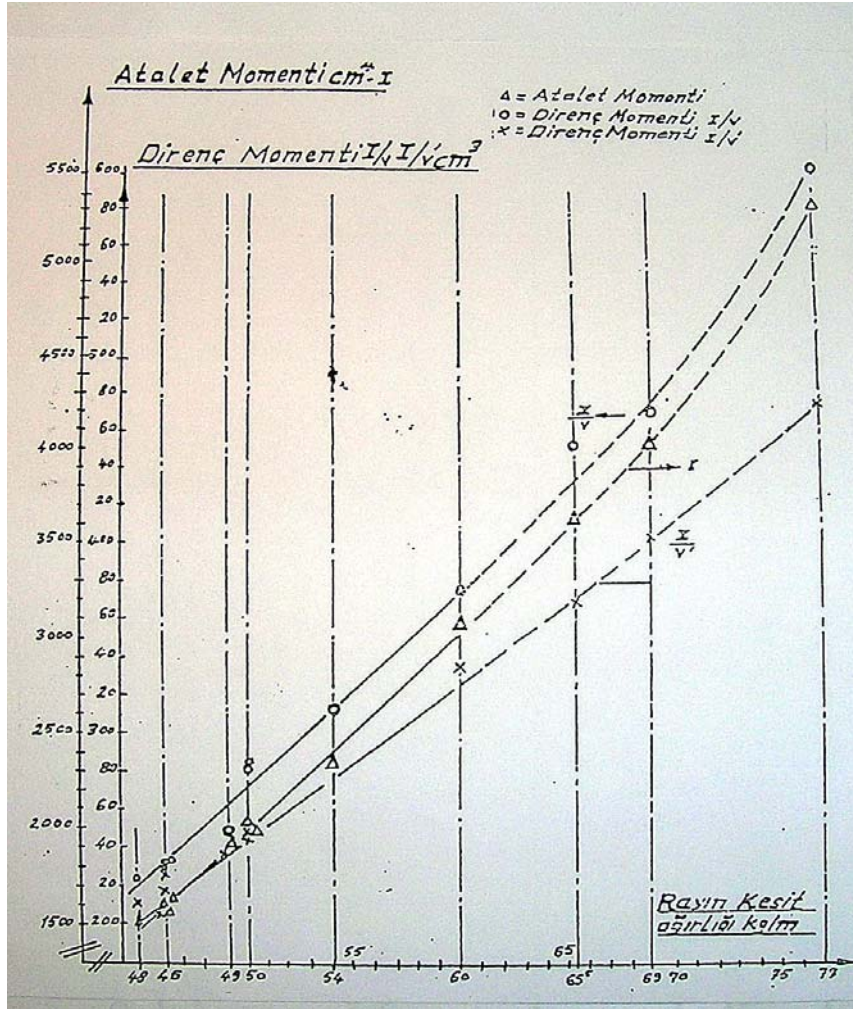
Demiryolu rayı; değişken yükler altında, yüksek zorlamaları, üzerinde oturduğu malzemeye intikal ettiren bir yapı elemanıdır. Demiryolu taşımacılığındaki gelişmeler; yüksek hız, uzun vagon boylarında daha büyük tekerlek yükleri, kaynaklı rayların kullanımındaki gelişmeler, daha büyük ivmeler ve daha kısa fren mesafeleri olarak sıralanabilmektedir. Performans artışını sağlamak için raylarda ihtiyaç duyulan ana özellikler; aşınma direnci, yorulma direnci, plastik deformasyon direnci, kalıntı gerilmelerin giderilmesi ve kaynaklanabilirliktir. Yüksek aşınma direnci perlitik ray çeliklerinin sertlik değerlerinin artırılabilirliği ve metalurjik yapılarındaki gelişmeler ile mümkündür [16].

Yorulma direncinin iyileştirilmesi mikroyapı homojenliğinin daha iyi sağlanması, sürtünme dayanımındaki artışlar ile ilişkilidir. Plastik deformasyon direnci için ray sertlik değerlerinin artırılması ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle oluşan yüzey kaymalarının minimum seviyeye indirgen teknolojik gelişmeler önemlidir. Kaynak kabiliyeti karbon miktarı arttıkça azalmaktadır. Alaşım 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 [17]. 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 hatta 200 km/saat, 250 km/saatlik hızlar çok yüksek sayılmamaktadır. Bundan daha önemsiz sayamayacağımız diğer bir faktör de dingil yüklerinin artmasıdır. Çok yakın geçmişte eğilim maksimum 25

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 [18]. Ray çeliğinin çekme mukavemeti son dönemlerde 70-80 kg./mm² olarak tayin edilmiştir. İnküzyon ve mikro çatlakların daha iyi kontrolü sayesinde, iç yapıda daha iyi özellikler elde etmek mümkün olmuştur [19,20]. Bu kalite sınıfındaki çeliklerde bir takım gelişmeler olmasına rağmen bunlarda yetersiz hale gelmiştir. Bundan dolayı 90 kg/mm² ve 110 kg/mm² çekme mukavemetinde çelikler geliştirilmiştir [21].

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 [22]. 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 ve direnç momenti (I/v , I/v')'nin ağırlıkla ve hızla olan dikkat çekici bir artış göstermektedir. Rayın sertliğindeki bu artış rayın deformasyonunun azaltılmasına yardım eder ve doğal olarak tamirat gereksinimleri de o derece azalır (Şekil 4.1). Demiryolu işletmecileri rayın ağırlığındaki artışların 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. Ray üreticileri açısından durum, daha ağır raylara geçiş eğer demiryolu şirketleri tek bir ray üzerinde karar verirlerse bir avantaj olabilecektir. U.I.C.'nin çalışmaları ile bu modern bir eğilim olarak gözükmektedir [23].



Şekil 4.1. Atalet momenti ve direnç momentinin (I/v , I/v^3) ağırlıkla değişimi [23]

4.1.1. Ray malzemelerindeki gelişmeler

Günümüzde ise genelde UIC 900A normları geçerlidir (Tablo 4.1.). Bu tabloda şu noktalar dikkate alınır:

1-Artık Asid Bessemer ve Bazık Bessemer ray çeliği üretimi için kullanılmayacaktır. Standartlar için olmasa bile OBM metodu Bazık Bessemer metodunun yerini almaktadır [24].

2-Tabloda verilen analiz değişimleri uç değerlerdir. Üreticiler kendi standartlarını kullanarak istenen mekanik özellikleri garanti ederler.

3-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 [24].

Tablo 4.1. UIC 860.0 Standardı çelik analizi [24]

İmalat Metodu	C	Mn	Si Max.	P Max.	S Max	kg/mm ²	5d
Bazık 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	70-85	% 14
Siemens Martin	0,40-0,55	0,80-1,20	0,35	0,04	0,05	70-85	% 14
Elektrik Fırınlan	0,40-0,60	0,80-1,20	0,35	0,04	0,05	70-85	% 14
O ₂ Üfleme	0,40-0,60	0,80-1,20	0,35	0,05	0,05	70-85	% 14
Çok sert çelikler							
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	0,40	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 üretilen daha yüksek, elastiklik limiti/sertlik oranı olan çeliklerin adaptasyonu, çok sert çeliklere göre daha iyi netice verebilir [25]. Genelde yüksek elastiklik limitlerine sahip rayların adaptasyonu sert raylardan daha iyi netice verecektir [26].

b) 300-400 m gibi az çaplı virajlarda sürtünme aşınmasından dolayı raylar değiştirilmelidir. Bu halde 110 kg/mm^2 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 [27]. Ray kullanımının başlangıcından 1950'lere kadar alaşımsız çelikten üretilmiş tipik rayların bileşimleri Tablo 4.2'de mevcuttur.

Tablo 4.2. 1950'lere kadar tipik ray çeliği bileşimleri.[27]

Ray cinsi	%C	%Mn	%Si	Kopma muk. (kg/mm^2)
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 0,64-0,77	0,60-0,90 0,60-0,90	0,10-0,23 0,10-0,23	76 87
42.2-50 kg/m 59.5-60 kg/m	0,69-0,82	0,71-1,0	0,10-0,23	94,5
Türkiye 46.3 kg/m 49.4 kg/m (~st 70)	0,45-0,55 0,45-0,55	0,85-1,15 0,85-1,15	0,15-0,20 0,15-0,20	87,5 87,5

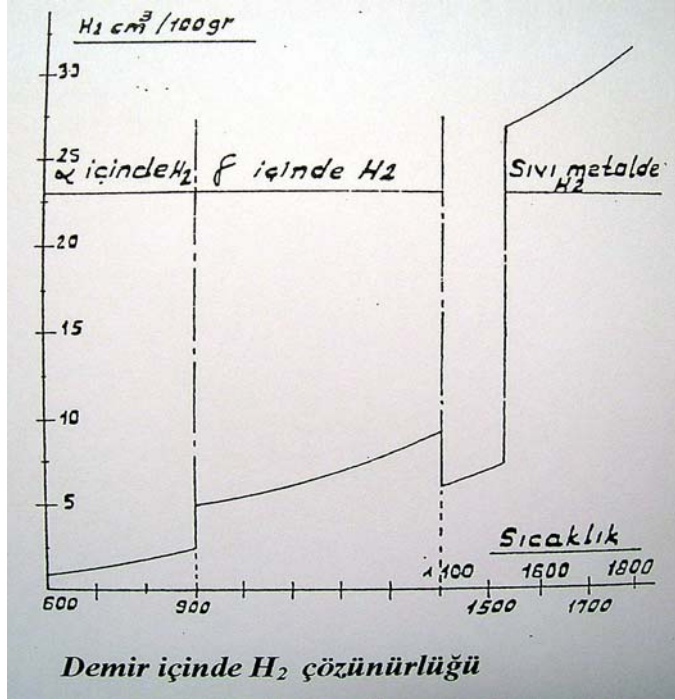
1950'lerden sonra ray malzemesine %1,00–1,30 kadar Cr ilave edilerek sertliği ve mukavemeti artırılmıştır. En son durumda Cr-Mo'li rayların üretimine gidilmektedir. Hidrojenin düşürülmesi için vakumla gaz giderme tekniği uygulanmakta ve H_2 miktarının 2 ppm'in altına düşürülmesi istenmektedir.

Tablo 4.3. Günümüz (UIC 900A) tipik ray çeliği bileşimleri.[27]

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 mukavemetine etki ederler. Raylar yolda yük altında çalışmaya maruz bırakıldıklarında bu iki etken oval kısımlarda yorulma çatlakları ve merkezde yatay çatlaklar olarak kendini göstermektedir [28].

• **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 4.2). 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 olduğu mikro çatlakların soğuma periyodunda oluşmasının gerekmediği vurgulanmalıdır. Çelik tipine ve içindeki hidrojen miktarına bağlı olarak belli bir kuluçka devresinden sonra çevre sıcaklığında mikro çatlaklar oluşabilir [24,28,29].



Şekil 4.2. Çeşitli çelik türlerin hidrojen içerikleri [24]

- **Çeşitli çelik türlerinin hidrojen muhtevaları:** Erimiş çelik içindeki hidrojen miktarı büyük çapta imalat metoduna bağlıdır. Aşağıdaki tablo çeşitli metodlara göre hidrojen seviyelerini göstermektedir.

Tablo 4.4. Çeşitli imalat metodlarında H₂ seviyesi [24]

İmalat Metodu	H ₂ (cc/100gr)
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 Curufllu Elektrik Fırını	4 — 8
Tek Curufllu Elektrik Fırını	3 — 4

Bir çok üretim metodu için aşağıda önerilen noktalar yerine getirildiği takdirde hidrojen miktarında bir azalma görülebilir. Üretim aşamasında,

- zayıf hidrojenlendirici kireç veya ısıtılmış kireç taşı kullanarak,
- paslanmamış hurda kullanmak,
- dekaburizasyonun bitimi ile potaya doldurma arasındaki fasılanın 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, H₂ ihtivası az ve dingil yükleri de daha azdı. Amerika Birleşik Devletleri bu problemi kontrollü soğutma ile halletmiştir [24]. Üzerinde birleştirilen nokta 70-85 kg/mm² sınırındaki çelikler (Hidrojen miktarı 5/100 gr H₂ çukurda soğutma) 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 mikro çatlak yapısının oluşmasını azaltır [31].

İnklüzyonlar 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 süneklilikleri 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 [24,28].

Çelik içindeki inklüzyonlar minimize edilmek istenirse çok mükemmel bir deoksidasyona ihtiyaç vardır. Pota deoksidasyon metodları bir prosten diğerine değişir. Kaldo, LADC ve LD proseslerinde üfleme C miktarı temel alınarak kesilir. Siemens-Martin ve elektrik proseslerinde potaya dökülmeden önce daha az bir O₂ içerir (yaklaşık 0,020) ve çeliğin safiyeti genellikle tatmin edicidir. Eğer üfleme belirli bir C miktarında kesilmez ise OBM-LD-LDAC, Bazik Bessemerde rafinasyon işlemi sonundaki O₂ miktarı daha yüksektir, (%0,060-0,100 O₂). 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 [32,33].

4.2. Ray Çeliği Üretim Metodları

II. Dünya savaşından önce ray çelikleri Bazik Bessemer, Asid Bessemer, Elektrik fırınları, Siemens-Martinlerde üretilirdi. 1950-1960 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 saf oksijen kullanılır. Bu metodlardan farklı olarak oksijen, nozulların içerisinden, pota dibinden verilir. Bu metod 1967-1968'de Maximillianshütte Sulzbach-Rozenberg'de geliştirilmiştir [32]. Nozul ağzında yüksek sıcaklıkta alev oluşuyorsa soğutma özellikle önemlidir. Bu uca doğru hidrokarbon ayrışma ısısı

olarak kullanılır. (Propan, doğalgaz). Buhar CO₂ yakıt ayrışma ısısı da kullanılabilir. Bu Fransa'da LWS prosesi olarak uygulanır [32].

P esaslı sıcak metal için uygulanacak Metalurjik Proses Bazik Bessemer metodu gibidir. Si 2CaO SiO₂, (cüruf) halinde, karbon CO₂, CO (gaz halinde), Fosfor 4CaO P₂O₅ (Cüruf halinde) dönüşüm yaparlar. Beklenen Fosfor miktarına bağlı olarak tek veya çift cürufllu kullanılır. Tek cüruflla fosfor miktarı Bazik 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 [32].

Fosfor esaslı sıcak metalle çalışan OBM prosesinin karakteristikleri :

1. P miktar : Tek fazla çalışırken, P miktarı Bazik Bessemer metodundaki değerler kadar oluşur. (0,050-0,060) 2 fazlı çalışma ve N₂ ile temizlemede LDAC prosesindeki değerler oluşur.

2. S₂ Miktarı : Bazik Bessemer metodundaki değerler oluşur yalnız S miktarı azalır. Sıcak metalin desülfürizasyonu ve çift cüruflla çalışma LDAC'daki değerlerin ortaya çıkmasını sağlar.

3. N₂ Miktarı : Soğutma ortamı olarak propan kullanıldığında (ki, N₂ ihtiva etmez) LD prosesindeki değerler oluşur. Eğer % 15 N₂ ihtiva eden doğal gaz kullanıldığında çelik içindeki N₂ miktarı 0,0015 değerine ulaşabilir.

4. C, Mn, Si Miktarı : Arzu edilen C, Mn, Si miktarları potaya grafit Ferro Mangan Ferro Silis ilavesi ile elde edilir. Kardemir'de % 0,80 C, % 1,80 Mn'a kadar çelik yapılabilir.

5. H₂ Miktarı : Konverterdeki çeliğin H₂ miktarı (OBM prosesinde) diğer oksijen üfleme proseslerinde olan orandan daha fazladır. Buda nozulun soğutulması için kullanılan hidrokarbonlar tesiri ile olmaktadır. Konverterdeki çelik banyosunun H₂

İhtivası normal bir üflemeden sonra büyük çapta değişim gösterir. Bu öncelikle üfleme sonundaki sıcaklığa bağlıdır.

Ortalama olarak 6-2,2 cc H₂/100 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 H₂ değerindedir) ve gerçekten bu oran rayın iç çatlamlarına yansır [32] .

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 [21,33].

4.3. Kardemir Haddehanelerinde Ray Üretimi

Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nın faaliyete geçmesinin ardından, 1950'li yıllarda küçük partiler halinde ray üretimi yapılmış ve ülke ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmıştır. Daha sonraki dönemlerde uzun bir süre ray üretimine ara verilmiştir. 2001 yılında gerekli düzenlemeler yapılarak tekrar ray üretimine başlanmıştır. KARDEMİR A.Ş. Haddehaneler Müdürlüğü'nde üretimi hali hazırda devam eden rayın üretim aşamalarında sistemin optimizasyonu için yapılan çalışmalarla kalite en üst seviyede tutulmaya çalışılmaktadır.

4.3.1. Ray haddemesindeki gelişim süreci

Ray kesiti; sıcak haddelenmiş profiller arasında, haddeleme tekniği ve kesit geometrisi bakımından en zor olan örneklerden birini temsil eder. Tongue and Groove (lamba ve zıvana) ve çapraz metot olmak üzere iki genel metot ile şekillendirilir. Tongue and Groove'de pasolar hava boşluğu eksenine göre paraleldir. Çapraz metotta blumu daha küçük kesitlere indirme ve ardından kısım kısım şekillendirme yerine kaba haddede ilk pasoda rayın şekillendirilmesi başlamaktadır. 1950'lere kadar uygun hadde tesislerinin büyük kısmı ray üretimi yapabilmekteydiler. 1950'lerde her pasoda döndürülerek haddelenen ingotlar 40"lere varan düo tezgahlardan, kutu pasolara alınıp altı hadde tezgahından geçirilerek ray üretiliyordu. 1980'lerde ingotlardan haddelenen 50 m'lik ray üç kaba hadde ve bir finiş hadde grubundan oluşan haddede üretilebilmekteydi. Gövde sertliği 350 BHN, 7-8 kg/mm² gövde mukavemetine sahip merdaneler kullanılmaktaydı. Markalama tekerleği ile markalanıp ısı işleme tabi tutulup 330 BHN sertlik değeri ray da elde edilmekteydi. Daha yeni olan üniversal tip haddeleme metodunun prosese kazandırmış olduğu haddelenen kesitin tüm eksenlerde doğrudan şekillendirilebilmesi ve her bir kesit için birbirinden bağımsız hadde ayarının yapılabilmesi avantajlarından dolayı kullanımı gittikçe artmaktadır. Bu tip tesislerde 69,5 kg/m ray üretildiği gibi çeşitli kesitli profiller de üretilebilmektedir [34].

4.3.2. Ray çeliğinin tavlama

Çelikhaneden uygun döküm şartlarında ve kimyasal bileşiminde haddehane tav fırınlarına gelen 260x360 mm kesitindeki blumlar östenitik yapı tavlama bölgesine kadar (1250 °C) mevcut fırınlarda soğuk şarj alınarak tavlama yapılmaktadır. 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 [14].

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 kırılgan ve mukavemetsiz olur [24].

4.3.3. Rayın haddeme süreci

Uygun haddeme 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 haddeme tav sıcaklığıyla geçilmiştir. 260x360x2780 mm ebatlarında tavllanmış olarak düz blok hadde merdanesine giren blum birinci paso ebadı olan 180x220 mm ölçülerine blok haddesinde getirilmektedir. Paso dağılımlarının bulunduğu aşağıdaki şekillerden anlaşılacağı üzere (Şekil 4.3) I. hadde tezgâhında ağırlıklı olarak rayın ayak kısmı, II. hadde tezgahında rayın mantar kısmı oluşmakta son tezgahta 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 [14].

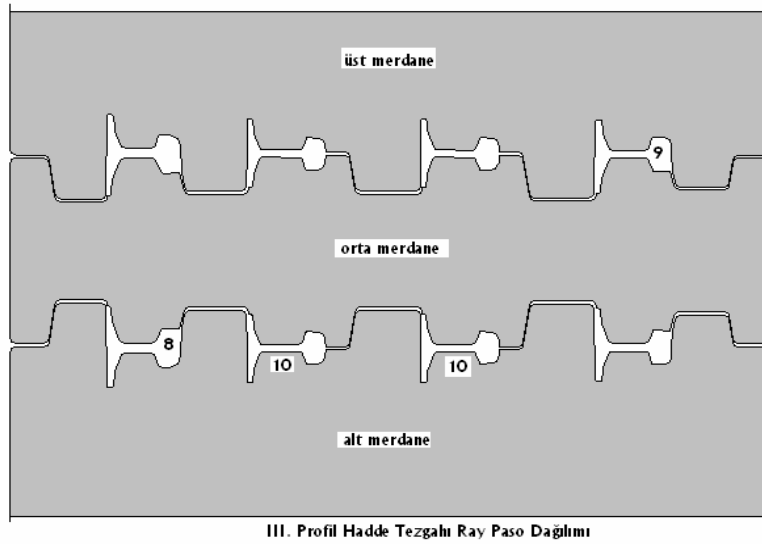
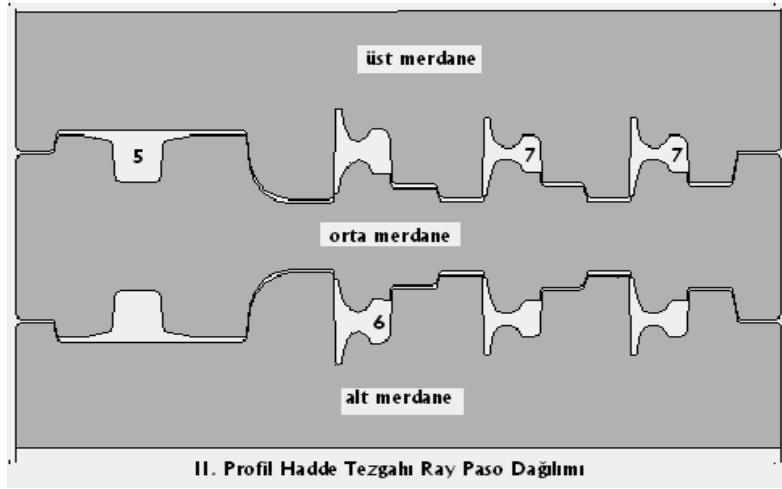
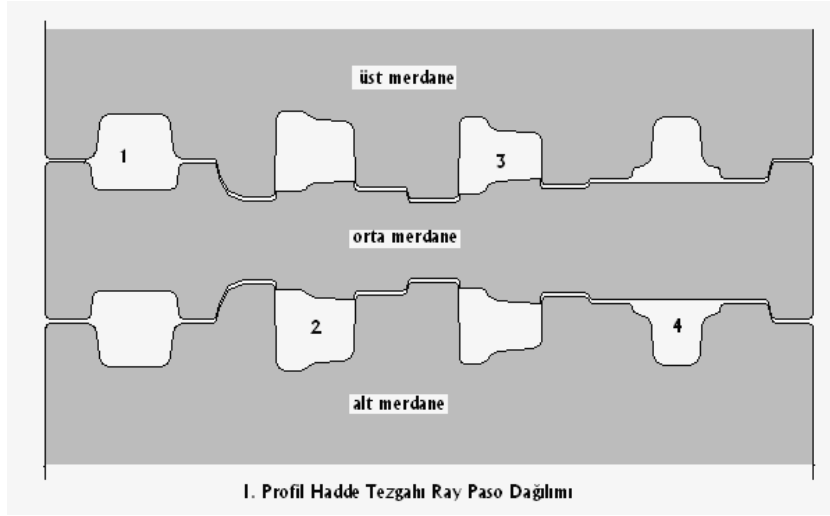
Profilin haddeme sürecinden farklı olarak rayın haddelenmesinde profil tezgahlarında bazı pasolarda malzemenin çevrilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha

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 [24].

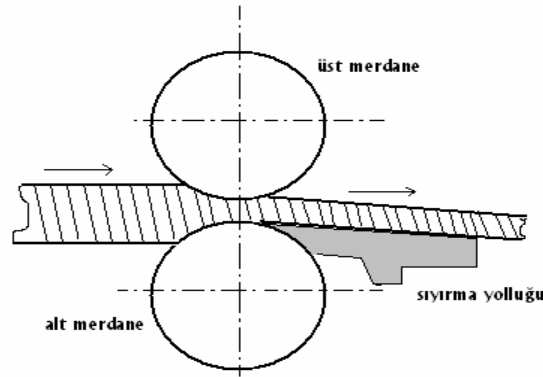
Ancak ikinci tezgâh beşinci pasoda gereken çevirme işlemi malzemenin boyu uzadığından manipülatörde yapılan değişiklik yetersiz kalmıştır. Bunun için yolluk sisteminde yapılan değişikliklerle üretim akışı hızlandırılmış ve personel açısından tasarrufa gidilmiştir. Altıncı pasoya giren malzeme, beşinci 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) yollukları.

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 asimetric bir geometrik yapıya sahip olmasından kaynaklanır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Rayın Tezgah Paso Resimleri [24]



Şekil 4.4. Sıyırma yolluğu [24]

Sıyırma yolluğu merdane üst ekseninden 5-10 mm aşağıdan sabitlenir. Yolluk ucu $25-30^\circ$ açılı 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 [15].

4.3.4. 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.

4.3.5. 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.

4.4. Rayın Haddelenmesinde Şekillendirme Parametreleri

Endüstriyel gelişmenin bir sonucu olarak ulaşım hızında ve taşınan yük ağırlığındaki artışlar nedeni ile raylarda aranan mekanik özellikler zorlanan bir gelişim içindedir. Bu nedenle, malzeme kalitesi, şekillendirme tekniği ve ısıl işlem gibi önemli faktörler üzerinde devamlı çalışmalar yapılmaktadır. Haddelme tekniğinin üretim maliyetini olduğu kadar üretim kalitesini de etkileyebildiği Almanya, Rusya, Fransa ve İngiltere'de yapılan araştırmaların sonucu ortaya çıkmıştır [36].

Bugün, her işletmenin kalibrecisi tarafından benimsenmiş özel bir sistemi bulunmaktadır. Aslında bütün bu sistemler, «Eğik» veya «Dik» olmak üzere iki ana esastan hareket edilerek geliştirilmiştir. Dik sistemde paso simetri ekseni haddelme

eksenine paralel olup, eğik sistemde ise ray ayağının eğimine bağlı bir açı yapmaktadır (Şekil 4.5).

Genel olarak bütün sistemlerde iki çeşit paso bulunur (Şekil 4.6).

a) Ön Şekillendirme, b) Bitirme pasoları.

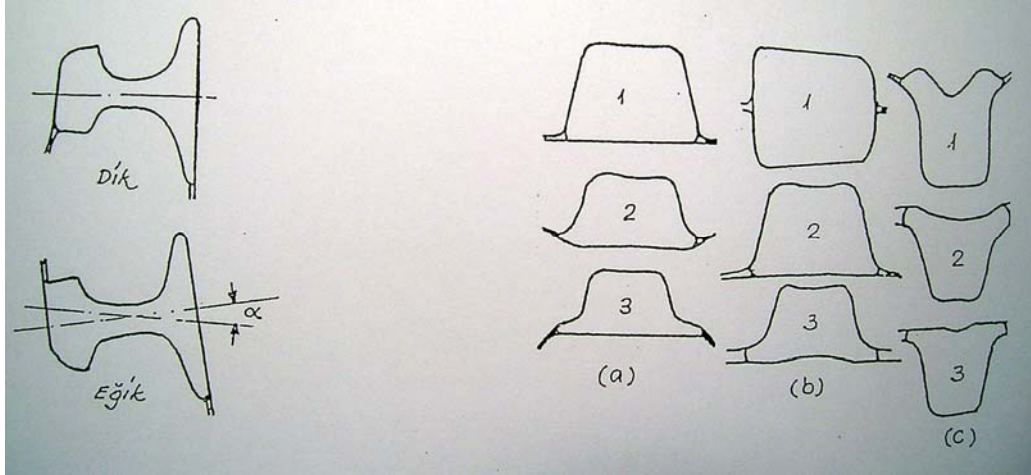
Bu iki grup paso arasındaki geçiş, rayın kaburga kısmının olduğu yarma pasosu ile gerçekleştirilir ve bu paso bitirme pasoları grubuna girer. Sıcak haddecilikte şekillendirme ilkeleri bir meslek sırrı olarak kabul edildiğinden bu konuda çok sınırlı sayıda yayın mevcuttur. Sınırlı verilerden faydalanarak hazırlanmış olan bu yazıda sadece temel ilkelere değinilmiştir. Ray simetrik bir profil olmadığından çeşitli bölgelerine eşdeğer ezme verilmesi gerekir. Bu da ancak şekillendirme işlemine kaba ray taslağı ile başlamakla mümkün olabilir.

Buna rağmen pratik imkânsızlıklar ve maliyetin artması nedeni ile raylar bütün işletmelerde ingot veya blumdan şekillendirilmeye başlanır.

Pratikte eşdeğer ezme vermek çok zordur. Mantar kısmının dayanımını arttırmak için az çalışan yan ezmeler yerine dik pasolardaki direkt ezmeler daha iyi netice verir. Böylece mantar kısmında daha tok bir yapı elde edilmiş olur[36].

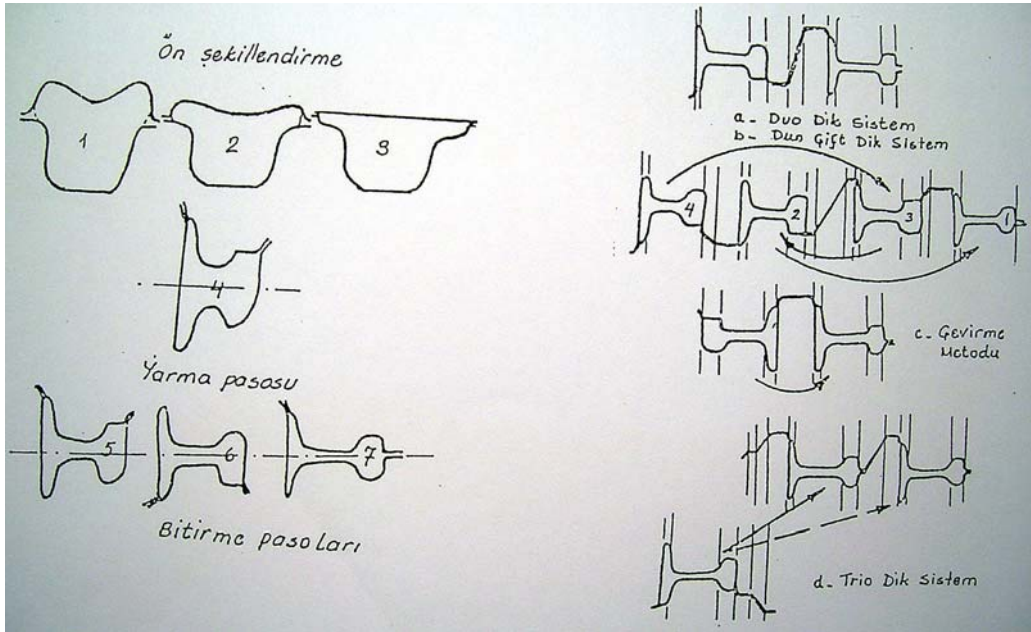
Son zamanlardaki araştırmalar ayak kısmının mekanik dayanımını arttırmak üzerine toplanmıştır. Çeşitli çalışmalardan açıklığa kavuşan ortak nokta, ön şekillendirme pasoları yardımı ile malzeme akışının istenen olumlu yönde kullanılması gereğidir.(Şekil 4.7)'de bu amaçla değişikliğe uğramış ön pasolar görülmektedir.

Pasoların yerleştirilmesi çeşitli şekillerde olur. Şekil 4.8'de düo bir haddede dik sistem için çeşitli yerleştirme (a, b ve c) olanakları görülmektedir. (a) sisteminde ezme bir pasodan diğerine geçerken rayın altından üstüne geçer. Bu da merdane çapının fazla olmasını gerektirir (b) metodunda kuşaklardan olan yer kayıpları önlendiği halde manipülasyon zorluğu vardır. Üçüncü (c) metodunda merdane



Şekil 4.5 Dik ve eğik sistem[36]

Şekil 4.6 Ön şekillendirme pasoları[36]



Şekil 4.7 Paso çeşitleri[36]

Şekil 4.8 Dik sistemde yerleştirmeler [36]

yüzeyinden ve kuşaklardan istifade fazla olmasına rağmen, malzemenin 180° döndürülmesi zorunluluğu vardır. Diagonal sistemde yer ve manipülasyon kaybı azdır. Trio haddelerde her iki sistem için çevirme zorunluluğu yoktur [36].

Rayda aranan hassas toleranslar nedeni ile kullanılan merdanelerin seçimi de önemli bir problemdir. Genellikle bütün kalibre sistemlerinde lider pasonun tümü merdane içine oyulduğundan verilen konikliğe rağmen aşınma kaçınılmaz olur. Bu nedenle bitirme tezgâhındaki merdaneler sert olmalıdır.

Ön şekillendirme için seçilenler ise genellikle % 0,5 - 1,5 C ihtiva eden Krom - Molibden, Krom - Nikel veya Krom - Nikel - Molibden tipi merdanelerdir. Ray haddelemesinin ilk devrelerinde hassas malzeme elde edebilmek için kullanılan derin çil tabakalı merdaneler yerini yüksek karbonlu, alaşımlı yarı çelik merdanelere terk etmektedir. Bu çeşit merdanelerin tipik terkibi % 2,4 C, % 0,37 Mn, % 0,86 Si, % 0,06 S, % 0,17 P, % 0,95 Cr, ve % 0,50 Ni'dir. Bu merdane özel ısıl işlem görmüştür.

Toplam paso sayısı ve blum boyutu kullanılan kalibre sistemine ve haddehane yayılımına bağlı olarak saptanır. Ancak bazı genel kaideleri sıralamak mümkündür. Ray elde edilebilmesi için asgari paso sayısının 6 olduğu gözlenmiştir. Toplam paso sayısının 9-10 arasında olması zorunluluğu bir çok kalibreci tarafından kabul edilmiştir [34]. Daha fazlası üretimi düşüreceğinden, azı ise aşınmayı arttıracığından tavsiye edilmez. Diğer taraftan paso sayısı merdane kalitesine ve malzeme boyutlarına da bağlıdır.

4.4.1 Toplam ezme ve uzama miktarı

Toplam uzama katsayısı, paso sayısına bağlı olup, bütün işletmelerde 5-7 arasında değişir [36].

$$Ug = \frac{A_0}{A_r} = 5 - 7 \quad (4.1)$$

Burada ;

A_o = ilk giriş (blum) alanı,

A_f = Son çıkış alanıdır.

Pasolar arasında uzama miktarları çeşitli sistemler için farklı değildir. Son paso hariç ortalama pasolar arası uzama 1.20-1.22 kadardır. Ön şekillendirme pasoları için eğik sistemde 1.20-1.25, dikte ise 1.15-1.20 kadardır.

Yarma pasosu için değerler değişiktir. Dik sistemde 1,07 iken, eğikte 1,25-1,30 kadar ulaşır. Son paso için ise bütün sistemler 1,07-1.10 arasındaki değerleri kullanırlar. Pasonun çeşitli bölgelerinde oluşan şekillendirme ezme bölgelerinin değişik karakterine bağlıdır. Pasonun bir noktasından diğerine olan malzeme akışı nedeni ile ayak ve mantarın uç kısımlarında çekme meydana gelir.

Ray pasosunda enine malzeme akışını azaltmak için farklı uzama ve ezilmeyi karşılayacak şekilde hesaplamalar yapılır. Pasonun tamamen dolmasını sağlayabilmek için farklı uzama bölgeleri arasında bir bağıntı kurmak gereklidir. Son bitirme pasoları için kaburga (U_{st}), açık (U_{of}), kapalı ayak (U_{gf}) ve ortalama uzama (U_m) arasındaki önerilen bağıntı şöyledir.

$$U_{st} < U_m < U_{of} < U_{gf} \quad (4.2)$$

Aynı pasolarda mantarın kapalı (U_{gk}) ye açık (U_{ok}) kısımlarının (U_{st}) ve (U_m) ve oranla karşılaştırılması ise;

$$U_{st} < U_m < U_{ok} < U_{gk} \quad (4.3)$$

şeklinde olmalıdır.

Kapalı mantarda uzama miktarı yaklaşık olarak kapalı ayaktakine eşittir. Aynı uygulama açık ayak ve mantar uzaması için de geçerlidir.

Geriyeye kalan pasolar için aşağıdaki bağıntılar geçerlidir.

$$U_{st} < U_m < U_{gf} < U_{of} \quad (4.4)$$

$$U_{st} < U_m < U_{gf} < U_{ok} \quad (4.5)$$

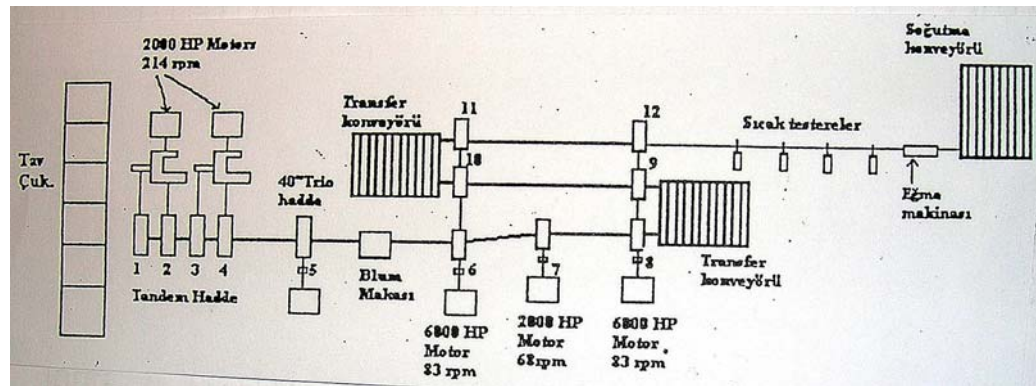
Bu öneriyeye göre son beş paso için uzamalar arasındaki azami fark 0,05 olmalıdır. Normal hallerde bu değeri 0,1-0,03 kadardır. Diğer ön şekillendirme ve yarma pasoları için fark daha fazladır [34].

4.5. Ray Haddeleri Gelişim Süreci ve Teknolojisi

İki yüz seneyi aşan bir süreden beri üretilmekte olan demiryolu rayı, kullanılan malzeme cinsi, kalitesi, kesiti ve haddeleme tekniklerindeki yenilikler ile çok önemli gelişmeler göstermiştir. Kuzey Amerika'da, 1900'lerin başında 11 adet hadde tesisinden sadece 8'i ray üretiliyordu. Bunlardan bazıları takip eden yıllarda modernize edilmiştir.

4.5.1. Indiana ray haddesi

1950'lerde Amerika'daki en büyük ray haddesi olan İndiana Ray Haddesi'nin layout'u ve merdane ölçüleri Şekil 4.9'de görülmektedir.



Şekil 4.9. İndiana ray haddesi Lay Out'u [24]

Tablo 4.5. İndiana ray haddesi merdane ölçüleri [24]

Hadde tezgah No	Merdane Ölçüleri (İn.)	
	Yatay	Dikey
1-4	40x34	
5	40x80	
6	28x80	
7	28x40	
8	28x42	
9-10	28x46	
11	28x58	25x4
12	28x36	28x7 1/2

Tablo 4.5'te gösterildiği gibi bu haddehanede, 4 adet 40" düo tezgahtan oluşan tandem grubunda, 24"x24" kesitli ve 74"-89" uzunluk aralığına sahip ingotlar her pasoda döndürülerek haddelenmektedir. Tandem grubundan çıkan blum, daha sonra 5 adet kutu pasoya sahip trio 40" hadde tezgahına alınır. Bu tezgahtaki son paso (5.paso), diğer pasolara göre hafifçe geniş açılmıştır. Trio tezgahı takiben 10"x10" blum makası, 3'erli grup halinde tek taraftan tahrikli 6 hadde tezgahı ve 1 bağımsız tezgah, sıcak testereler, soğutma yatakları ve doğrultma makinası sıralanmıştır. 6 no'lu 3 pasoya sahip trio kaba hadde (rougher), duo former hadde, dummy hadde, birinci edger (ray kenarları için) hadde, ikinci edger hadde, lider hadde ve finiş hadde sıralama düzenindedir.

Kaba hadde, ikinci edger hadde ve lider hadde tezgahları tek bir motor pinyon dişlisinden tahriklidir (6000 hp. 83,3 rpm, 6600 V ac motor). 28" Former hadde diğer tezgahlardan bağımsız olarak 2000 hp-58 rpm motordan tahriklidir. Dummy hadde, birinci edger hadde ve finiş hadde tezgahları ise 6000 hp, 88 rpm, 6600 V AC motordan tahriklidir. Role yolları arasındaki transferin sorunsuz olması için Dummy hadde ve ikinci edger hadde sonrasında konveyörler yerleştirilmiştir.

11525 kod numaralı rayın haddelenmesi için tüm pasolardaki haddeme hızları ve ezme oranları Tablo 4.6'da gösterildiği gibidir.

Tablo 4.6. 11525 tip rayların her paso için haddeleme hızları ve ezme oranları [24]

Paso No	Hadde Tezgahı	Hadde hızı (rpm)	Hadde hızı (fpm)	% Ezme oranı
1	Tandem 1	6,3	73,9	14,2
2	Tandem 2	6,3	85,8	20,6
3	Tandem 3	10,5	121,3	20,3
4	Tandem 4	10,5	117	28,7
5	Trio 1.paso	75	562	17,5
6	Trio 2.paso	75	634	19,2
7	Trio 3.paso	75	612	19,4
8	Trio 4.paso	75	675	22,4
9	Trio 5.paso	75	640	13,8
10	Kaba hadde 1.paso	83,3	479	24,9
11	Kaba hadde 2.paso	83,3	481	16,7
12	Kaba hadde 3.paso	83,3	523	17,6
13	Former hadde	58	500	20
14	Dummy hadde	83	675	20,7
15	Yan ezme (edger) 1	86	686	23
16	Yan ezme (edger) 2	83,3	846	21,3
17	Lider hadde	83,3	730	13,8
18	Finiş hadde	88	738	8,3

4.5.2. Fukuyama Works ray haddesi

Nippon Kokan tarafından 1980'lerde devreye alınmış Fukuyama Works Ağır Ray ve Profil Haddesi 13 tonluk ingotlardan haddelenmiş blumlarla 50 m uzunluğa kadar ray üretmektedir. Bir breakdown (BD) hadde, iki kaba hadde ve bir finiş hadde gruplarının oluşturduğu paso serisi ile çalışmaktadır. Arzu edilen kalitede ray üretimi ayar açısından hassas hadde tezgahları, yeterli güçlerde hadde motorları, yüksek basınç descaling (Tufal Giderme) ünitesi ve merdane paso yağlama sistemi (tüketim yaklaşık 2 litre/ton) ile sağlanmaktadır.

Bu merdanelerin gövde sertliği 330-350 BHN, gövde mukavemeti 7 - 8 kg/mm² ve hadde başlığı mukavemeti ise 20 kg/mm²'dir. Tablo 4.7'de Fukuyama Works'da

üretileen kesitler ve üretim miktarları görülmektedir. Haddelene sonras raylar markalama tekerleği kullanılarak markalanır ve uçları tamamlanarak paketlemeye hazır hale getirilmiş olur. Uçları sertleştirilerek raylar ön bükme gibi herhangi bir ön işlem yapılmaksızın 2930 mm uzunluğundaki ve 1150°C sıcaklığındaki ısıtım fırınına transfer edilir, yaklaşık 820 °C'ye ısıtılır ve su verilir. Fırın şarjı, yardımcı röleler vasıtasıyla 360 mm/dak hızla gerçekleştirilir.

Su verme işlemine tabi tutulmuş raylar daha sonra 3460 mm uzunluğuna sahip ve yaklaşık 820°C'de tutulan fırında yaklaşık 570 °C'de temperlenir. Rayların sadece kafa kısımları sertleştirilir ve unutulmamalıdır ki bu fırınlar dekarbürizasyonun önlenmesi için koruyucu atmosferli fırınlardır. Rayların kafa haricindeki kısımları su soğutma boruları ile soğutulur.

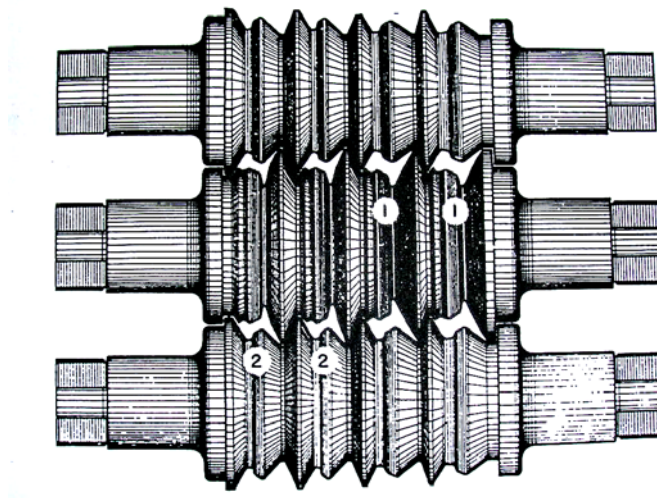
Tablo 4.7 Fukuyama Works'da üretilen kesitler ve üretim miktarları [24]

Cins	Kesit Ölçüsü	Üretim miktarı
Ağır ray	JIS30A37A40N50N JRN 40N 50N 60K Benzer ağırlıklı diğer standart raylar	10.000 ton/ay
Eşit kenarlı köşebentler Değişik köşebentler Plate U Profilleri I Profilleri T Profilleri	175x175, 200x200, 250x250mm 200x90, 250x90, 330x90, 350x100 400x100 mm 180x95, 200x10, 230x11, 250x12mm 250x90, 300x90, 380x100 mm 250x125, 300x150 mm 250x16-25,300x16-32	15.030 ton/ay
Dar flanşlı H Profilleri Orta kesit H Profilleri Geniş flanşlı H Profilleri	100x50,125x60,250x75,200x100 250x125,275x90,300x150,350x175mm 150x100,200x150,250x175,300x200mm 100x100,150x150,125x125,175x175, 200x200 mm	16.000 ton/ay
Ordinary ray sınıfı Özel ısıtım-ışlemlen ray sınıfı	JRS 60K JRS JIS 50N JRS JIS 40N, 37A, 30A HH (60K,50N,40N,37A) EH (50N,40N)	%30 %50 %20 24.000ton/yıl 15.000ton/yıl

Su verme sonrası kafa üst kısımlarındaki sertlik 350 BHN'dir. Uç sertleştirilmesi için ray uçları 800-1000 °C'ye 3 dakikada ısıtılır ve sonra iyi bir perlitik yapı oluşacak şekilde 3-10°C/s oranında hava verilerek 330 BHN sertlik değeri elde edilir. Nippon Steel tarafından 1970 yılında kurulan, reversing breakdown ve universal hadde tezgahlarından oluşan Yawata Works, bir diğer Japon ray hadde tesisidir. 1975'te 3,2 milyon ton ray üretim kapasitesine sahip olan S.S.C.B. (Rusya) ray üretiminde dünya lideriydi. Soğuk savaş yıllarında 6 ton'luk blumlardan 2,5 m/s hız oranlarında 75 kg/m'ye kadar ray üreten hadde tesisleri kuruldu [24].

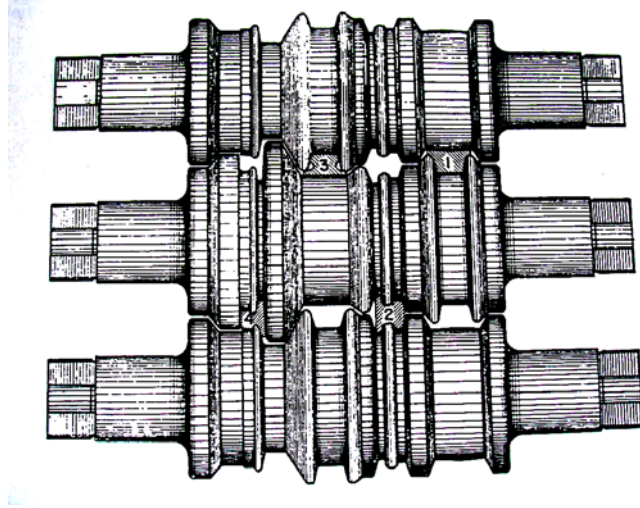
4.5.3. Rayların haddelenme metodları

Ray kesiti, sıcak haddelenmiş profiller arasında haddeleme tekniği ve kesit geometrisi bakımından en zor olan bir örneği temsil eder. Şekil yönünden kesit dikliği ve asimetrisi ile boyca düzgünlük hassasiyetle kontrol edilmelidir. Raylar, tongue-and-groove (lamba ve zıvana) ve çapraz (veya açılı) metod olmak üzere iki genel metod ile şekillendirilir. Bu iki metodu birlikte kullanan ray haddeleri de mevcuttur. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi tongue-and-groove metodunda pasolar hava boşluğu eksenine göre paraleldir.



Şekil 4.10. Tongue-and-groove, Fiat veya slab-and-edging metodu paso dizaynı [36]

Çapraz (veya açılı) metodunda, slabbing metodunda olduğu gibi ilk kuvvetle blumu daha küçük kesitlere indirme ve ardından kısım kısım şekillendirme yerine, kaba haddedeki ilk pasoda rayın şekillendirilmesi başlamaktadır. Şekil 4.11'de çapraz metod paso dizaynı görülmektedir. 21.yy rayları iki temel haddeleme tipi ile haddelenecektir ; açılı (çapraz) metod ve üniversal metod [37].



Şekil 4.11 Çapraz (veya açılı) metodu paso dizaynı [36]

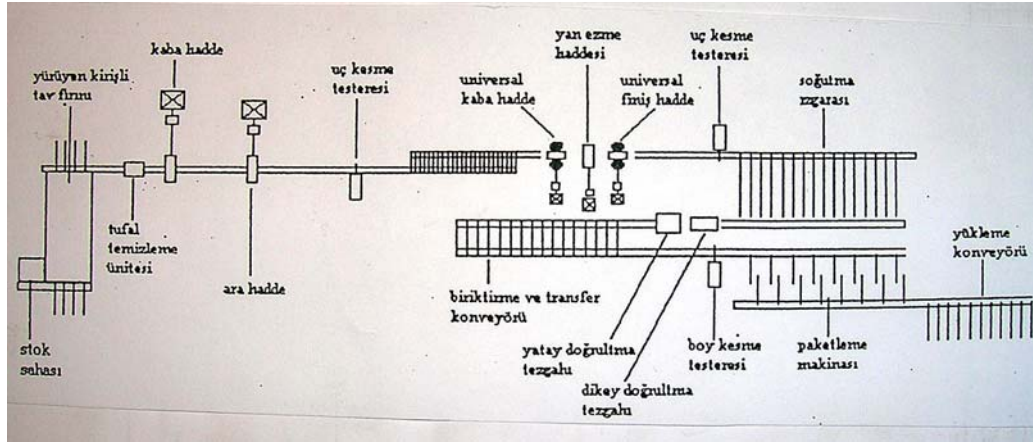
4.5.3.1. Açılı haddeleme metodu

Daha eski olan açılı haddeleme metodunda ürün yüzey kalitesi ve ölçü tolerans kontrolleri açısından bir takım gelişmeler kaydedilmiştir. İstatiksel proses kontrol uygulamaları, yüksek su basınçlı tufal temizleme (descaling), hızlı veya kontrollü soğutma (accelerated cooling) uygulamaları, haddeleme esnasında yüzey kalitesini iyileştiren yağların kullanılması, paso dizaynlarındaki modifikasyonlar ve daha rijit hadde ekipmanlarının (ön gerilimli ayaklar veya yataklar gibi) kullanılması bu metoddaki son yeniliklerdir.

4.5.3.2. Üniversal haddeleme metodu

Daha yeni olan üniversal tip haddeleme metodunun ise prosese kazandırmış olduğu haddelenen kesitin tüm eksenlerde doğrudan şekillendirilebilmesi ve her bir kesit için

birbirinden bağımsız hadde ayarlarının yapılabilmesi avantajlarından dolayı kullanımı giderek artmaktadır. Aşağıda SMS firması tarafından 1991 yılında Kore'ye kurulan Pohang Works üniversal ray ve profil haddesi görülmektedir. Tesiste çeşitli kesitlerdeki profillere ilave olarak 37,2-69,5 kg/m ray üretilmektedir ve toplam kapasitesi 1.200.000 ton/yıl'dır.



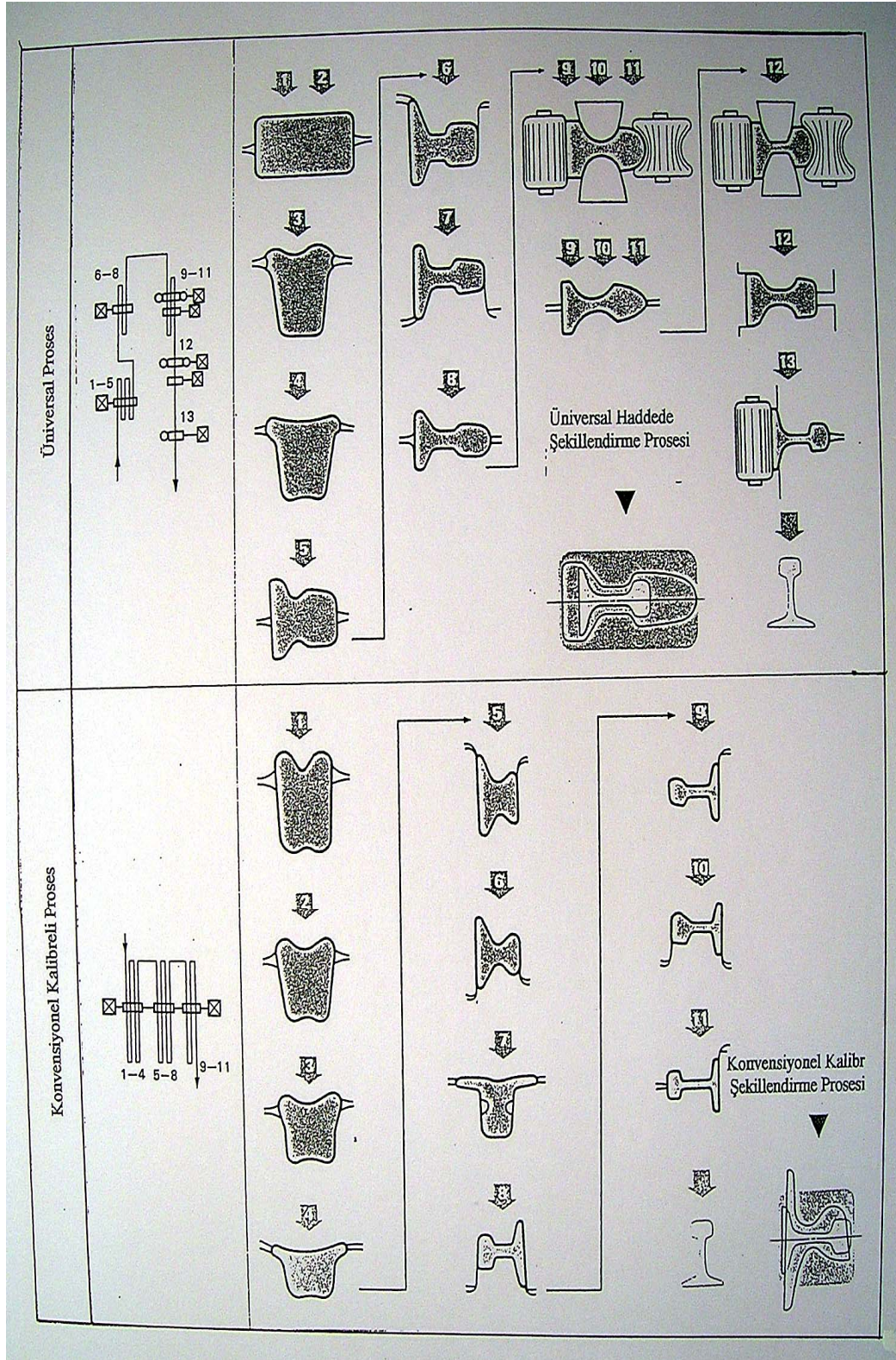
Şekil 4.12 Pohang Works Ray ve Profil Haddesi [24]

4.5.3.3. Üniversal haddenin konvansiyonel ray haddesine göre avantajları

Üniversal ray hadde prosesi son yıllarda oldukça başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Japonya'da Nippon, Güney Afrika'da Iscon, Amerika'da Wheeling, Pitsburg, Brezilya'da Aconimas ve Avusturalya'da Broken Hill şirketleri bu prosesin lisansını almış ve kullanmaya da başlamıştır. Bu başarının arkasındaki sebepler daha yüksek kalite ve hadde merdaneleri için daha uygun üretim maliyetidir [33,38].

Tablo 4.8 Rayda görülen boyutsal sapmalar [37]

	Konvansiyonel Hadde(mm)	Üniversal Hadde (mm)
Ray Yüksekliği	0.39	0.24
Taban Yüksekliği	0.42	0.27
Mantar Kalınlığı	0.29	0.16



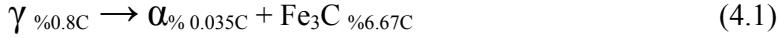
Şekil 4.13. Standart sistem ve üniversal sistemin karşılaştırılması [35]

Yüzey kalitesi haddeme esnasında kayma etkisinin azaltılması ile geliştirilmiştir. Sonuçta yüzeyde görülen çatlaklarda bir azalma sağlanmıştır. Ek olarak çalışma yüzeyinin altındaki yapıda hatalar ve boşluklar azaltılmıştır [38,39]. Konvensiyonel hadde ve üniversal haddeden üretilen rayların ölçülerindeki sapmalar araştırıldığında Tablo 4.8'deki sonuçlar elde edilmiştir.

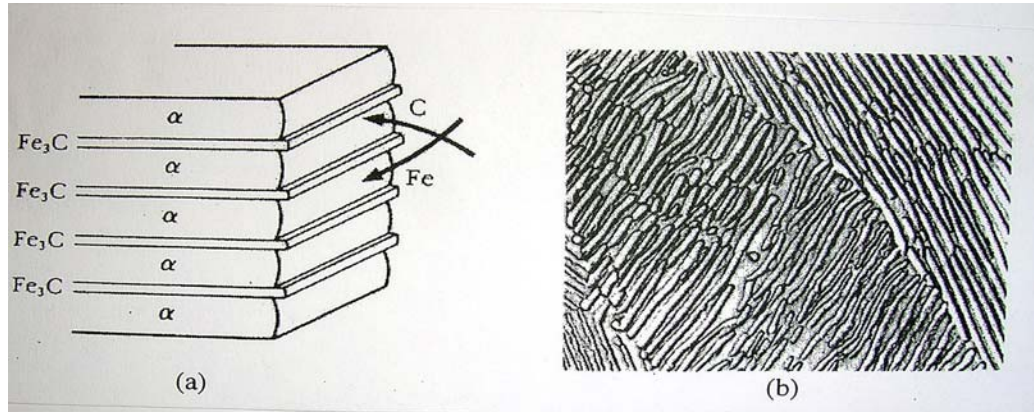
Üniversal hadde ile elde edilen daha düşük hadde değerleri ile rayların kaynak işlemi daha kolay ve hassas olarak yapılabilen ve kaynak sonrası daha pürüzsüz yüzeyler elde edilebilmektedir [40].

4.6. Rayın Soğuması Sırasında Oluşan Reaksiyonlar

% 0.8 C içeren ötektoid kompozisyona sahip bir alaşım 723°C 'nin üzerine ısıtırsa sadece östenit tanelerini içeren bir yapı oluşur. Östenit 723°C 'ye soğutulduğunda ötektoid reaksiyon başlar.



Ötektik reaksiyondaki gibi farklı kompozisyona sahip iki faz oluşur. Bu nedenle reaksiyon sırasında atomlar difüz etmek zorundadır. (Şekil 4.14.) Östenit içinde karbonun çoğu Fe_3C 'ye difüz ederken demir atomlarının büyük bir kısmı α 'ya difüz eder. Difüzyon mesafeleri kısa ise atomların yeniden dağılımları kolaydır. Bu durum Fe_3C ve α 'nin ince lameller veya plaklar şeklinde büyümesiyle olur.



Şekil 4.14. Perlitin yapısı ve büyümesi (a) Karbon ve demirin yeniden dağılımı (b). Perlit lamellerinin mikroyapısı (x 2000) [41]

Perlit: Demir-karbon sisteminde gelişen α ve Fe_3C 'nin lamelli yapısı perlit olarak adlandırılır. Perlit, çelikteki bir mikro oluşumdur. Perlitteki lameller, ötektik kalay-kurşundaki lamellerden çok daha incedir. Çünkü demir ve karbon atomları sıvıya doğru değil, katı östenite doğru difüz etmek zorundadır.

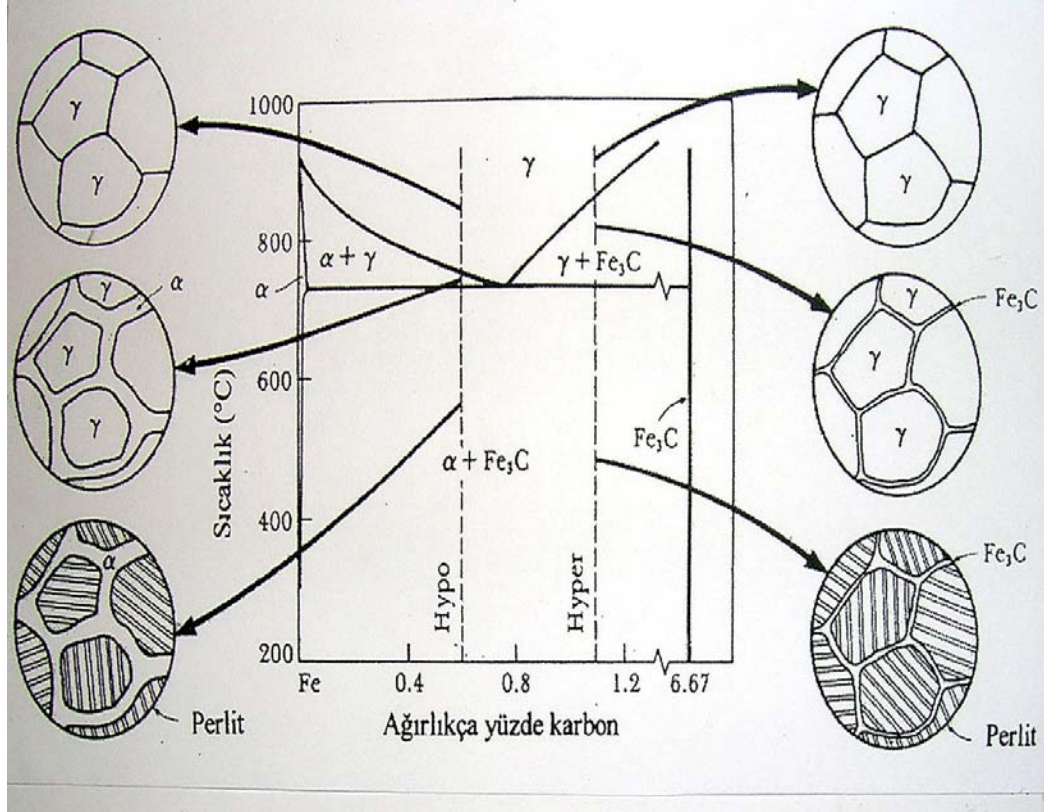
Gerçekte perlit yakından incelenirse Fe_3C lamelinin tarafından kuşatıldığı görülür. Bu nedenle, perlitik yapı etkili dağılım mukavemetlenmesi oluşturur. Kesintisiz ferrit nispeten yumuşak ve sünektir. Sert kırılğan sementit ise dağılmıştır.

İlk mikro oluşumlar: Ötektoid altı çelikler % 0.8'den daha az, ötektoidüstü çelikler ise % 0.8'den fazla C içerir. Ferrit ötektoid altı alaşımlarda ilk veya ötektoid öncesi mikrooluşumdur. % 0.6 C içeren bir ötektoidaltı alaşım $750\text{ }^{\circ}C$ 'nin üzerine ısıtılırsa, mikroyapıda sadece östenit kalır. Şekil 4.15 östenitin $750\text{ }^{\circ}C$ 'nin hemen altına soğutulduğundaki durumunu göstermektedir. Bu durumda ferrit çökeler ve genellikle östenit tane sınırlarında büyür. İlk ferrit, sıcaklık $723\text{ }^{\circ}C$ 'ye düşene kadar, büyümeye devam eder. Bu sıcaklıkta geri kalan östenit ferrit tarafından kuşatılmıştır ve kompozisyon % 0.6 C'dan % 0.8 C'na yükselir. $723\text{ }^{\circ}C$ 'nin altına müteakip soğuma, ötektoid reaksiyonla bütün geri kalan östenitin perlite dönüşmesine neden olur. Şekil 4.15'te verildiği gibi, son yapı ferrit ve sementitten oluşan iki fazı içerir ve ilk ferrit ve perlitin iki mikrooluşumu olarak düzenlenmiştir [41].

Son mikroyapı, ilk ferrit tarafından kuşatılan perlit adacıklarını içerir. Bu yapı perlitin dağılım mukavemetlenmesinden dolayı, alaşımın sağlam olmasını sağlar ve sürekli (kesintisiz) ilk ferrit varlığından dolayı da halen sünektir. Buna karşın ötektoid üstü alaşımlarda, ilk çökelen faz olan Fe_3C östenit tane sınırlarında oluşur. Östenit ötektoid reaksiyona doğru soğuduktan sonra, çelik perlit adalarını kuşatan sert kırılğan sementiti içerir. Bu durumda sert kırılğan mikrooluşum sürekli (kesintisiz) olduğu için çelik de serttir. Isıl işleme ötektoid üstü çeliğin özellikleri ve mikroyapısı iyileştirilebilir .

Ötektik alaşımlara uygulanan çok benzer bir yolla, ötektoid alaşımlarda da dağılım mukavemetlenmesi kontrol edilebilir. Alaşım kompozisyonu değiştirilerek ikinci sert fazın miktarı da değiştirilebilir. Çeliğin karbon içeriği, ötektoid kompozisyon %0.8

C'na doğru arttığında Fe_3C ve perlit miktarı da artar. Bu nedenle dayanım da artmış olur. Buna karşın, bu mukavemet doruğa ulaşır ve karbon içeriği çok yükseldiğinde mukavemetlenme azalır, (Tablo 4.12), [42].



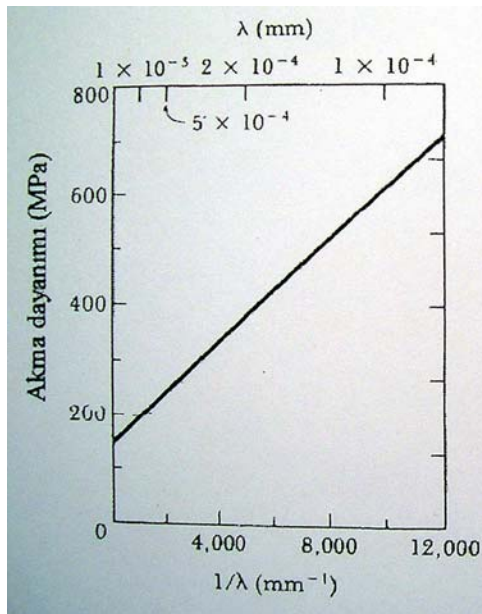
Şekil 4.15. Soğuma sırasında faz diyagramı ile ilişkili olarak ötektoidaltı ve ötektoidüstü çeliklerde mikroyapı oluşumu [41].

Östenit tane boyutu kontrolü: Normal şartlar altında perlit, taneler veya koloniler halinde büyür. Her koloni içinde lameller dizilimi benzerdir. Koloniler orijinal östenit tanelerinin tane sınırlarında çok kolay çekirdeklenir. İlk östenit tane boyutu düşük östenitleme sıcaklığı kullanılarak veya alüminyumla deokside edilmek suretiyle küçültülerek perlit kolonilerinin sayıları çoğaltılabilir. Tipik olarak alaşımın dayanımı kolonilerin tane boyutu azaltılarak veya kolonilerin sayıları artırılarak çoğaltılabilir.

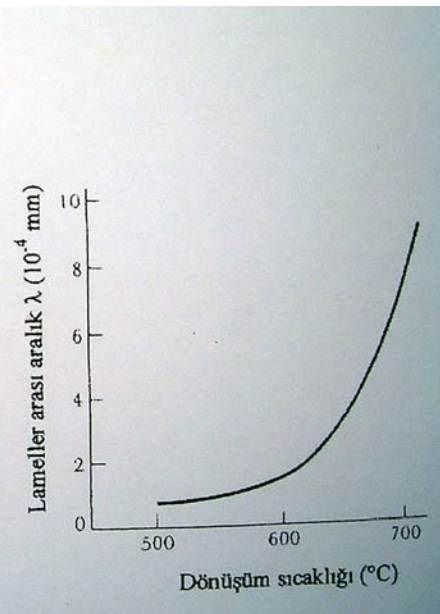
Tablo 4.9. Karbonun çeliğin dayanımı üzerine etkisi [41]

Karbon (%)	Yavaş Soğuma			Hızlı soğuma		
	Akma dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
0.15	285	386	37	324	424	37
0.20	295	395	36.5	347	441	36
0.30	341	464	31	345	521	32
0.40	353	519	30	374	590	28
0.50	366	636	24	428	748	20
0.60	372	626	23	421	776	18
0.80	376	616	25	524	1010	11
0.95	379	657	13	500	1014	9.5

Ötektoid reaksiyon sırasında soğuma hızı arttığında difüz edilebileceği mesafe kısalmır. Sonuçta reaksiyon sırasında oluşan lameller ince ve yakın aralıklı olur. İnce perlit oluşturmakla alaşımın dayanımı artırılır. Alaşımın dayanımı, lameller arası aralık ile yakından ilgilidir (Şekil 4.16).



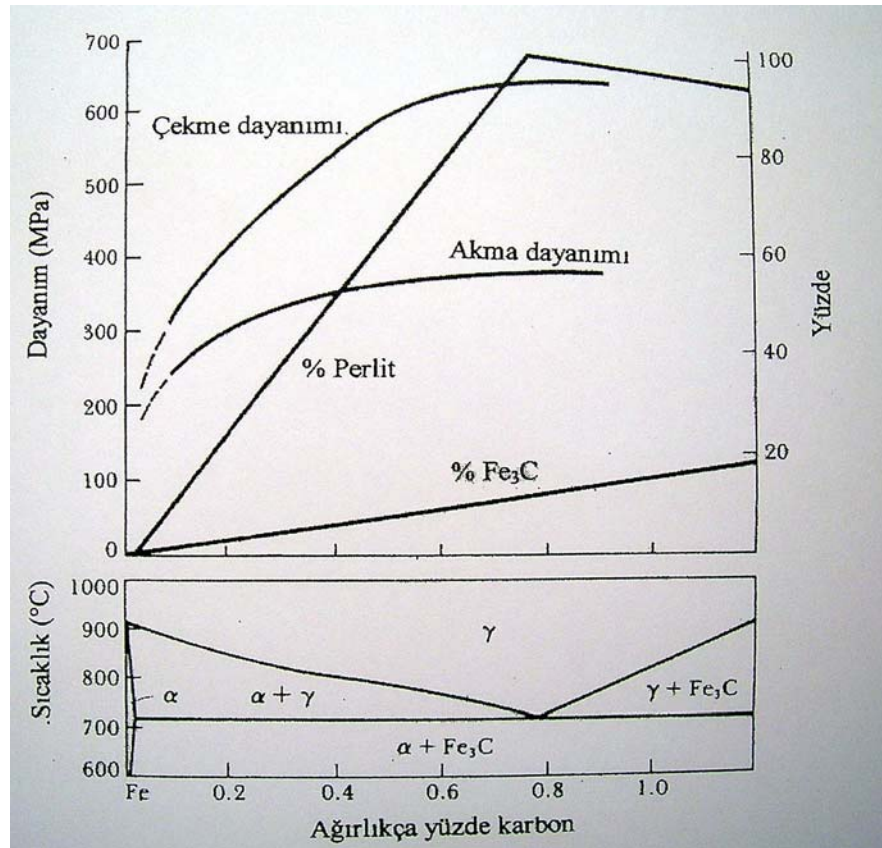
Şekil 4.16. Lameller arası mesafenin mekanik özelliklere etkisi [41]



Şekil 4.17. Perlitte lameller arası aralık üzerine östenit dönüşüm sıcaklığının etkisi [41]

Dönüşüm sıcaklığının kontrolü: Katı hal ötektoid reaksiyon oldukça yavaştır ve çelik dönüşüm başlamadan önce ötektoid denge sıcaklığının altında soğuyabilir. Dönüşüm sıcaklığı yapının inceliğini (Şekil 4.17) dönüşüm için gerekli zamanı ve hatta iki fazın düzenlenmesini etkileyebilir. İzotermal dönüşüm (IT) diyagramı bu bilgileri içerir (Şekil 4.18). Bu diyagram C eğrisi olarak da adlandırılır. C diyagramı çelikte gerekli ısı işlem özelliklerini ve oluşabilecek yapının tahmin edilmesini sağlar.

Perlitin çekirdeklenme ve büyümesi: Ötektoid sıcaklığın hemen altına soğutma yapılırsa östenit sadece çok az alt soğutulmuş olur. Dengeli (kararlı) ferrit ve sementit çekirdeği oluşumundan önce uzun zaman gereklidir. Çekirdeklenme, perlit başlangıç zamanına (Ps) yaklaşılan kadar başlamaz. Perlit büyümeye başladıktan sonra atomlar hızla difüz eder ve kaba perlit oluşur. Dönüşüm perlit bitiş zamanında (Pf) tamamlanır.



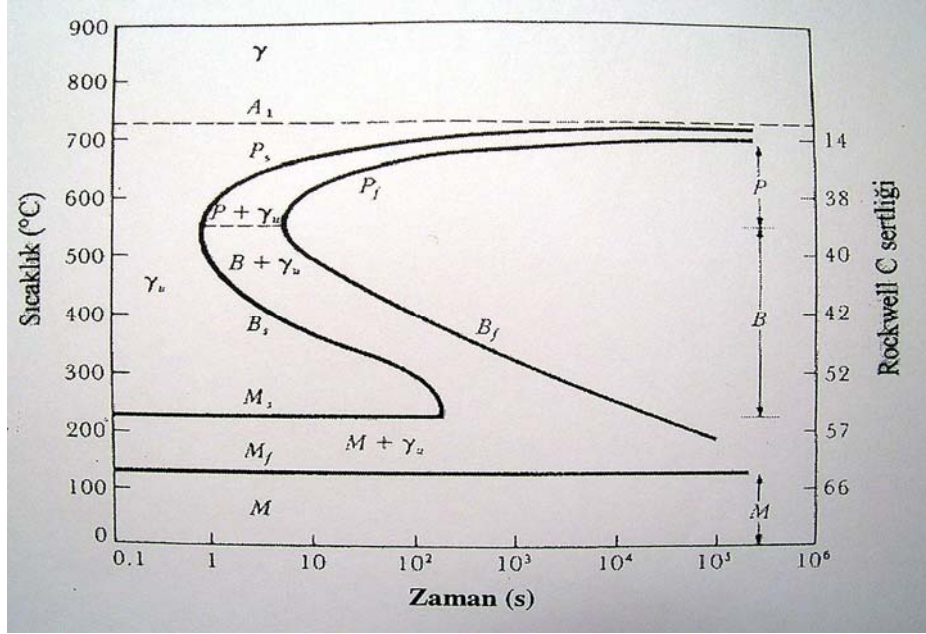
Şekil 4.18. Yavaş soğutulmuş çeliklerde dayanımın, % Fe₃C, % Perlit ve karbon miktarı ile ilişkisi[41]

Östenit düşük sıcaklıklara soğutulduğunda bir hayli alt soğutulmuş olur. Bu nedenle çekirdeklenme daha hızlı olur. Perlit başlangıç zamanı kısalmır. Buna karşın difüzyon da yavaşlar ve bu nedenle atomlar daha kısa mesafelere difüz ederler. Bu nedenle de ince perlit oluşur.

Büyüme hızının yavaş olmasına rağmen, hızlı çekirdeklenmeden dolayı dönüşüm için gerekli bütün zaman kısalmıştır. İzotermal dönüşüm sıcaklığı IT eğrisinin burnuna yakın 550 °C'ye ulaştığında, ince perlit oluşur (Şekil 4.19).

Beynitin çekirdeklenmesi ve büyümesi: IT diyagramı burnunun hemen altındaki sıcaklıkta çekirdeklenme çok hızlı olurken difüzyon çok yavaştır. Dönüşüm, biraz daha uzun bir zamana kadar gerçekleşmez ve toplam dönüşüm zamanı, çok yavaş büyümeden dolayı artar. Bu durumda, farklı bir mikroyapı oluşur. Düşük dönüşüm sıcaklıklarında perlitteki lameller oldukça ince ve sonuçta ferrit ve sementit arasındaki sınır çok büyük olabilir. Ferrit-sementit arayüzeyindeki enerjiden dolayı da çeliğin toplam enerjisi çok yükselebilir. Çelik iç enerjisini, sementitin ferrit içerisinde ayrı yuvarlanmış parçacıklar halinde çökmesini sağlayarak düşürür. Bu yeni mikrooluşum veya ferrit ve sementitin yeni düzenlemesi beynit olarak adlandırılır. Dönüşüm beynit başlangıç zamanında (Bs) başlar ve beynit bitiş zamanında (Bf) sona erer. Dönüşüm sıcaklığı devamlı azaldığında östenitten beynite dönüşüm için gerekli dönüşüm başlangıç ve bitiş zamanı artar ve beynit inceler. Burnun tam altında oluşan beynit üst beynit veya tüylü beynit olarak adlandırılır. Düşük sıcaklıklarda oluşan beynite ince beynit, alt beynit veya iğnesel beynit denir.

Martenzitik reaksiyon: Martenzit, difüzyonsuz katı hal dönüşümünün bir sonucu olarak oluşan bir fazdır. Örneğin; kobalt atomları yerlerinin hafif değişimi ile sıkı dolgu düzlemlerinin ardışık diziliminin değişmesi sonucu, YMK yapı HSP (hegzagonal sıkı paket) kristal yapıya dönüşür. Reaksiyon difüzyona bağımlı olmadığı için martenzit reaksiyonu atermaldir. Reaksiyon zamana değil sadece sıcaklığa bağımlıdır. Martenzit reaksiyon sesin malzeme içerisindeki hızına yakın bir hızda gerçekleşir.

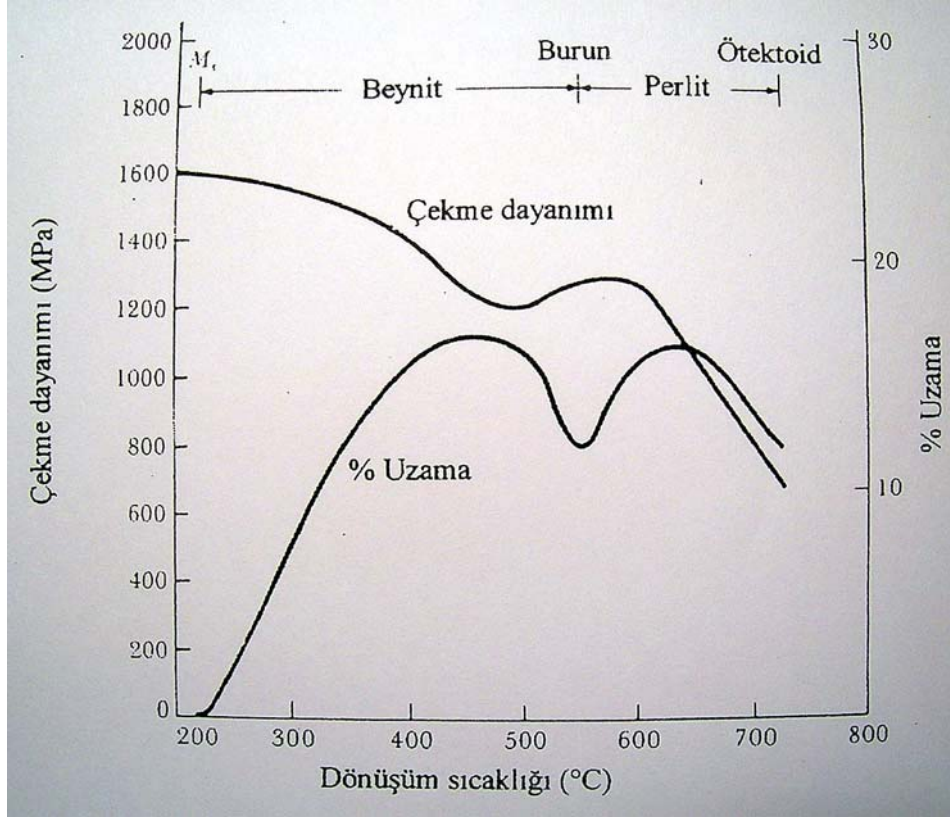


Şekil 4.19. Bir ötektoid çelik (%0.8 C) için izotermal dönüşüm (IT) diyagramı[41]

% 0.2 C'dan az karbonlu çeliklerde YMK östenit aşırı doymuş HMK martensit yapıya dönüşür. Yüksek karbonlu çeliklerde YMK östenit, HMT (Hacim merkezli tetraganol) martenzite dönüştüğünde, martenzitik reaksiyon oluşur. Çelikte martenzit sert ve kırılımandır. HMT kristal yapıda dislokasyonların kolayca hareket edebileceği sıkı paket kayma düzlemleri yoktur. Demir normalde oda sıcaklığında % 0.003 C içerdiği ve martenzit ise çeliğin içerisindeki karbon miktarı kadar karbon içerdiği için, martenzit karbonla aşırı doymuştur. Martenzit çok ince tane boyutu ve hatta tane içinde çok ince alt yapıya sahiptir.

Sonuç olarak, martenzit, çok az veya hiç süneklığe sahip değildir ve çok sert olduğu için özel takımlarla işlenebilir. Bu davranıştan dolayı normalde martenzitik çeliğin kendisi kullanılmaz (Şekil 4.20).

Martenzitteki karbon miktarı düşük olduğunda martenzit yanyana dar düzlemlerin demetinden oluşan iğne (lath) şeklinde büyür. Bu martenzit çok sert değildir. Martenzit yüksek karbon içerdiğinde, levha (plate) martenzit oluşur. Bu yapıda dar düzlemler demet şeklinden daha çok bireysel olarak büyür. Yüksek karbonlu levha martenzit yapıda sertlik daha fazladır [41].



Şekil 4.20. Bir ötektoid çeliğinin çekme özellikleri üzerine dönüşüm sıcaklığının etkisi [41].

4.6.1. Ray çeliklerinde kırılma direncini artırmak için ısıl işlem seçimi

Araştırmalar sonunda deney numunelerinde ray çelikleri için yapılacak optimum ısıl işlemde çeliğin maksimum K_c değeri ve minimum çatlak büyüme hızına sahip olması gerektiği bulunmuştur. Bu gereksinimler için bütün ısıl işlemlerin veya soğuma ve ısıtma işlemlerinin 420- 450 $^{\circ}\text{C}$ veya izotermal soğumanın 450-550 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında ve sertlik değerlerinin 35-45 HRC değerleri arasında olması gerektiğini göstermiştir. Bu yapılar yüksek periyodik ve statik kırılma direnci ve yüksek aşınma direnci vermektedir. Eğer daha yüksek sertlik gerekirse en iyi aşınma direnci için daha düşük oranda beynitik yapı, soğuma ile sağlanabilir [43].

Standard kompozisyonlardaki ray çeliklerinde ana problem ekstra maliyetlere karşın karşımıza çıkan düşük aşınma ve kırılma direnci ve iç yapı hatalarıdır. Bilindiği üzere malzeme içi yapı hatalarının giderilmesiyle malzemenin aşınma direncinde iyileşmelerin görüleceği bilinmektedir. Yüzeydeki mikro çatlaklar rayın çalışması

sırasında parçalar halinde yüzeyden uzaklaştırılsa bile zamanla merkeze doğru ilerleyen bir çatlak düzeneği mevcuttur [43]. Bu çatlak ilerleme hızı, yorulma miktarı zorlama faktörü ve çatlak tipine bağlı parametrelerdir. Aynı şekilde ray malzemesi üzerine basan tekrarlı yükler yumuşak mantar yapıyı inceltmekte ve plastik deformasyon sonunda bir sertleşme meydana gelmektedir. Bu yüzden aşınma sonunda meydana gelen çukurlar ve çıkıntılar muhtemel çatlakları desteklemekte ve kırılmaya zemin hazırlamaktadırlar. Bu aşamada ray malzemesinin sertliği ve çatlak dayanım özelliği bir noktaya kadar beraber artırılmalıdır. Bu noktadan sonra rayın yüksek sertliği çatlak ilerleme hızını artırmaya başladığı noktada optimize edilmelidir [44].

Ray malzemesinin içeriği ve üniform dağılmayan alaşım elementleri, tokluk ve sertlik dağılımı çatlak ilerleme hızı hakkında yeterli bilgi edinmemizi zorlaştırmaktadır. Yaygın olarak çatlak başlangıcı için gerilim konsantrasyonları ve farklı boyutlu iç yapılar sayılabilir [44]. Bu konuda standart çatlak genişlik ve radyüs ölçülerinin olmayışı bir eksiklik olarak kabul edilebilir. Kırılma tokluğu için kritik çatlak boyutu K_c olarak tanımlanabilir. Aynı şekilde yorulma çatlak hızı ise dl/dN olup burada N periyot sayısı olarak tanımlanabilir ve çatlağın kritik boyuta ulaşma için gerekli zamanı göstermektedir [44].

Denemeler sonunda 27-44 HRC sertliği için kırılma tokluğu soğutma ve temperleme işleminin yapıldığı numunede sadece izotermal soğumanın yapıldığı numuneye göre daha fazla olduğu görüldü. Temperleme sıcaklığının $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düşürülmesiyle kırılma tokluğu % 50 oranında azalmaktadır. Yüksek sertlik değeriyle (55 HRC) yüksek kırılma tokluğu kombinasyonunu elde etmek için en iyi işlem nitrat banyosu içinde $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye izotermal soğuma şeklindedir. Eğer martenzitik yapı ile beraber 64 HRC sertlik değeri elde edilirse ($114\text{ Mpam}^{1/2}$) düşük K_c değeri bululur. Burada malzemenin iç yapısı yani mikro çatlak etrafındaki gölgelerinin mukavemeti ve süneklik özellikleriyle ilintilidir. Bu bilgiler ışığında K_c değerinin düşük deformasyon ve süneklik değerinin çatlak bölgesindeki derecesi bilinmelidir. Optimum ısıl işlemi seçmek için ray çeliği maksimum K_c değerine sahip olmalıdır ve minimum çatlak ilerleme hızı elde edilmelidir. Bu gereksinimler için bütün kesit $420\text{-}550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den soğuma ardından temperleme veya $450\text{-}550\text{ }^{\circ}\text{C}$

dereceden izotermal soğuma ve 35-45 HRC sertlik değeri elde edilmelidir. Eğer daha yüksek sertlik değeri elde edilmek isteniyorsa (HRC 45-50) en iyi aşınma direnci düşük beynit yapıya izotermal soğuma ile gerçekleşecektir [45].

4.6.2. Mantar kısmının sertleştirilmesi

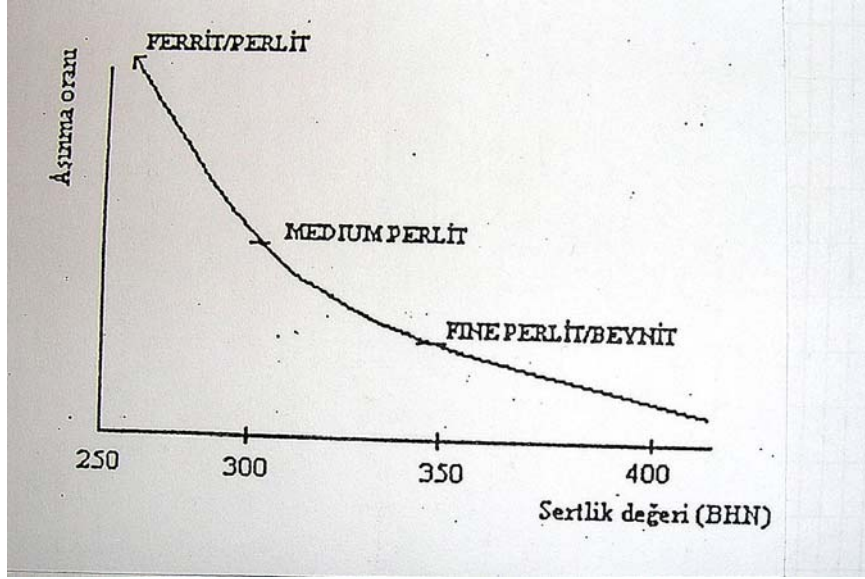
Mantar kısmı sertleştirilen raylar % 0.78 C ve % 0.9 Mn içermektedir. Rayların mantar kısmı elektrik veya gaz kullanılarak 1050 °C 'ye kadar ısıtılır ve daha sonra sıcaklık saniyede 3-4 °C oranında azaltılarak 500 °C'ye düşürülür. Bu işlem perlitik yapının sertlik değerini 280 BHN'den 360 BHN değerine yükseltir [21].

Rayın tamamında haddelemeden sonra (900 °C) sıcaklıktaki rayların sıcaklığı bilgisayar kontrolü altında saniyede 3-5 °C'lik bir soğuma ile 550-650 °C 'ye indirilir. Bu sayede rayda derin bir sertleşme elde edilebilir. Sertlik değerleri 300 BHN ve 400 BHN arasında değişir. Bu yöntem ile mantar kısmının sertleşmesi sağlandığı gibi sertleşmeyen diğer kısımlarda da istenen sertlik elde edilir.

Ray uçlarının sertleştirilmesi uç kısımlarda homojen ve iyi dağılmış perlitik bir yapı sağlanmış olmaktadır. Genellikle 14 mm ile 40 mm bir derinlik bölgesi elde edilmektedir [46].

4.7. Rayların Isıl İşlemi

Rayların çalışma ömürleri genellikle 20-30 yıl olmak üzere 3 ay ile 100 yıl arasında değişmektedir. Raylar, servise alınıncaya kadar nakliye, makine işlemesi, bükme ve kaynaklanma aşamalarından geçerler. Servis anında ise mantar aşınması, yüzey yorulması, yüzey kalitesinin bozulması, tamir kaynakları ve sürtünmelere maruz kalırlar. Rayların metalurjik yapıları tüm bu özellikleri çeşitli derecelerde etkiler. Tüm raylarda aşınma yüzeyi olarak perlitik yapı kullanılır. Avrupa standartları için düşük istenen sertlik değerleri için perlitik yapıya ek olarak tane sınırlarında ferrit de bulunur. Perlitik yapıyı oluşturan lameller arasındaki mesafe arttıkça sertlik değeri de düşer. Raylarda perlitin yapı içerisindeki oranına bağlı olarak aşınma ve sertlik değerleri arasındaki genel ilişki aşağıdaki grafikte gösterildiği gibidir [47].



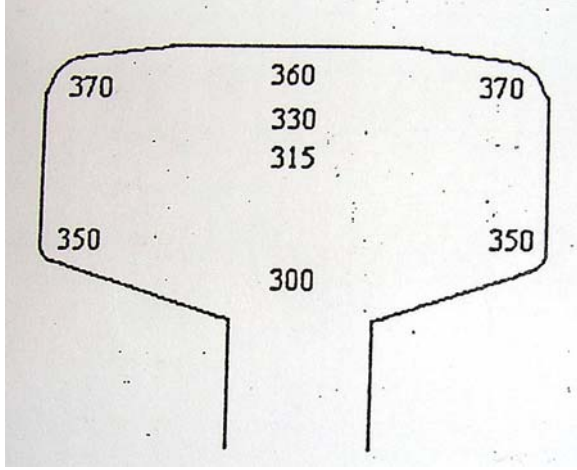
Şekil 4.21. Perlit fazının yapı içindeki oranına bağlı olarak aşınma oranı ve sertlik ilişkisi [24].

Sadece çeliğin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak elde edilebilecek maksimum sertlik değeri 340-350 BHN'dir. Fakat bu noktada daha yüksek sertlik değerleri için yapının tamamen perlitik olması garanti değildir. Haddelene sonrası ısıl işlem uygulanmasıyla perlitik yapının sertliği 300-420 BHN arasında sağlanabilir. Haddelene sonrası sertleştirme ısıl işlemi off-line (hat dışı) sertleştirme ya da in-line (hat içi) sertleştirme olarak gerçekleştirilir [20].

4.7.1. Off-line ısıl işlem metodu

Off-line yönteminde doğrultma sonrası ısıl işlem ünitesine transfer edilen rayların mantar kısmı indüksiyon bobinleri ile ısıtılır. Ray, askı şeklindeki ve mantar kısmını kuşatan indüksiyon bobinlerinin altından sabit bir hızda hareket ederek hava jetlerinin olduğu soğutma bölümüne girer ve arzu edilen dönüşüm sıcaklığına kadar basınçlı hava ile soğutulur. Örneğin %0,78 C ve %0,9 Mn bileşimine sahip yalnız karbon rayının mantar sıcaklığı 1050 °C'ye kadar çıkarılır. Bu sıcaklıktan itibaren 3-4 °C/s hızla 500°C kadar basınçlı hava ile soğutulur ve sonra havada serbest soğumaya bırakılır. Bu işlem perlitik yapının sertliğini 280'den 360 BHN'ye çıkartır.

Fakat rayın östenize olan ve tam östenize olmayan kısımları arasında bir sınır şeklinde mikroyapı farklılığı oluşma ihtimali çok yüksektir. Dolayısıyla son ürünün mekanik özellikleri açısından bu bir dezavantajdır [21].



Şekil 4.22. Mantarı serleştirilmiş rayın mantar kısmı sertlik dağılımı (Brinell) [24]

4.7.2. In-line ısıtma işlemi

Daha yeni olan In-line sertleştirme yönteminde haddeleme sonrası yaklaşık 900 °C olan ray hiçbir ek ısıtma olmaksızın otomasyon kontrollü su jetleri ile 3-5°C/s hızla 550-650°C'ye kadar soğutulur. Bu yöntemin avantajı maliyetinin daha düşük olması (mantapilasyonların daha az olmasından) ve yapıdaki sertlik derinliğinin daha fazla olmasıdır. Haddeleme sonrası sıcaklığında mantar kısmı tümüyle östenit fazındadır. Dolayısı ile soğutma sonrası daha üniform bir mantar mikro yapısı elde edilir. Bunun yanında rayın farklı kısımları için farklı sertlik değerleri elde edilebilir. Böylece delinmesi gereken kısımlar olan flanş ve ayakların daha düşük sertlik değerlerinde olması sağlanabilir [20].

4.8. Yeni Nesil Raylar

Günümüzde dünyanı en hızlı trenleriyle dünyanın en modern rayları arasında bir paralellik görülmektedir. Shinkansen hızlı trenleri ile Nippon Steel Corporation (NSC) gibi. Kontinü döküm prosesi, üniversal tezgahlarda üretim ve yeni alaşım elementleriyle beraber yeni ısıl işlem teknikleri sayesinde rayda ilerleme kaydedilmiş ve hızlı trenlerin yayılması adına mesafe alınmıştır.

Yeni tip raylarda bir dizi özellik aranmaktadır. Bunlar;

- **Üniversal Tezgahta üretilmiş olmak:** Bu raya hassasiyet vermekte üretim süresini ve kalitesini çok ciddi iyileştirmekte olup dünyada uygulanana geçerli sistemdir. Ray üretimi yapan firmalar için günümüz şartlarında başka türlü bir metot zaten mümkün görünmemektedir.
- **Üstün Kalite;** Rayın kesit hassasiyeti, bileşimi, yüzey kalitesi normlara uygun olmak zorundadır.
- **Üniform Özellikler:** Ray üretiminde kullanılan malzemeler gayet saf olmalı ve üretimin her aşamasında ki bu sıcak metal, çelikhanede alaşımlandırma ve kontinü döküm ve blum olarak dökme, sertleştirme ve nihai kalite kontrol işlemleri ilgili normlara sadık kalınarak uygulanmalıdır.
- **Bütün Ülkelerin Standartlarına Uyum:** Üreticiler dünya standartlarında üretim yapabilmeli ve bütün dünyaya ihracat yapabilmelidirler. Bunlar Kuzey ve Güney Amerika, Asya, Ortadoğu gibi
- **Araştırma-Geliştirme:** Üretici günümüz teknolojisini yakından takip etmeli ve müşterisine en yüksek kaliteyi sunduğuna ikna etmelidir.
- **Ekonomik Avantajlar:** Üretilen raylar çok geniş bir tip ve boyut yelpazesinde olmalıdır. Bu anlamda verimlilik, ekonomik kurulma ve minimum inşa giderleri

içermelidir. Üretici sektörün ihtiyaçlarını göz önünde bulundurup günün şartlarını iyi değerlendirerek müşterisinin menfaatini düşünmek zorundadır [35,38].

4.8.1. Sertleştirilmiş mantarlı raylar

Bir rayın ömrü temelde servis şartları altındaki mantarın yorulma dayanımı aşınması ile ilgilidir. Rayın tamamını sertleştirerek ısıtma işlemi tabii tutmak şartıyla ince perlitik yapı elde etmek için ekonomik bir tesis inşa edip işletmek zorunluluğu vardır. Bunun yerine yalnız mantar kısmına ısıtma işlemi uygulanması günümüzde kullanılan yöntemdir. Rayın sıcaklığı 820 °C'ye çıkarılır ve yağda soğutulup, ince perlit yapısı elde edilir [45].

Daha sonra 420 °C'de gerginlik giderme işlemi uygulanır. Rayın haddeme sonrası sertleştirme işlemi 900 °C'lik rayın bilgisayar kontrolü altında saniyede 3-5 °C düşürülüp 500-600 °C'ye indirilir. Sertlik değerleri 300-400 BHN arasında değişir. Ray ters çevrilerek mantar kısmı soğutma havuzlarına sokulup sıvı miktarı ayarıyla soğutma hızı kontrolü sağlanarak da ısıtma işlemi yapılabilmektedir. Hava kullanılarak (off-line) sağlanan ısıtma işlemi daha az yatırım gerektirdiğinden kullanışlı bir yöntemdir. Mantar sertleştirilmiş rayların mantarının sağlamlığı ve mukavemeti içeri doğru daha fazla nüfuz etmektedir [20].

- **Daha Derin ve Uniform Sertleşmiş Zon:** Bu tip raylar tam otomatik indüksiyon ısıtma prosesleriyle ısıtma işlemi tabii tutulmaktadır. Böylece bu tip raylarda daha uniform sertleştirilmiş zon daha derinlere daha az tufal ve dekarburizasyon etkisiyle ilerlemektedir.

- **Mükemmel Aşınma Direnci:** Mantar sertleştirilmiş raylar 341-388 BHN sertlik değeri vermektedir ki bu normal rayların yaklaşık üç katı bir aşınma direnci vermektedir.

- **Üstün Tokluk Ve Yorulma Mukavemeti:** Isıtma işlemi yapıldığında normal raylardaki perlit iyi perlit konumuna yükselmektedir. Bu durumda yapının yüksek

çekme mukavemeti sonucuyla tokluk ve yorulma mukavemetinde gözle görülür iyileşmeler kaydedilmiştir.

• **Stabil Kalite Ve Ekonomiklik** : Kullanıldığı ağır yük ve yoğun trafik şartlarında ve virajlarda mantar sertleştirilmiş raylar standart raylara göre defalarca daha üstün özellikler ve servis ömrü vermektedir. Böylece belirgin bir şekilde bakım ve servis ve kurulum maliyetleri azalmaktadır .

4.8.1.1 Mekanik Özellikler

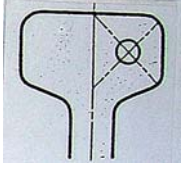
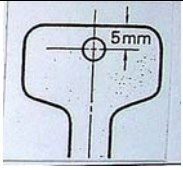
Kimyasal kompozisyon:

Tablo 4.10. Mantarı sertleştirilmiş örnek bir rayın kimyasal kompozisyonu [35].

Alaşım Elementi	C	Si	Mn	P	S
Yüzdesi (%)	0.76	0.22	0.95	0.020	0.020

Mekanik özellikler:

Tablo 4.11. Mantarı sertleştirilmiş örnek bir rayın mekanik özellikleri [35].

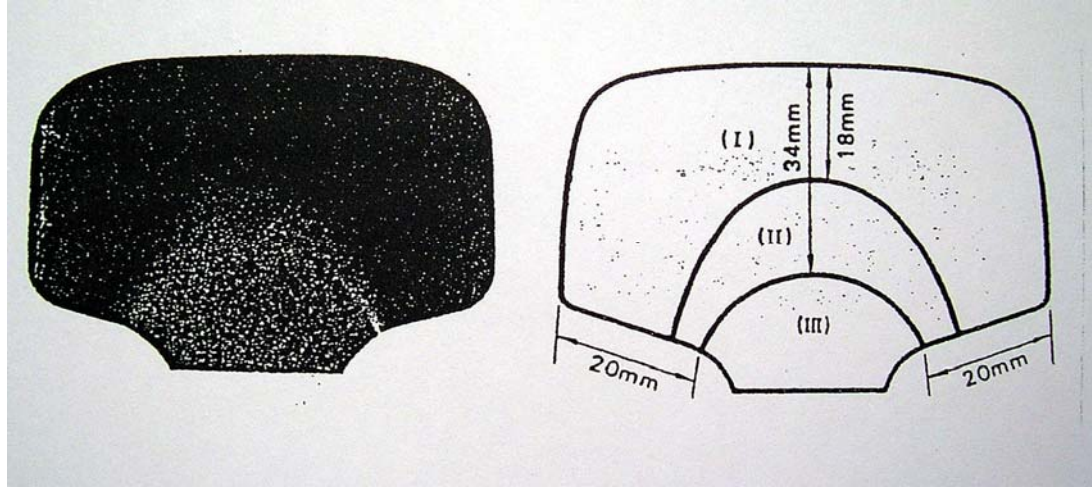
	Elastiklik sınırı (kg/mm ²)	Çekme Muk (kg/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması(%)	Test Parçası
Isıl işlem Öncesi	58.6	97.7	14.0	20.2	
Isıl İşlem Sonrası	86.6	127.5	16.4	37.1	

4.8.1.2. Isıl işlem görmüş tabakanın özellikleri

1 Makroyapı:

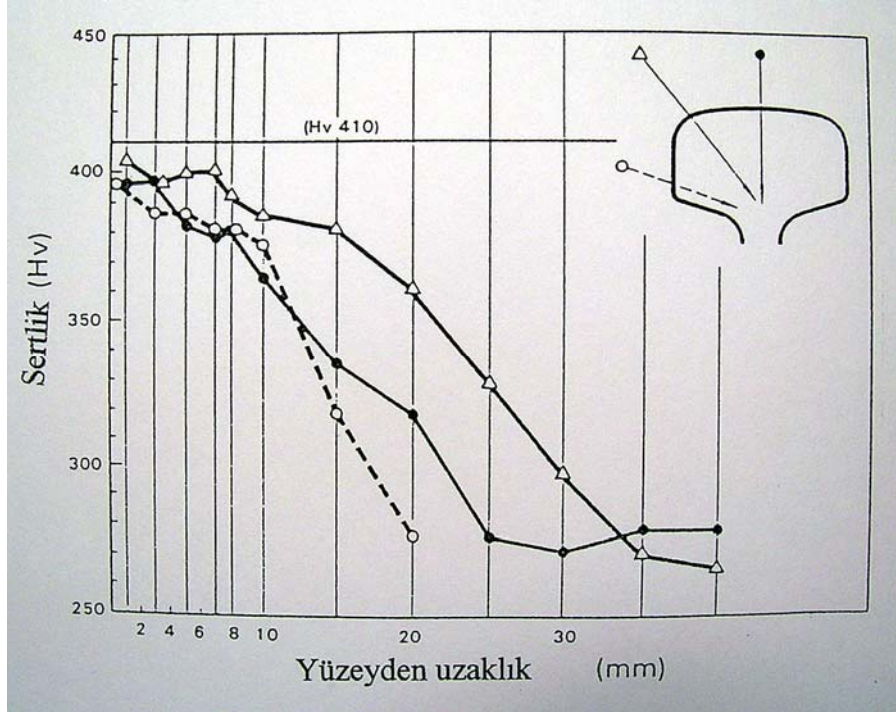
- 1.zon veya siyah bölge ki dışta kalmış bu alan ani soğuma ve 730 °C veya daha yukarı bir ısı sonucunda sertleşmeye maruz kalmış yapıdır.
- 2.zon veya beyaz zon da denir ve 1.zona bitişik olan bu zon ısınma sonucunda daha yavaş bir soğumaya maruz kalmış olup ısıdan daha az etkilenmiştir.
- 3.zon olan bu bölge ısıl işlemde etkilenmeyen gövde bölümüdür (Şekil 4.1).

2. Sertlik Dağılımı : Mantar içine doğru sertlik dağılımı incelendiğinde keskin düşüş veya sertlik dağılımından ani kesintilere rastlanmamıştır.

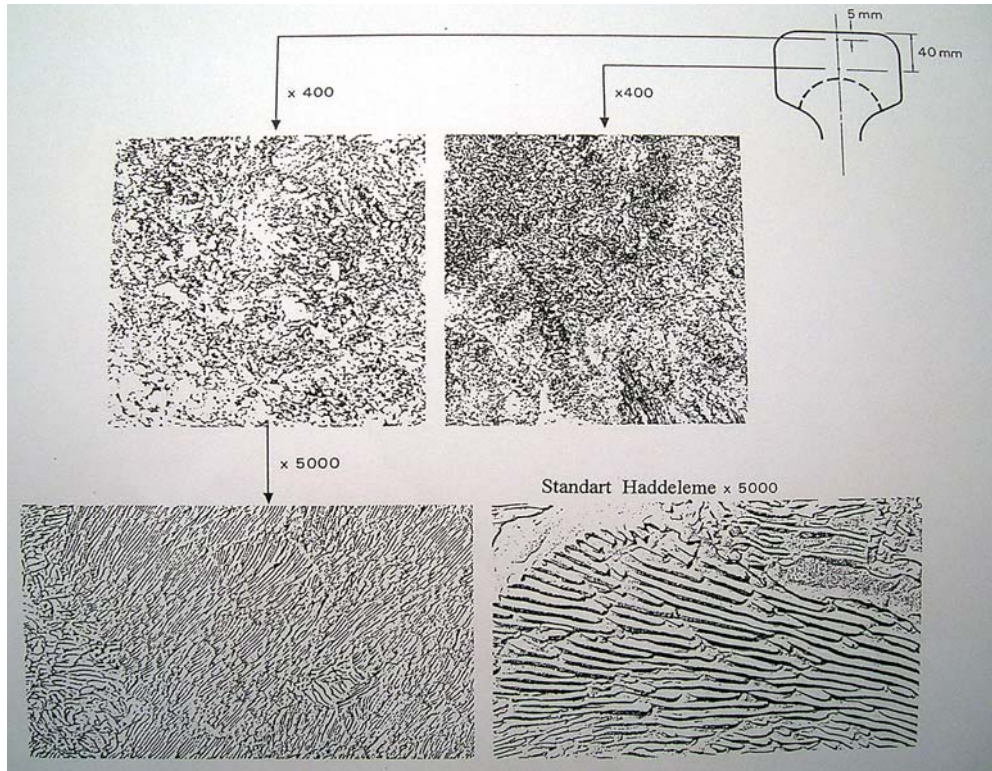


Şekil 4.23. Isıl işlem sonrası mantardaki sertlik bölgeleri [21].

3. Mikroyapı: Yukarıda bahsedildiği üzere perlitin mukavemeti perlit içinde dağılmış interlamellerin yerleşimine bağlıdır. Bu lamellerin boyutu yaklaşık 0.1 µm veya o civarda olup geleneksel yolla haddelenmiş raya göre son derece düşüktür.



Şekil 4.24. Mantarda sertlik –yüzeyden uzaklık ilişkisi [35].

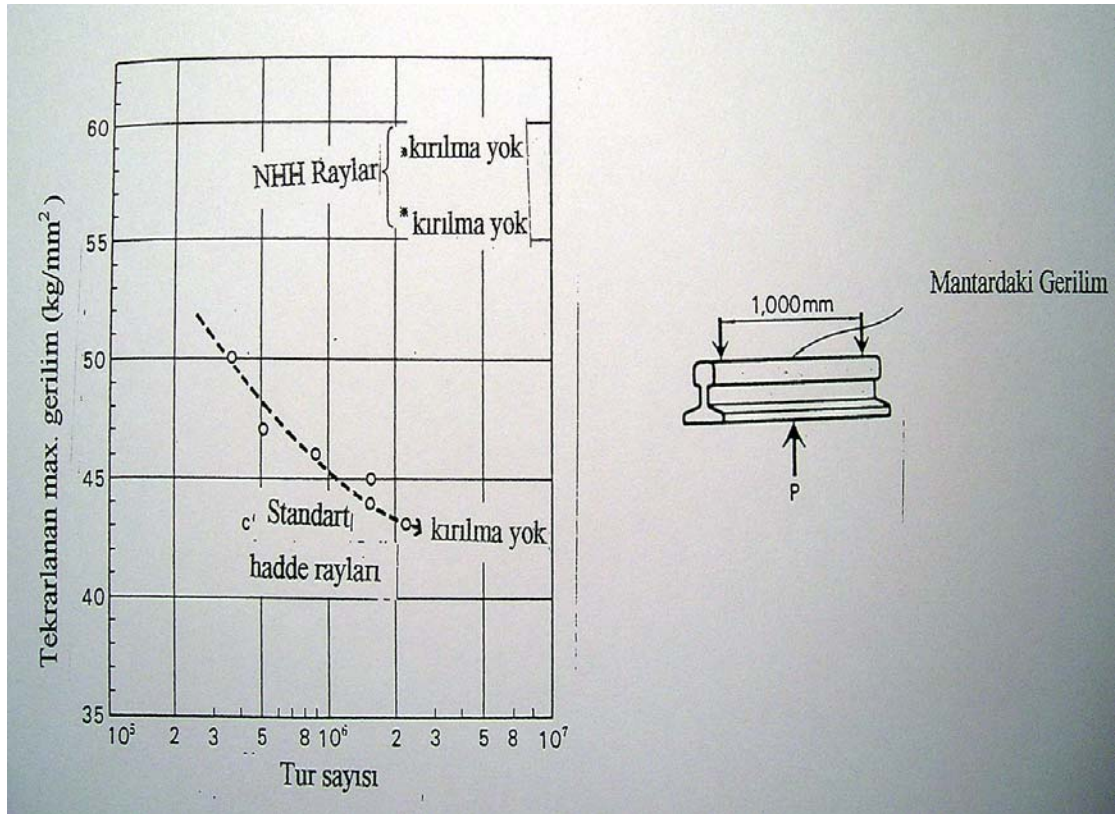


Şekil 4.25. Mantarı sertleştirilmiş rayın mikroyapı analizleri [45].

4.8.1.3. Mantarı sertleştirilmiş raylarda eğme yorulma mukavemeti

Raylarda bükme yorulma mukavemeti son derece yüksektir. Test makinesinin kuvveti en son kademeye kadar artırılarak yapılan deneylerde bile yeni tip raylarda (NHH-New Head Hardened) S-N eğrisini elde etmek mümkün olamamıştır. En son 60 kg/mm^2 'den fazla bir kritik yorulma mukavemeti düşünülmüştür. Bu durumda ray mantar yüzeyinde yüksek gerilimin kompresif kalıntı gerilimine sebebiyet verdiği göz önünde bulundurulmalıdır.

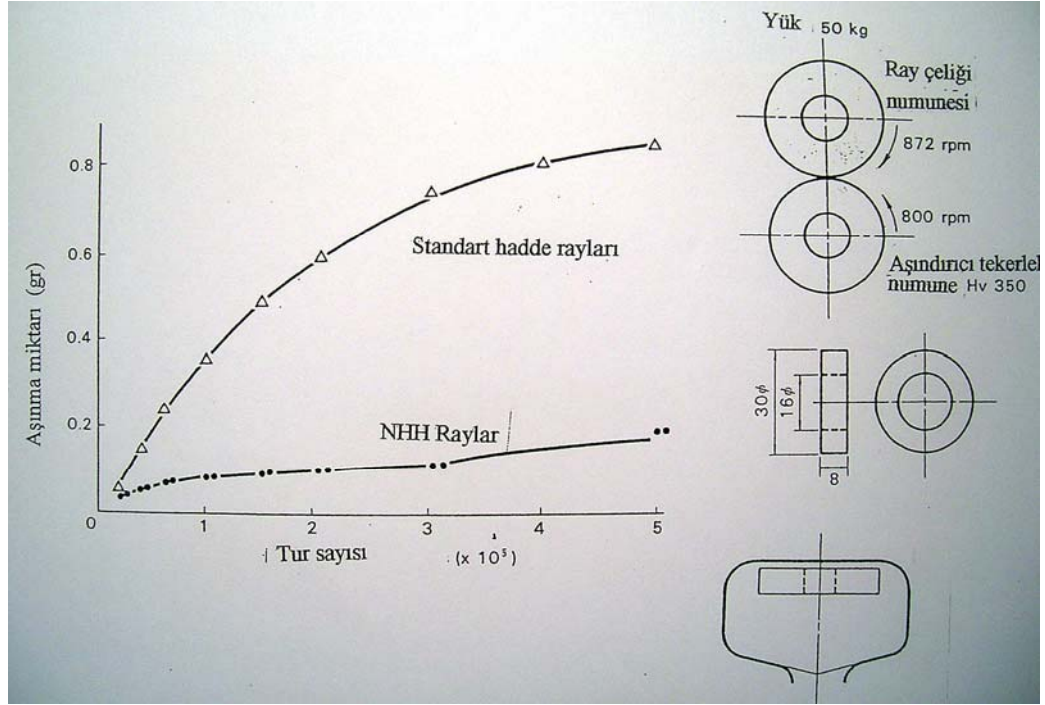
Test Metodu: 3-noktadan yükleme yapılır. Min. gerilim 3 kg/mm^2 . Yükleme çevrimi 250-450 cpm ve numunenin max. gerilimi; NHH raylarda 128.5 kg/mm^2 haddelenmiş normal raylarda ise 92.5 kg/mm^2 'dir.



Şekil 4.26. Raylarda bükme deneyi ve şartları [35].

4.8.1.4. Aşınma direnci

Yapılan testler yeni NHH rayların aşınma direncinin çok daha az olduğunu gösterdi. Burada test şartları olarak yağsız 50 kg yük altında kayma % 9 olarak belirlendi.



Şekil 4.27. NHH rayların aşınma direncinin karşılaştırılması [35].

Rusya'daki dünyanın önde gelen demiryolu ray üreticilerinden NTMK karşılaştığı aşınma sorununu yeni çeşit ray çeliği kullanarak çözdü. Geliştirilmiş ray profili olan K modifiye ve kalibre edilmiş standart raydan oluşmaktaydı. Yeni ray çeliği süper ötektik karbon içeriği olan (% 0.83-0.89 C) ile beraber % 0.03 -0.07 V ilavesiyle tamamen sertleşmiş rayda sementit bağlarının bağlanmasını önlenmiştir.

Akis yüklerinin 25 tona kadar artmasıyla beraber raylarda yağlama eksikliği özellikle köşeli bölgelerde düşük aşınma direnci verdi. Rusya'da rayların servis dışına alınmasının en önemli sebebinin aşınma olduğu görülmektedir [22]. Aşınmadan kaynaklanan bozukluklar diğer yapısal hatlardan çok daha fazladır.

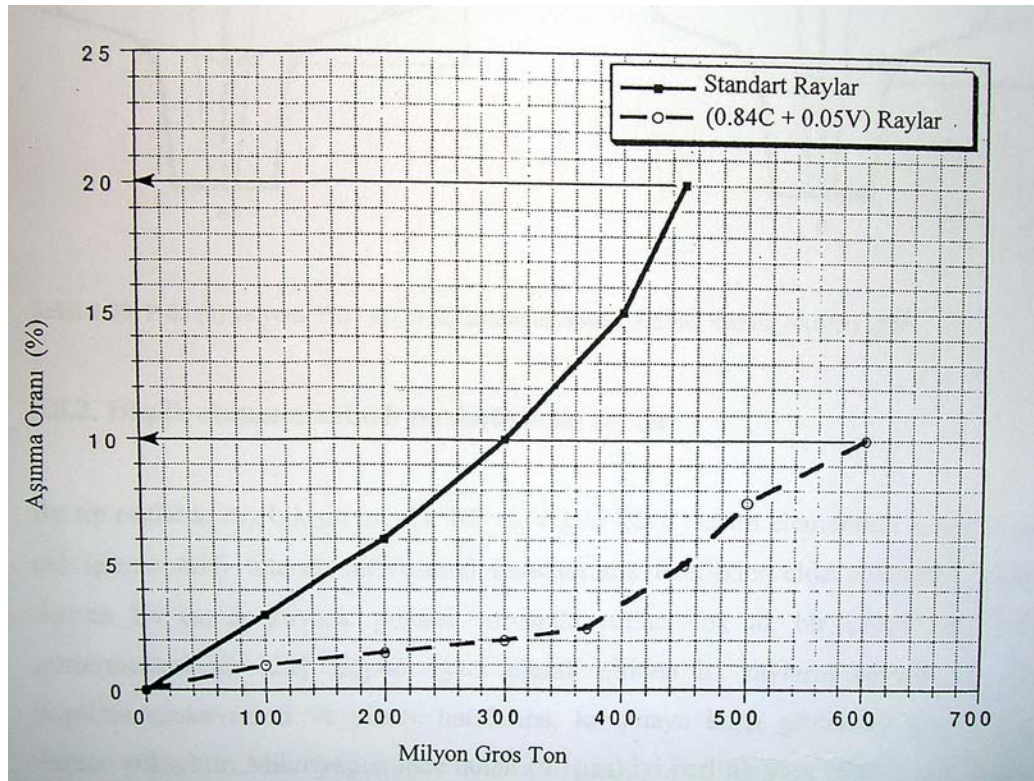
Ray aşınmasını önlemek için birkaç yöntem olduğu bilinmektedir:

- Ray yağlayıcılarının kullanılması,
- Ray profilini tekerlek –ray basıncının azaltacak şekilde değiştirmek,
- Ray sertliğini azaltmak.

NTMK uzmanları ray sertliğini azaltmak ve ray profilini değiştirmeyi tercih ettiler [22].

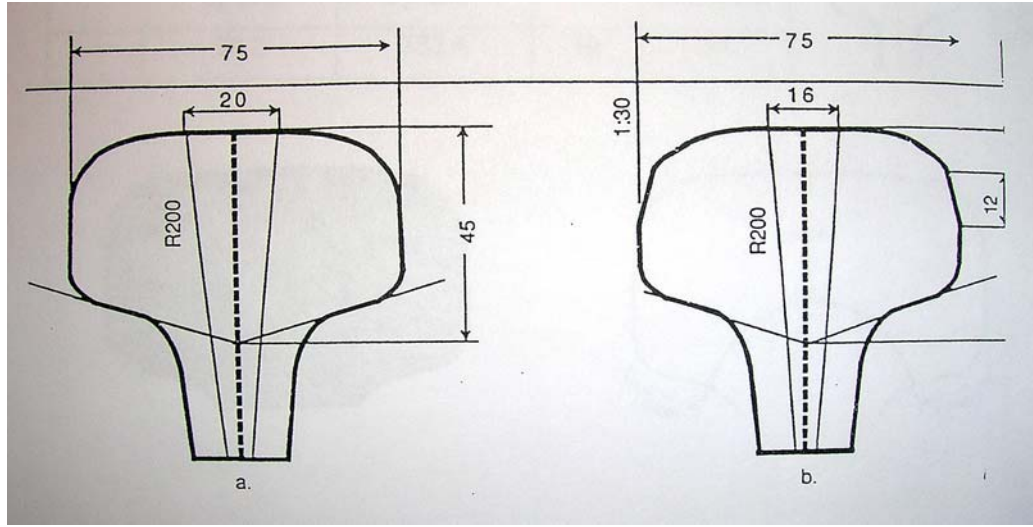
Tablo 4.12 % 0.05 V ilave edilmiş rayların mekanik özelliklerinin diğer raylarla karşılaştırılması [22]

Adı	Çekme Uzaması Mpa	Akma Mukave Mpa.	% Uzama	Kesit Daralması %	Çekme Uzaması Mpa	Akma Mukave. Mpa.	% Uzama	Kesit Daralması %
	Standart Haddeleme				Tamamen Sertleştirilmiş Ray			
Standart	1036	603	6.1	9.7	1316	945	10.9	30.6
0.84 C	1076	651	6.8	14.0	1342	964	10.7	30.6
0.84C0.05V	1089	666	7.7	13.7	1414	1007	10.6	30.3



Şekil 4.28. Standart ray ile 0.84 C+0.05V rayların aşınma hızlarının karşılaştırılması [22]

Tablo 4.12’de görüldüğü gibi % 0.05 V ilavesi çekme mukavemeti ve % uzama değerlerini oldukça iyileştirmiştir. Bu tip alaşımlandırmalar son dönemde süper raylar olarak bilinen raylarda sıklıkla yapılmakta ve çağın gerekleri olan yüksek dingil yükleri ve aşırı zorlamalara, yoğun yük trafiği ile termal şoklara dayanıklı raylar elde edilebilmektedir. Şekil 4.28’de verildiği gibi yeni tip P 65 K (b) tipi rayların şekillerindeki bu yenilik ile beraber aşınma miktarlarında %20-25 oranında azalma olduğu gözlenmektedir. Burada radyüs eğrisi daha küçültülerek yeni bir dizayn elde edilmiştir. Bu tip raylar Rusya’nın doğusunda Sibirya’da ve Güney Urallarda kullanılmakta ve oldukça iyi sonuçlar alınmaktadır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. P 65 (a) ve yeni P 65 K (b) raylarının aşınmayı azaltıcı mantar ölçüleri [22]

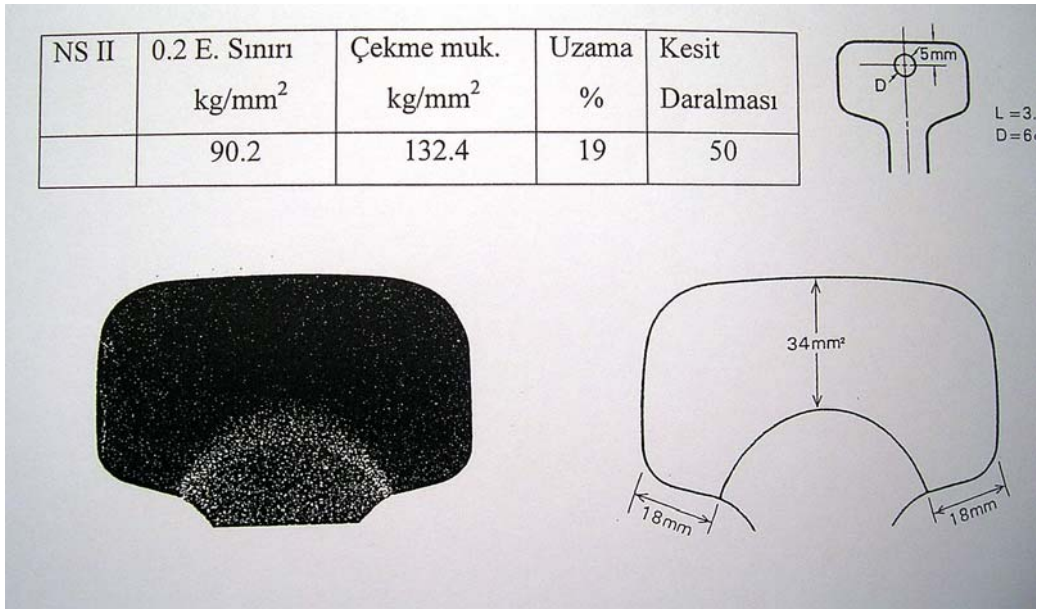
4.8.2. Düşük alaşım mantarlı sertleştirilmiş raylar

Bu tip raylarda ray bileşimine Cr, Nb ve V gibi ilave alaşım elementleri katılarak ve ısıtılma işlemi tabii tutarak mükemmel karakteristik özellikler elde edilebilmektedir. Ayrıca bu raylar kaynak prosesi sırasında ısıdan çok az bir bölge etkilenme göstermektedirler [22]. Süper raylar olarak bilinen bu rayların aşınma direnci, yorulma mukavemeti ve yüzey hatalarına, kırılmaya karşı gösterdiği direnç son derece yüksektir. Mikroyapısı ince taneli (0.1µm) iyi perlitik yapı NHH raylar kadar iyi özellikler vermektedir.

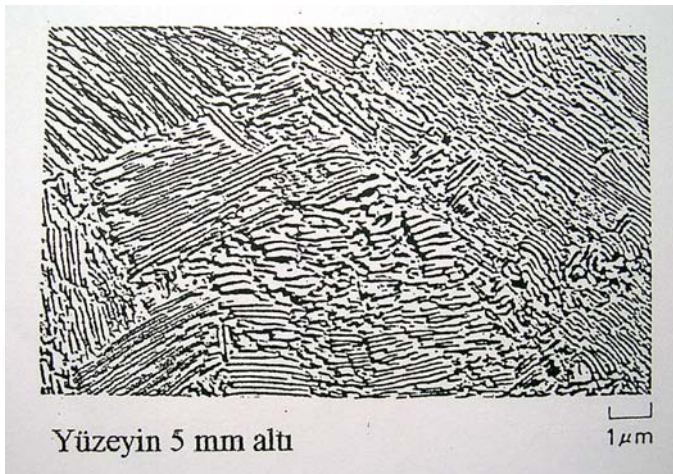
Tablo 4.13. Düşük alaşımlı mantarlı rayların alaşım elementleri [35]

NS II	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb
	0.76	0.82	0.82	0.020	0.006	0.49	0.005

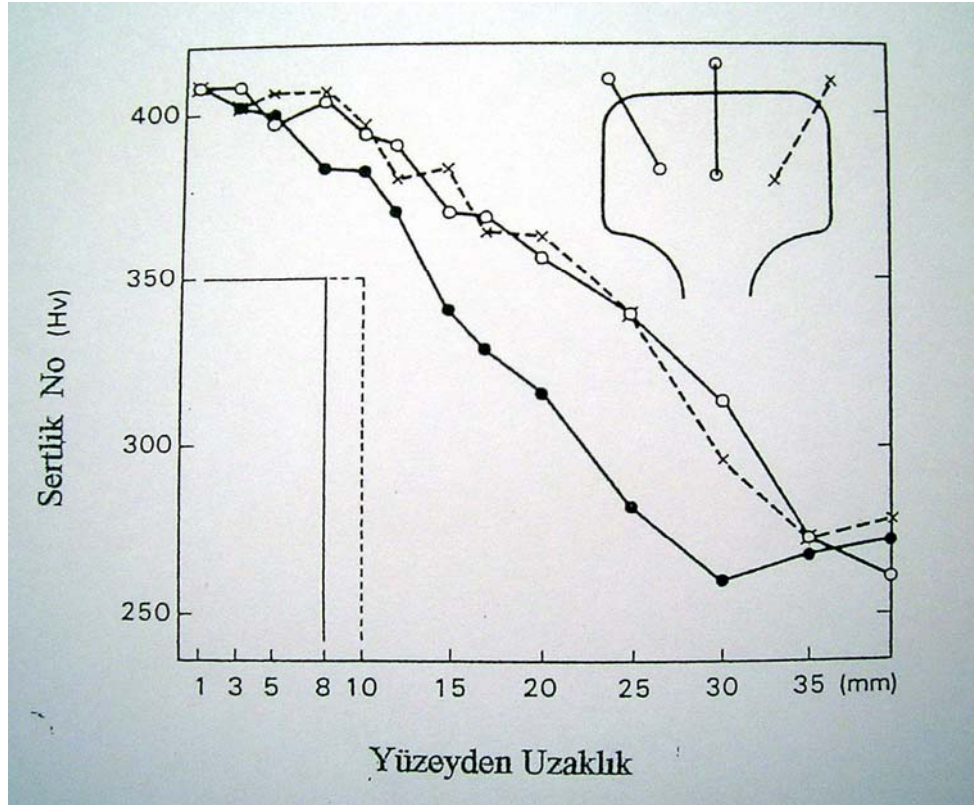
Tablo 4.14. Düşük alaşımlı mantarlı rayların ısı işlemden sonra mekanik özellikler [35].



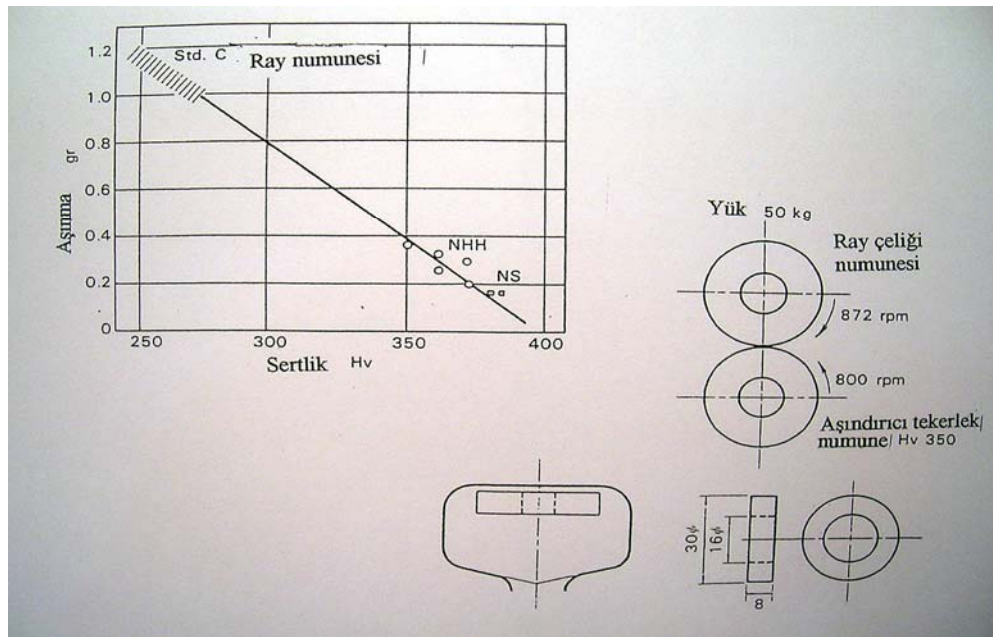
Şekil 4.30. Alaşımlı raylarda ısı işlem görmüş ve sertleşmiş alan [35].



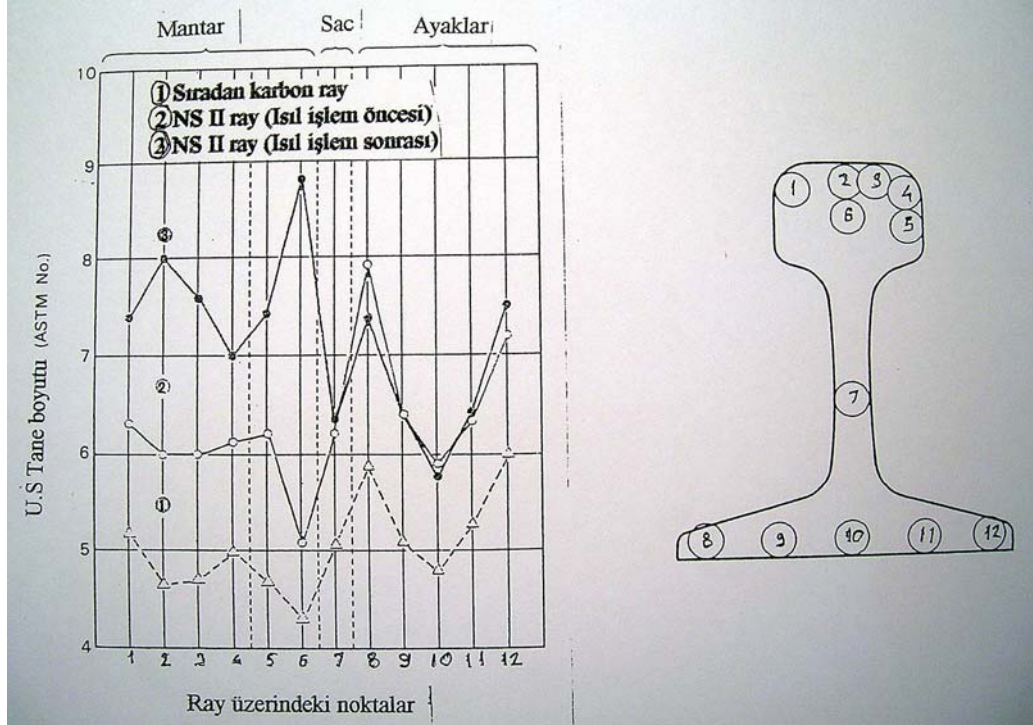
Şekil 4.31. Süper alaşımlı sertleştirilmiş rayların yüzeyden 5 mm içerdeki mikro yapısı [20].



Şekil 4.32. Ray kesitinin sertlik dağılımı [35].



Şekil 4.33 Alaşımli NHH rayların aşınma direnci (Test şartları: % 9 kaymalı ortam, yağsız , 50 kg yükte)[35].

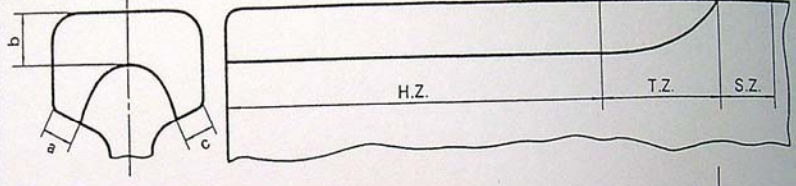


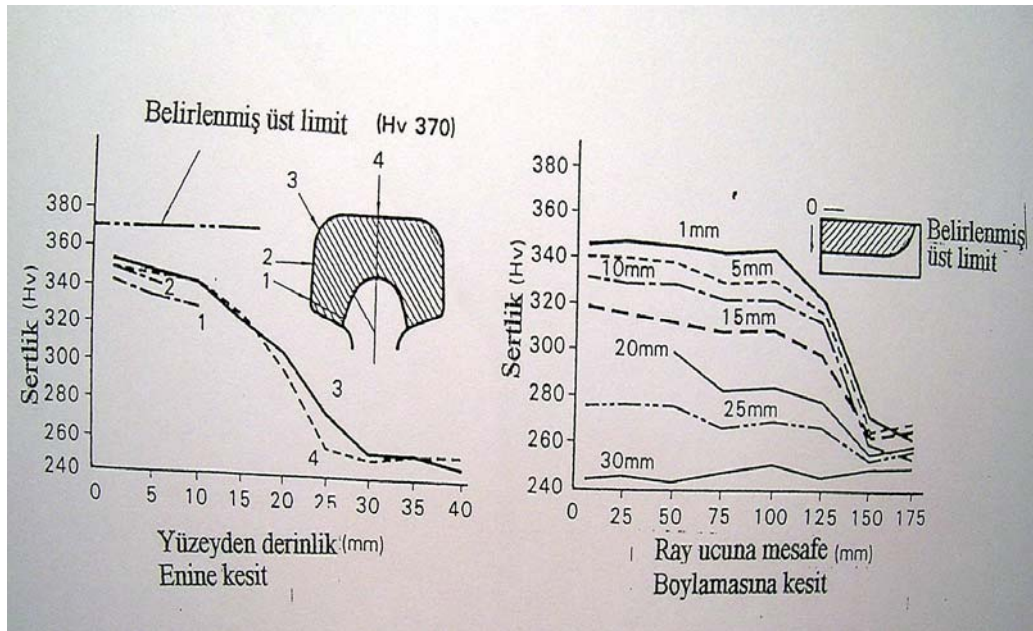
Şekil 4.34. ASTM NO'lara göre sıradan C ve NS II (Alaşım) raylar [35]

4.8.3. Uçları sertleştirilmiş raylar

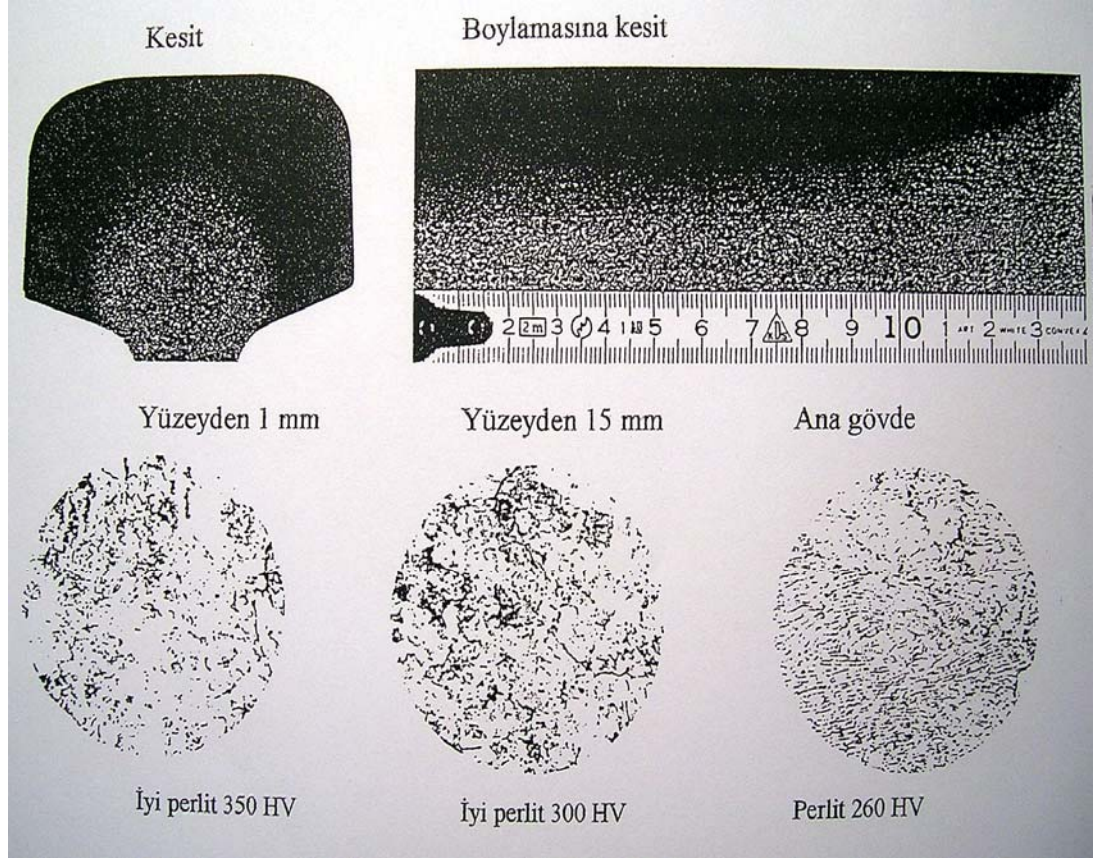
Ray uçlarının ısıtılma ile sertleştirilmesiyle mukavemetinin artırılması sağlanmıştır. Bu proses için dizayn edilmiş düzenek sayesinde her rayın uç kısmı ısıtma ve suda soğutma operasyonu sonunda homojen dağılmış bir zona sahip olmakta ve bu mukavim ve daha tok uçlar sayesinde rayın servis ömrü artmaktadır. Bu zonun uzunluğu 140 mm'ye kadar uzayabilmekte ve 40 mm kadar da geçiş bölgesi oluşmaktadır. Bu uç tarafın sertliği 330 BHN ve kesitinin sertliği 350 BHN'den fazladır. Bu standart bir ray için 2.5 defa daha fazla aşınma direnci demektir. Mükemmel perlitik yapı yorulma direncinin artırmakta ve bu da rayı ekonomik yapmaktadır. Yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma prosesi sayesinde minimal düzeyde ısıtılma hataları ve geçiş zonu ihtiva etmektedir [20,21].

Tablo 4.15. Uç sertleşme içeriği [35]

Kesit	40 kg N 50 kg N, 60 kg N
Isıl İşleme Sertlik	48 ±3 Shore sertlik
Isıl İşlem Zonu	 <p>Hazır sertleştirilmiş zon (HZ) 100±10 mm Sertleşme derinliği b: 15mm-30mm a, c: 10 mm ve üzeri Geçiş zonu (TZ) 40 mm altında Yumuşamış bölge 20 mm altında</p>
Kesit sertliği	370 vikers sertliğini geçen parça yok
Sertlik dağılımı	İçeri doğru yavaşça düşmekte olup ani sertlik düşüşleri yok



Şekil 4.35. Sertliğin ray kesitinde ve boylamasına karşılaştırılması [35].



Şekil 4.36. Uç sertleştirilmiş rayların makro ve mikro yapı görüntüleri [35].

4.9. Kardemir'de Yeni Ray ve Profil Haddesi Fizibilitesi

Demiryolu taşımacılığının ulaşım sektöründe ki payının artırılması için yerli kaynak kullanımının ön plana çıktığı KARDEMİR üretimi raylar, ülkemiz demir-çelik mamullerinde tartışılmaz yere ve güvenine sahip KARDEMİR A.Ş. tarafından üretilmektedir. KARDEMİR yeni kurulacak ray ve profil haddesinin üretime başlamasıyla sektörde söz sahibi olmaya devam edecektir [48].

- Proje sonuçlandırılıp üretime geçildiğinde;
- 160 - 400 mm arası I profiller,
- 140 - 400 mm arası U profiller,
- 120 - 200 mm arası köşebentler,
- 60 Kg/mt' ye kadar raylar,

- 80 - 150 mm arası yuvarlak ve kare kesitler,
- 245 x 245 mm'ye kadar blumlar ve
- 160 - 200 mm arası geniş başlıklı profiller üretilebilecektir.

400 ton/yıl kapasiteli olacak yeni haddehanede; 100 ton/saat kapasiteli yürüyen kirişli fırının tam otomasyonu ile tavlama hataları asgariye indirilecek uygun tavlama şartları sağlanacaktır. Fırın çıkışında malzeme tufal temizleme cihazıyla oksit tabakasından uzaklaştırılıp, iki kaba hadde grubuna sahip hatta verilecektir. Transfer konveyörünün ardından uç baş kesimi ve yuvarlak kesitler için sıcak testere mevcuttur. Yuvarlak ve kare kesitler için üretim soğutma ızgarasında son bulmaktadır [48,49].

4.9.1. Ray sektörünün yarınları adına tahminler

Uluslararası demiryolu yük taşımacılığı bununla beraber buna paralel ray genişletme istasyon yapımı ve bakım onarım ve yenileme ve diğer yatırımlarında artması beklenmektedir. Türkiye'deki rayların ana hattakileri %20'si 30 yaşın üzerindedir ve bu yaklaşık 1800 km etmektedir. Yaş dağılımı aşağıdaki tabloda sunulmuştur [49].

Tablo.4.16. Mevcut rayların yaş dağılımı [49]

Yaş Grubu	Uzunluk (km)	ToplamınYüzdesi (%)
0-10	2,302	26.5
11-20	2,990	34.5
21-30	1,593	18.4
30 +	1,786	20.6
Toplam	8,671	100.0

Türkiye'deki hızlı yükselişini önümüzdeki dönemde yükselmeye devam edecek. Yerli mamül raya talep ağırlıklı olarak bu yenileme ve tamir cihetiyle olacaktır. Bu talep yaklaşık 50,000 ton/yıl şeklinde tahmin edilmektedir. Türkiye'nin ekonomik şartlarının stabilize olması ve bütçe açıklarının azalmasıyla birlikte demiryolu ray yatırımları ve yenileme çalışmaları artacağı beklenmektedir. Bununla beraber ilaveten yapılacak elektrifikasyon ve sinyalizasyon işleri TCDD'nin maliyetlerini düşürecek ve demiryolu kapasitesini arttıracaktır. Üstelik yerli mamül ray talebi yeni

yapılacak raylar içinde olacaktır. Bu durum yerli imalatçının TCDD'nin standartları ve uluslararası ray normlarında üretim yaptığında TCDD'ye iş yapan yabancı firmalarında yerli rayı kullanmaları beklenmektedir. Bununla birlikte yerli imalatçı rekabet edebilir ve dengeli fiyatlarla bu rayları sunmak durumdadır. Buna bağlı olarak 2007 raylar için iç talep 60,000 ton/yıl olarak tahmin edilmektedir. Yerli üretim raylar 36 m uzunluğunda olmalıdır. Şu anda Ukrayna ve Çek Cumhuriyetinden ithal edilen CİF raylar 500-550 USD/ton civarındadır ve bunlara vergiler, nakliye ve diğer giderler dahildir [27,49].

4.9.2. ABD Nucor Berkeley modern profil haddesi

En son yeniliklere sahip yeni profil haddehanesi, 750.000 ton/yıl üretim kapasitesi için dizayn edilmiştir. Haddelendirme programının muhtevası, son derece hafif (ultra light) özel treyler şasesi profilini de ihtiva edecek şekilde, 64 farklı şekil ve ebatan çoğunu içine alır. Ayrıca bu program, değişen pazar ihtiyaçlarını izleyebilecek ve pazar taleplerinden tamamen istifade edebilecek hedefe sahiptir (Ek 3).

Haddehane, 3 değişik başlangıç malzemesi kullanabilecek şekilde dizayn edilmiştir:

- 160 x160 mm Kare Kütük,
- 230 x160 mm Dikdörtgen Blum,
- 330x220x75 mm Profil Taslağı (Beam Blank)

Başlangıç malzemesi dikkate alındığı kadar, şu ana kavramlar göz önüne alınır. Bunlar:

- Haddelenecek her ürün için, uygun başlangıç malzemesinin seçimi. İhtiyaç duyulan haddede bir araya getirilecek tezgah sayısının 15 ile sınırlı olmasından, her ürün için en uygun blum veya profil taslağının (beam blank) tanımlanması.
- Blum ebat sayısının (sadece 3) sınırlı kaldığı sürekli döküm makinasında gösterilen hassasiyete göre, bütün makine operasyonlarını optimize etmekle bu mümkün olur. Optimum hadde dizaynı ve başlangıç malzemesi optimizasyonunun ideal olarak bir araya getirilmesiyle, ürün yelpazesinin tamamı, en iyi şartlar altında üretilebilir.

- Nihai ticari ürün uzunluğuna göre dizayn edilmiş blum uzunluğu optimizasyonu.

Her blum veya profil taslağının uzunluğu, nihai ürün ebadına bağlı olarak, sürekli döküm makinası çıkışında optimize edilir. Haddenin, sürekli tip (kontinü) şeklinde düzenlenmesiyle, aynı başlangıç blum veya profil taslağından, soğutma ızgarası üzerine (baş ve sondan kesilen hurdaya bağlı olan malzeme kaybı minimize edilerek) değişik uzunlukta ve çoklukta çubuklar alınabilir. Böylece, % 96 gibi yüksek bir malzeme verimine ulaşılabilir ve bu verim durumu muhafaza edilebilir.

Bu büyüklükteki tesis yerleşimi ve haddelene malzemedeki sıcaklık kaybını minimum seviyelerle sınırlamak için, hızlı kaba işlem yapmak (hazırlama-roughing) maksadıyla, kaba hadde (hazırlama) ve orta/finiş hadde arasındaki çubuk malzeme uzunluğu serbesttir. İlave olarak, böyle bir düzenleme şekli, hadde merdanelerinin optimum soğumasını ve daha uzun paso servis ömrünü netice verecek şekilde, kaba haddedeki kütükler arası zamanı artırır.

Kaba hadde grubu, H-V-H-H-V şeklinde düzenlenmiş 5 adet tezgahın birleşimidir. (H: Horizontal-Yatay tezgah) (V: Vertical-Dikey Tezgah).

Dikey tezgahlar haddelenecek blok parçanın kenarlarına ve yüzeyine şekil verme özelliğine sahiptir. Dolayısı ile, aynı hazırlama grubuyla değişik profil ebatları haddelenebilir. Haddenin paso sıralaması hadde boyunca simetrik bir sekili esas alır (sadece 2 profil ebadı için hariç) ve kararlı haddelene şartları sağlar. Bu yüzden, özel koruma (guard) ve karşı koruma (coumerguard) tipli çıkış yolluklarına ihtiyaç duyulmaz [50].

İlk orta/finiş tezgah, yatay tip 2 merdaneli (2h)'dir ve haddelene blok parçanın , web (sac) ve flanş arasındaki uzama oranını kontrol etme, dolayısı ile, nihai profil flanş yüksekliği ayarlanması fonksiyonuna sahiptir. Bu tezgahtaki oyuk şekli (paso groove) sayesinde, giriş yapan çubuk malzemenin reddedilme riski yoktur.

Bu tezgahın fonksiyonu, haddeye, belli bir genel kaba hadde (hazırlama haddesi) ayarı ile profil ebatlarını üretme imkanı sağlar. 11 ve 13 orta/finiş tezgahları, kenar işlemi yapan (edging) birimlerdir. Bunların fonksiyonu, nihai hale getirilmiş profilin boyut şekli üzerinde çok hassas toleranslarla, sac (et kalınlığı) ve flanş kontrolü

yapmaktır. 13'ncü tezgah, optimum nihai flanş kalitesini sağlayan bir ön bitirme (pre finishing) fonksiyonuna sahiptir.

7 orta/finiş üniversal tezgah, kaba hazırlama haddesinde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın, aynı profil boyutunun bütün değişik ebatlarını (ve ASTM standardına göre ağırlık/metre) üretme imkanını sağlayan yüksek bir hadde esnekliği sağlar.

Son derece hafif (ultra light) profil kesitlerinin tamamı, 300 mm genişliğe kadar (12") ve 2.3 mm'lik minimum bir kalınlıkla üretilir (76 mm'lik profil için).

Yüksek bitirme (finiş) hızı (8m/sn) son derece hafif profillerin haddelenmesini, daha kolay ve daha emniyetli yapar [50] (Ek. 3).

4.9.3. Yeni kurulan haddenin mevcut hadde ile karşılaştırılması

Mevcut haddenin 1940 yılında işletmeye alındığı anlatılmıştı (Bölüm 2). O günlerin şartlarına göre modern olan tesis zamanla verimliliğini yitirmiş olup malzeme kaybı, ebat değişiminin çok uzun sürmesi, fırınların gaz sarfiyatının ve bakım masraflarının yüksek olması, yeterli tav hızına yetişememesi ve haddenin merdane sarfiyatının yüksek olması gibi sebeplerden dolayı cazibesini yitirmiştir [48].

Eskimiş teknolojinin sebep olduğu arızalar ve ebat değişiminin uzunluğu başlı başına mevcut sistemi değiştirmek için bir sebep sayılabilir. En kısa ebat değişimi duruşunun 8 saat ve bazen 30 saati bulduğu dikkate alındığında ve merdane tonajlarının 700-750 ton olduğu göz önünde bulundurulduğunda haftada en az iki defa ebat değişimi duruşu gerekmekte ve bu da yılda mevcut çalışma süresinin % 49'nun duruşla geçmesi anlamına gelmektedir. Çok sık tekrar eden makine bakım ve elektrik bakım arızaları üzerine fırınların performanslarının düşüklüğü de eklendiğinde çok verimsiz bir ortamda çalışıldığı daha kolay anlaşılmaktadır. Oysa yeni haddede ortalama bir duruşun süresi 30 dakikayı geçmeyeceği belirtilmektedir.

Fırınlarda ise maksimum 3 metrelik blum kullanılırken yeni haddede 8 metrelik blumların kullanılması söz konusu olacaktır. Bu şu anlama gelir; Mevcut fırınlarda bir seferde 2 tonluk bir blum işlenirken yeni fırında 5.7 tonluk blumların

işlenebilmesi mümkün olacaktır. Bununla birlikte ton başına harcadığı enerji sarfiyatında çok ciddi düşüşler yaşanacaktır. Refrakter sarfiyatında önemli boyutta azalmalar olacaktır. Bunu bakım maliyetleri olarak düşündüğümüzde çok önemli kazanımlar olacağı aşikardır. Mevcut fırınlarda “Cürufa Durma” diye tabir edilen (haftada bir defa) duruşlar önemli zaman ve enerji kaybına sebebiyet vermektedir. Yeni fırınlarda 12 ay boyunca kesintisiz üretim yapılabilecek veya tespit edilen dönemlerde (2 hafta kadar) genel bir bakım yaparak üretime devam edilecektir. Yani mevcut fırınlarda yılda 70-80 bin ton malzeme alınabilirken yeni haddede kesintisiz 450 bin ton malzeme alınabilecektir.

Yeni fırının dışında tufal temizleyici bulunmakta olup bu şekilde nihai üründe daha düzgün yüzey kalitesi elde edilebilmektedir. Mevcut haddede fırınlarda oluşan tufal blok haddede temizlenmeye çalışılmaktadır. Fakat bu istenilen sonucu verememekte olup malzeme yüzey kalitesini bozduğu gibi merdane sarfiyatını da önemli ölçüde artırmaktadır. Mevcut fırınlarda tufal kaybı % 2 -5 arası iken yeni haddede % 1'in altında olacağı hesaplanmaktadır [48].

İki kaba hadde tamamıyla otomatik olup hata payları çok aza indirilecektir. Tandem grupta ise 4 taraftan haddeleme yapılabilecektir. Oysa mevcut haddede iki taraftan haddeleme yapılabilmektedir. Bu hem daha çok zaman almakta hem de ayar hassasiyetini çok zorlaştırmaktadır. Ayara harcanan zaman çok ciddi bir miktara tekabül etmektedir. Doğrultmadaki hassasiyet inanılmaz düzeyde artacaktır. Ürüne markalama yapılabilmekte olup test ünitesi denilen yerde ultrasonografik muayene yapılabilmektedir. Malzeme fırınlardan paketlemeye kadar rolelerden ayrılmadan ilerleyecek ve insan eli değmeden, duraklamadan akabilecektir [37].

Demiryolu taşımacılığının ulaşım sektöründeki payının artırılması ve yerli kaynak kullanımının önem kazandığı bugünlerde, ülkemiz demir-çelik mamullerinde tartışılmaz yere ve güvene sahip KARDEMİR A.Ş. kalitesiyle adından sıkça söz ettirmektedir. KARDEMİR A.Ş. yeni kurulacak ray ve profil haddesi ile uluslararası standartlarda ray ve profil üretiminde sektör geleceği açısından söz sahibi olmaya devam edecektir [48].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Gerekçe ve Amaç

Kardemir A.Ş. halen üretimine devam ettiği ve TCDD’ce talep edilen özellikle 49.43 kg/m cinsi raya ait kontrollü soğuma etkisinin rayın mekanik davranışlarına etkisini deneysel çalışmalarla ortaya koymak istemiştir. Bu nedenle, söz konusu bu etki bir dizi deneysel çalışma sonunda belgelenecektir.

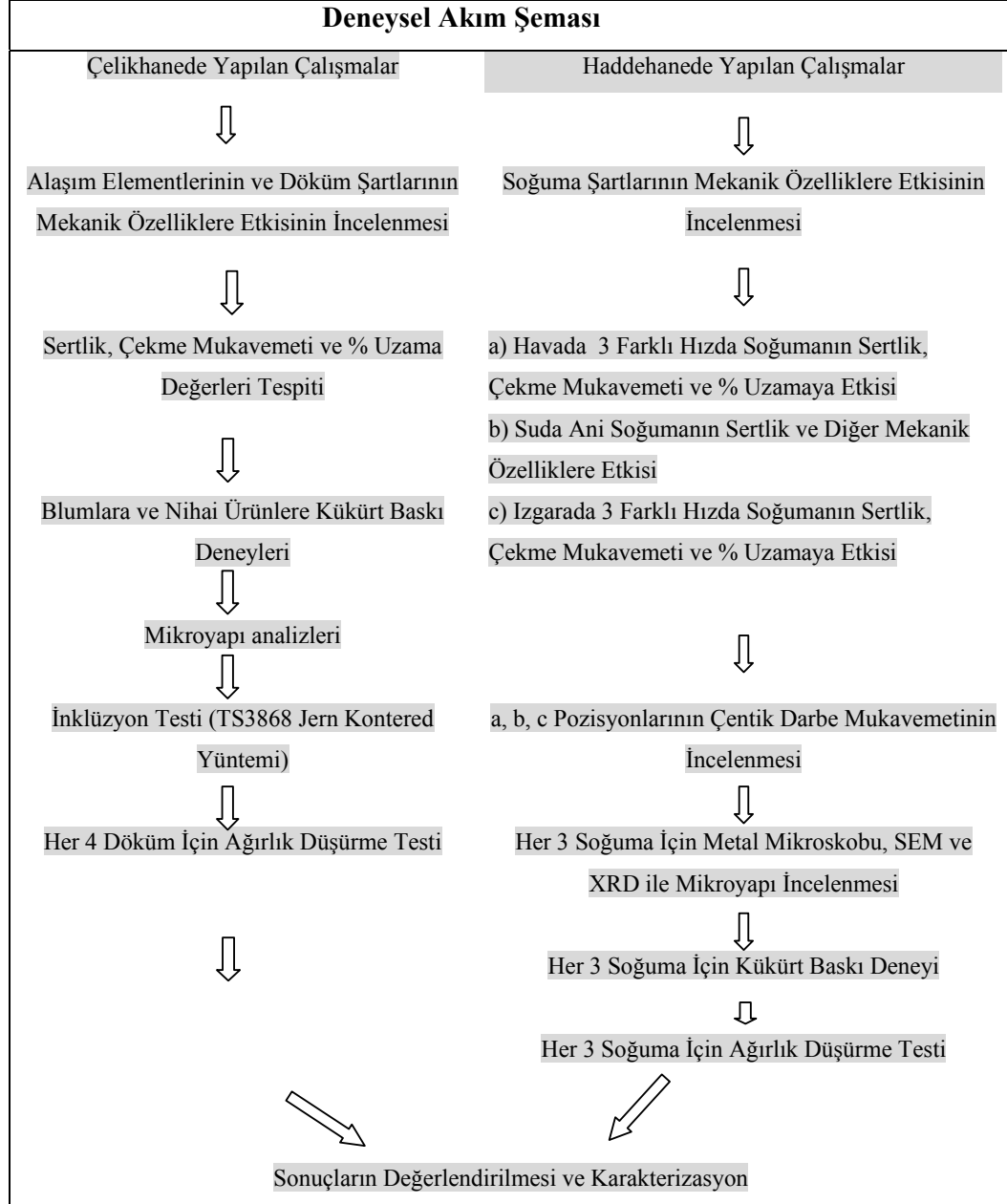
Üretimine 2002 yılında başlanan Demiryolu rayı Kardemir A.Ş için hayati önem arz etmektedir. Bu dönemde ray üretimi sırasında rayın doğrultma ünitesinde kırıldığı görülmüştür. Bu durum rayın hızlı soğumasından kaynaklanan martenzitik etki olarak yorumlanmış ve daha yavaş bir soğuma için bir dizi önlem alınmıştır.

Rayın tokluğu çelikhanede yapılan işlemlerle doğrudan ilgilidir. Yapısında bulunan segregasyonlar, inkluzyonlar, pinholler ve diğer yapısal hatalar rayın tokluğunu etkilemektedir. Bununla birlikte rayın yapısı sürekli dökümle beraber bir dizi iyileşmeler göstermektedir. Bunu incelemek üzere yapılan deneyde, desülfürizasyon ve vakum altında gaz giderme tesisinin kurulmasının gerekliliği açığa çıkmıştır.

Sürekli Blum makinesinde TS 2400 ADR-1B kalitesinde 46.3 kg/m’lik ray için 260x360x2900 mm ebadında üretilen blumlar ve bunlardan çekilen raylara ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.1’de verildi [51]. Çelikhanede yapılan deneylerde çelikhane soğuma ve döküm şartlarının mekanik özelliklere etkisi incelendi.

Kontrollü soğutma şartlarının elde edilmesi ve kısmi olarak hava sirkülasyonunun azaltılması amacıyla, ızgara çevresi ve ızgara zemini muhafaza altına alındı.. Izgara zeminindeki boşlukların ortadan kaldırılması için cam yünü izolasyon malzemesi

kullanılarak hava sirkülasyonunda azalma sağlandı. 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 çalışıldı.



Şekil 5.1. Deneyel akış şeması

5.2. Deney Malzemeleri

Deneyisel çalışmalar çelikhane ve haddehanede olmak üzere 2 ayrı bölümde yapıldı. Çelikhane 4 farklı bileşime sahip dökümlerden numuneler alınarak ortalamaları kaydedildi. Bu analizler Tablo 5.1’de verildi. Bu bileşim 46 kg/m²’lik raya aittir. TS 2400 ADR 1B standardına göre olması gereken değerler Tablo 5.2’te verildi.

Haddehanede yapılan deneylerde soğuma şartlarının değiştirilmesinin mekanik özelliklere etkisi ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Burada kullanılan ray çeliği ise 49.43 kg/m için kullanılan UIC 900 A kalitesidir [52].

Tablo 5.1. 46.3 ve 49.43 kg/m’lik deney numune rayların kimyasal analizi[15]

46.3 kg/m Çelikhane Dökümleri	KİMYASAL ANALİZ , (%)									
	C	Mn	Si	S	P	Cu	Al	N ppm	O ₂ ppm	H ₂ ppm
112169	0.433	1.29	0.156	0.035	0.017	0.032	0.0011	70	30	0.333**
112171	0.493	1.07	0.193	0.040	0.014	0.039	0.0011	73	22	0.280**
112173	0.497	1.02	0.190	0.044	0.015	0.043	0.0010	79	22	0.355**
112175	0.454	1.08	0.146	0.035	0.014	0.031	0.0016	55	-	0.317**
49.43 kg/m Haddehane D	0.657	1.29	0.290	0.039	0.013	0.083	0.000	66		

Tablo 5.2. Çeşitli standartlara ait kimyasal analizi değerleri (%) [51]

STANDARTLAR	C	Mn	Si	S	P	Cu	Al	N ppm	O ₂ ppm	H ₂ ppm
TS 2400 ADR-1B (46.3 kg/m)	0.40 -0.60	0.80 1.25	0.05 0.35	max 0.050	max 0.050					
TS 2400 ADR-2B	0.50 -0.70	0.95 1.25	0.10 0.35	max 0.050	max 0.050					
TS 2400 ADR-3B	0.60 -0.80	0.80 1.30	0.10 0.50	max 0.050	max 0.050					
UIC GR 900A (49.43 kg/m)	0.60- 0.80	0.80 1.30	0.10 0.50	max 0.040	max 0.040					max* 2.5 ppm

* sıvı çelikte, ** rayda

5.3. DeneYlerin Yapılışı

Çelikhane ray blum çeliğinin alaşımlandırılması ve döküm yöntemlerinin rayın aşınma, kırılma tokluğu ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediğinin araştırma için bir dizi deney yapıldı. Farklı kimyasal bileşimlere sahip 4 ayrı dökümden deney numuneleri alındı. Bu dökümlere ait blumlar sürekli döküm makinesinden çıktuktan ve uygun boylara kesildikten sonra 8. hol diye tabir edilen çelikhane holünde yaklaşık 24 saat soğumaya bırakıldı. İdeal soğuma şartlarını sağladıktan sonra rayda, hidrojenin daha hızlı uzaklaşması ile birlikte perlitik yapı ve ideal mekanik özellik değerlerine ulaşma hedeflendi. Çelikhanedeki 4 ayrı numune için sertlik testi, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri tespiti, blumlara ve raya kükürt baskı deneyi, metal mikroskopu ile mikroyapı analizi ve inklüzyon testi ile sadme testi yapıldı. Bu deneyler sonunda rayın tokluğunun ray yapısındaki segregasyon, inklüzyonlar ve pinhollerden nasıl etkilendiği ifade edilmeye çalışıldı.

Haddehanede yapılan deneylerde ise soğuma şartlarının mekanik özelliklere etkisini anlamak için inklüzyon testi hariç diğer bahsedilen testler yapıldı. Ayrıca mikroyapı görüntülerini daha hassas ve ayrıntılı alabilmek için ERDEMİR'den optik mikroskop, SEM ve XRD yöntemlerine başvuruldu. Haddehanede deney numuneleri üç farklı ortamda soğutularak mekanik özellikleri incelendi.

a) Havada Soğutma: UIC GR 900 A kalitesindeki 49.43 kg/m cinsindeki numuneler üç ayrı soğuma hızlarında soğutuldu. Tav fırınlarından 1200 °C civarında gelen blumlar yaklaşık 4 dakikalık bir sürede haddelenir ve testereye ulaştırılır. Bu deneyde hadde çıkışı sıcaklığı testerede 850 °C ve ortam sıcaklığı da 25 °C alındı. Alınan deney numunelerine değişik basınçlarda hava püskürtüldü.

b) Suda Soğutma: Testerede 850 °C'de alınan malzeme ani olarak 20-25 °C sıcaklığındaki suya daldırılmak suretiyle hızlı soğuma sağlandı. Numunenin tamamen soğuması yaklaşık 5-7 dakika içinde gerçekleşti. Bu da 118 °C/dakika hızında bir soğuma hızına tekabül etmektedir. Malzemenin yapısı bu hızda bir soğumaya uygun olmadığından, malzeme üzerinde özellikle ayak bölgelerinde

çatlama oldu. Malzeme oda koşullarında bekletilirken yer yer çatlama seslerinin duyulduğu belirlendi.

c) Izgaralar üzerinde soğutma : Deney numuneleri soğutma normal raylarla beraber soğutuldu. Bu ortamın etrafı çevrili, hava türbülansından uzak ve bir rayın mantarı diğer rayın ayağına temas edecek şekilde bir soğutma gerçekleşti. Bu şartlarda malzemenin soğuma hızı 80°C/saat olduğu tespit edildi. Bu soğuma şartları Kardemir'deki ideal soğuma şartları olarak bilinmektedir. Ray üretimi başlayınca ızgara etrafı metal plakalarla çevrilerek hava akışı engellenir. Bu amaçla holün bütün kapıları kapalı tutulmaya çalışılır. Personel ortam şartlarına kadar soğuyan rayı doğrultmak üzere sevk eder. Yavaş soğuyan rayların soğurken daha az eğrildikleri ve daha az doğrultma işlemine ihtiyaç duyulduğu tespit edildi. Bu aynı zamanda doğrultma ünitesinde daha az deformasyon ve aynı zamanda daha az kırılma riski anlamına gelmektedir.

Haddehanede yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki yol izlendi:

1. Her ortam için 3 adet ray numunesi alındı.

Bu numuneler ;

- a) havada,
- b) suda ve
- c) ızgarada soğutuldu.

2. Ray kesiti üzerinde 10 noktadan sertlik değerleri ölçüldü.

3. Mantar bölgesinden numune alınarak mikroyapısı incelendi.

4. Suda hızlı soğuma etkisiyle martenzitik, havada kısmen beynitik, ızgarada ise kontrollü yavaş soğuma etkisiyle perlitik faz incelendi.

5. Mekanik testler olarak çekme ve kopma mukavemeti değerleri ölçüldü.

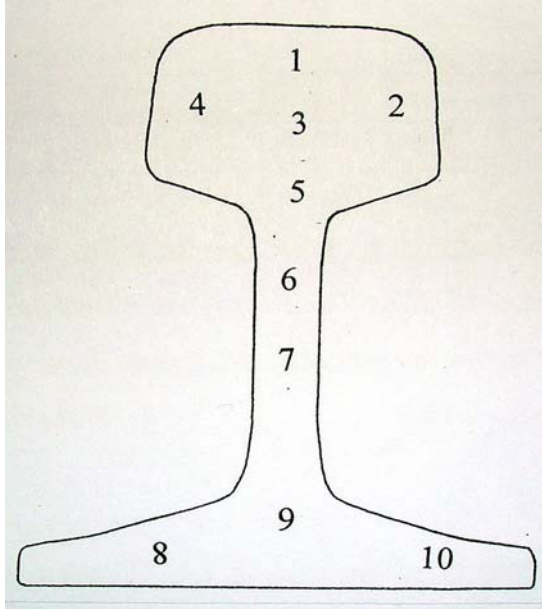
6. Düşürme (Sadme testi) TS 2400'e uygun olarak 1300 mm uzunluğundaki ray numuneleri üzerine 6.95 m yükseklikten 1 ton ağırlık düşürülerek yapılan sadme testi sonucunda bir çatlak veya kırılma olmamalıdır.

7. Ray numunelerinin SEM ve XRD analizleri yapılarak mikroyapı ve faz oranları incelendi. XRD analizleri Erdemirde yapıldı. En son sistem bilgisayar yazılım ve donanımlarının kullanılarak elde edilen bu datalarda direkt olarak perlit, beynit ve

martenzit fazlarının miktarını görmek mümkün olmadı. % 1'lerden daha az olan bu faz yüzdeleri için diyagramı iyice incelemek ve farkları görmeye çalışmak daha akılcı bir yaklaşım olacaktır.

5.3.1. Sertlik Deneyi

Ray üzerinde 10 farklı noktaya yapılan sertlik ölçümü sonunda Brinell (BHN) cinsinden sertlik değerleri elde edildi. FRANK marka 1990 model olan sertlik ölçüm cihazında bilya çapı 10 mm'dir. Şekil 5.2'de sertlik noktaları gösterilmektedir.



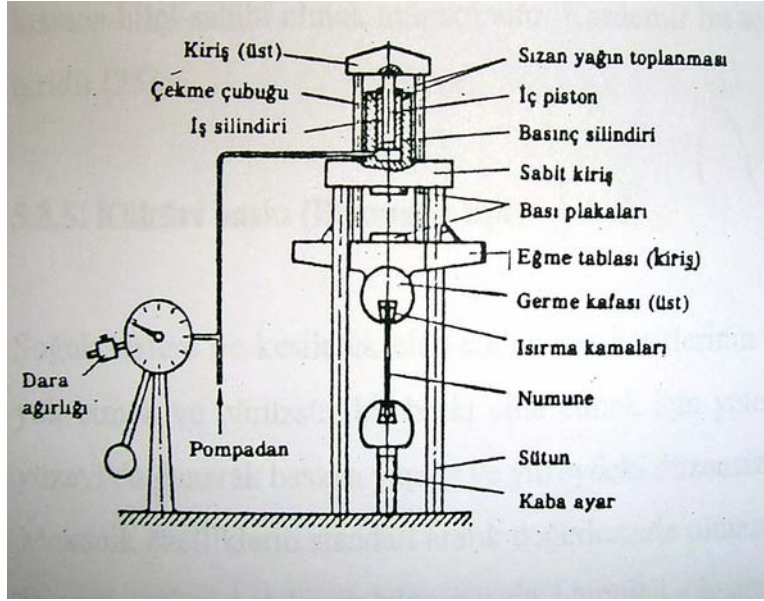
Şekil 5.2. Ray kesiti üzerinde sertlik ölçüm noktaları [15]

Sertlik ölçümleri en az 30 mm aralıklı olabilir. Sertlik 49.43 kg/m raylar için min. 245 BHN, 46.3 kg/m raylar için 200 BHN olmalıdır.

5.3.2. Çekme Deneyi

Çelikhanedeki ve haddehanedeki deney numuneleri standart klasik çekme deneyi için numune hazırlama işlemine tabi tutuldular. AMSLER marka 1977 model olan çekme cihazının kapasitesi 40 ton'dur. (Şekil 5.3) . Tablo 4.14'de gösterildiği gibi mantar yüzeyinin 5 mm altından 10 mm çapında çekme deney numuneleri hazırlandı.

Çekme mukavemeti : TS 2400 ADR 1B için min. 680 N/mm² % uzama 12, UIC 900 A için min 880 N/mm², % uzama: ≥ 10 ve üzeri olmalıdır.



Şekil 5.3. Üniversal çekme deneyi makinesi [14]

5.3.3. İnküzyon Testi

İnküzyon testinde (TS3868 Jern Kontered Yöntemi) metal dışı inklüzyonlar tespit edilir. Normal şartlar altında rutin üretimlerde yapılan bir test değildir. Ray numunesinin mekanik özelliklerinin sorgulandığı ve bu kalıntıların rayın aşınma ve kırılma direncine etkisinin istendiği bir süreçte çelikhane şartlarında bu testin yapılması zorunludur. Bu testte numunenin 100 büyütme fotoğrafı (J.K. filmi) çekilir. Bu fotoğrafta görülen kalıntılar ilgili diyagramdan kontrol edilerek bu kalıntının oksit, sülfür yada alüminyum oksit inklüzyonlarından hangisine uygun olduğu ve ortalama indeksine bakılarak rayın özelliklerini etkileme derecesi tespit edilir.

5.3.4. Ağırlık düşürme (sadme) testi

10 °C ortam sıcaklığı üzerinde 1000 mm. mesafeli mesnetler üzerine konan 1300 mm'lik ray parçasının üzerine 7,41 m. yükseklikten 1000 kg'lık ağırlığın

düşürülmesi suretiyle yapılan testtir. Bu test neticesinde deney parçalarının belirtilen deneye herhangi bir kırılma ve çatlama olmadan dayanması gerekmektedir. Ayrıca deney parçasında oluşan sehim miktarları kaydedilecektir. Bu düşürülen ağırlığın ray üzerinde bıraktığı eğriliğin yapısı ve biçiminden rayın mekanik özellikleri hakkında kısmen bilgi sahibi olmak mümkündür. Kardemir bu testin yapıldığı ender yerlerden biridir [51].

5.3.5. Kükürt baskı testi(Baumann tipi)

Soğuk testere ile kesilerek elde edilen ray kesitlerinin bir yüzü tüm makine izlerini yok etmek ve pürüzsüz bir baskı elde etmek için yeterince zımparalanır. Malzeme yüzeyi dağlanarak baskısı yapılır ve yüzeydeki düzensizlikler kontrol edilecektir.

Mekanik özelliklerin standart aralık değerlerinde olması kadar blum ve ray kesitinde iç yapı makro hatalar dağılımının da homojen olması gerekmektedir. Bu amaçla, kükürt baskı deneyi yapılmakta ve yapısal makro hatalar dağılımı tespit edilmektedir. Düzensizlik dağılımı homojen olmadığında o bölgede kırılma eğilimine neden olmakta, mekanik özellikleri negatif yönde etkilemekte, yüzey kalitesini bozmakta ve blumun tavlama sırasında yanmasını kolaylaştırmaktadır.

5.3.6.Mikroyapı analizleri

Bu kontroller için Kardemir’de REICHERT MeF₂ (100-1000 büyütme) metal mikroskobu, ERDEMİR’de ise günümüzün en modern görüntüleme cihazları kullanıldı. SEM ve XRD kullanılarak iç yapının perlitik olup olmadığı veya hangi fazların ne oranda bulunduğu ve mikroyapı içindeki yapısal hatlar ve muhtemel etkileri saptanmaya çalışıldı. SEM analizlerinde 100, 500, 1000 ve 2000 gibi muhtelif büyütme oranlarında perlit, ferrit ayrımını rahatlıkla görmek mümkün olmaktadır. Metalografik uygulamalarda dağlayıcı olarak %3 nital kullanıldı [52].

5.3.7 Çentik Darbe Deneyi

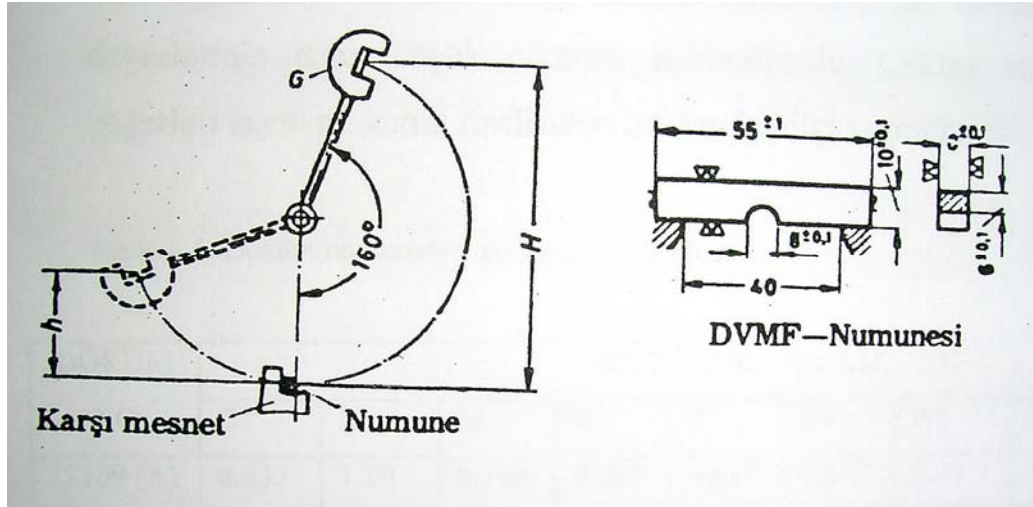
Haddehanede yapılan deneylerde ray numunesinden mantar, ayak ve sac olmak üzere üç bölgesinden DVMF (Alman malzeme araştırmacıları birliğinin keskin çentikli

olmayan numunesi) tipi deney numuneleri seçildi. Bu test için SCHENK TRABEL marka 1990 model bir cihaz kullanıldı. Her 3 noktadan 5'er numunenin ortalama değerleri alındı. Elde edilen sonuçlardan haddehanede soğuma şartlarının ray tokluğuna etkisi incelendi. Deney düzeneğinde bir pandül "H" yüksekliğine kaldırılarak bırakılır. Pandülün hızı 5-6 m/s olabilir. Pandül numuneyi kırarken enerjisinin bir bölümünü bıraktığı için artık "h" yüksekliğine çıkabilir. Numunenin kırılması sırasında sarf edilen darbe enerjisi şu denklemlerle bulunabilir [51,52].

$$W = GH - Gh = G(H-h) \quad (5.1)$$

Çarpma nedeniyle sarf edilen enerji, kaide olarak alet üzerinde bulunan, sürüklenen bir gösterge yardımı ile doğrudan doğruya okunabilir. Darbe sırasında sarf edilen işin numune kırılmadan önceki çentik dibinde kalan numune kesit alanına oranı "Çentik Darbe Mukavemeti" a_k 'yü J/cm^2 cinsinden verir.

$$a_k = \frac{\text{Darbe sırasında sarfedilen iş}}{\text{Çentik dibindeki numunenin kesit alanı}} \quad (5.2)$$



Şekil 5.4 Çentik darbeleri eğme deneyi ve DVMF numunesi [14]

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1. Çelikhane Numunelerinin Karakterizasyonu

Çelikhane yapılan deneylerde ray çeliği içinde bulunan içyapı hatalarının malzeme yapısını bozacak ve standartlar dışında kalacak düzeyde olmadığı, fakat yeni yatırımlar ve çalışmalarla çelik kalitesinin artırılması gerektiği anlaşıldı. Tablo 6.1’de çelikhane elde edilen dökümlere ait kimyasal analizler verilmektedir.

6.1.1. Sertlik değerleri ölçümü

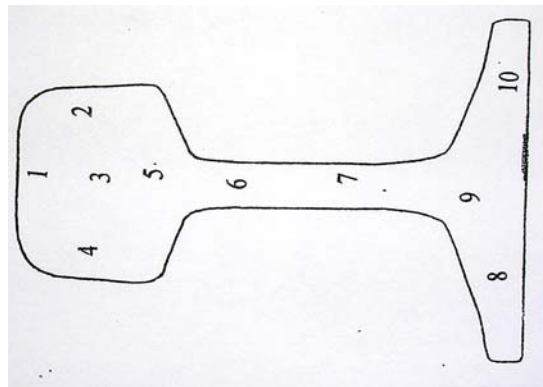
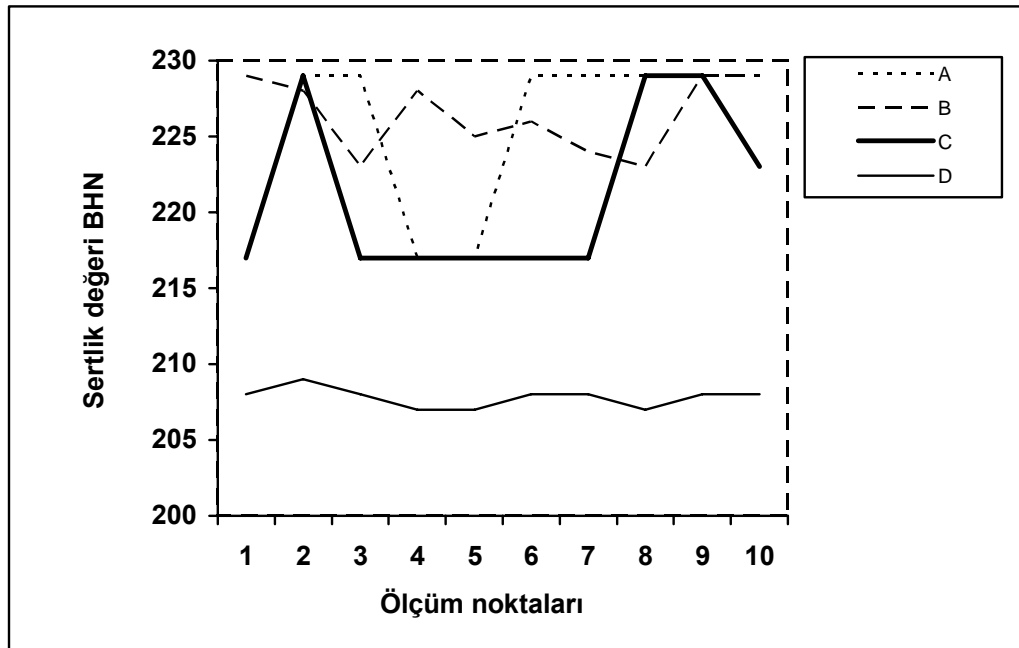
Ray numunelerinin homojen olarak ray yüzeyine yayılmış 10 ayrı yerinden sertlik değerleri alındı (Tablo 6.2). Bu 10 noktanın ilk 5 tanesi mantarda 6 ve 7. ölçüm yeri sacda, 8, 9 ve 10 numaralı ölçüm yeri ise ayakta bulunmaktadır. Sertlik değerleri rayın aşınma mukavemeti hakkında bilgi vermektedir. A, B, C, D döküm numuneleri 46.3 kg/m ray cinsinde olup karbon oranı nispeten düşük olduğundan, sertlik değerlerinin daha düşük çıkması bekleniyordu. Çekme mukavemeti ve uzama değerleri rayın mekanik özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

Tablo 6.1. Döküm numuneleri ve kimyasal analizleri

DÖKÜM NO	KİMYASAL ANALİZ (%)							(ppm)		
	C	Mn	Si	S	P	Cu	Al	N ₂	O ₂	H ₂
12169 (A)	0.433	1.29	0.156	0.035	0.017	0.032	0.0011	70	30	0.333
12171 (B)	0.493	1.07	0.193	0.040	0.014	0.039	0.0011	73	22	0.280
12173 (C)	0.497	1.02	0.190	0.044	0.015	0.043	0.0010	79	22	0.355
12175 (D)	0.454	1.08	0.146	0.035	0.014	0.031	0.0016	55	-	0.317

Tablo.6.2. Döküm numunelerinin sertlik değerleri (BHN)

Ölçüm noktası	Döküm A	Döküm B	Döküm C	Döküm D
1	217	229	217	208
2	229	228	229	209
3	229	223	217	208
4	217	228	217	207
5	217	225	217	207
6	229	226	217	208
7	229	224	217	208
8	229	223	229	207
9	229	229	229	208
10	229	229	223	208



Şekil 6.1. Döküm numunelerinin sertlik değerleri dağılımı

Sertlik ölçümleri sonucu en sert numune olan B kodlu numunenin en az sertliğe sahip olan D kodlu numuneye göre toplamda % 9.0 oranında daha sert olduğu görüldü. Bu sertlik artışının Tablo 6.1’de verilen C değerlerindeki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. A döküm numunesinin C oranı en düşük değer olmasına rağmen (% 0.433 C) Mn değerinin en yüksek değerde (% 1.29 Mn) olması sertlik değerlerinin diğerlerinden daha düşük olmasını engellemiştir. Ayrıca, sertlik değerleri mantarda ve ayakta daha yüksek çıkmaktadır. Buna sebep olarak ayak ve mantarda daha yüksek oranda ezme verilmesi gösterilebilir. Bununla beraber mantarın ayak ve saca göre daha geç soğuduğu bilinmektedir. Bu durumun kısmen daha az bir sertlik dağılımı vermesi beklenmelidir. Genel olarak sürekli döküm makinesinde üretilen TS 2400 ADR 1B normundaki bu rayların sertlik değeri alt sınır 200 BHN değerinin altına düşmemiştir.

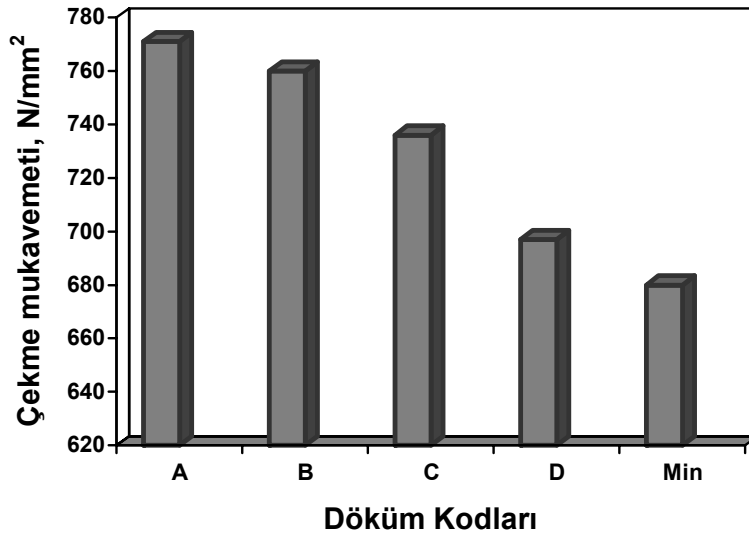
6.1.2 Çelikhane numunelerinin çekme mukavemetleri ve uzama değerleri

Döküm numunelerinin çekme mukavemet ve uzamaları Tablo 6.3’de gösterilmiştir. D kodlu döküm numarasına sahip deney numunesinin çekme mukavemeti 697 N/mm^2 , A kodlu döküm numaralı numuneye göre % 10 daha az, % 12 daha çok kopma uzamasına sahiptir. Bu farkın daha çok % Mn içerikleri arasındaki farktan geldiği düşünülmektedir. Daha düşük C ve yüksek Mn içeriğinin kompozisyonu genel bir değerlendirme yapmayı zorlaştırmaktadır. Fakat en yüksek % C içeriğine sahip C döküm numaralı numunenin kopma uzaması % 18 ile en yüksek olup çekme mukavemeti ise en az değere sahiptir. A döküm kodlu numune ise yüksek % Mn değeri yüzünden 771 N/mm^2 ile en yüksek çekme mukavemeti değerini vermiştir. C döküm kodlu numunenin %12’lik kopma uzamasının en düşük değeri almasının sebebi ise en yüksek % C değerine sahip olması şeklinde düşünülmektedir (Tablo 6.1). Şekil 6.2’de bu farkları ayrıntılı görmek mümkündür.

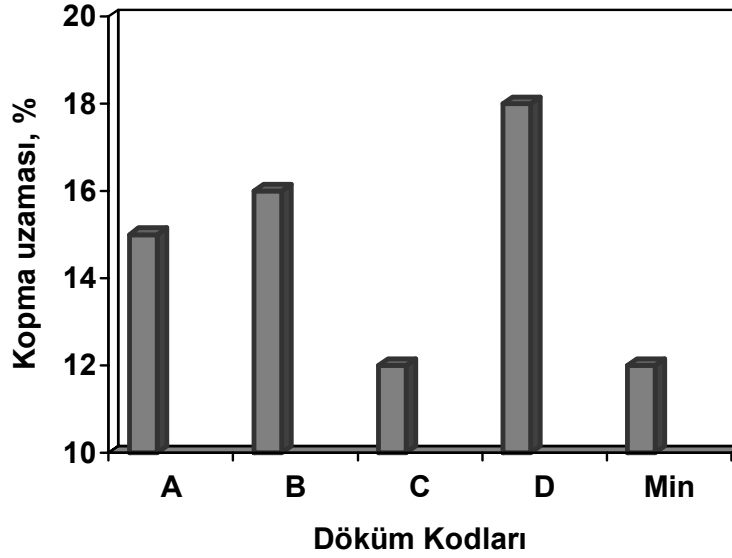
Ray numunelerinin inklüzyon veya mikroyapıdaki olması muhtemel pinhollerden dolayı TS 2400 ADR 1B standardında istenilen çekme mukavemetleri ve uzama değerlerinden sapmadığı görülmüştür .

Tablo 6.3. Döküm numunelerinin çekme mukavemeti ve kopma uzaması

DÖKÜM KODU	Çekme Mukavemeti. (N/mm ²)	Kopma Uzaması (%)
A	771	15
B	760	16
C	736	12
D	697	18
TS 2400 ADR 1B	min. 680	min. 12



a)



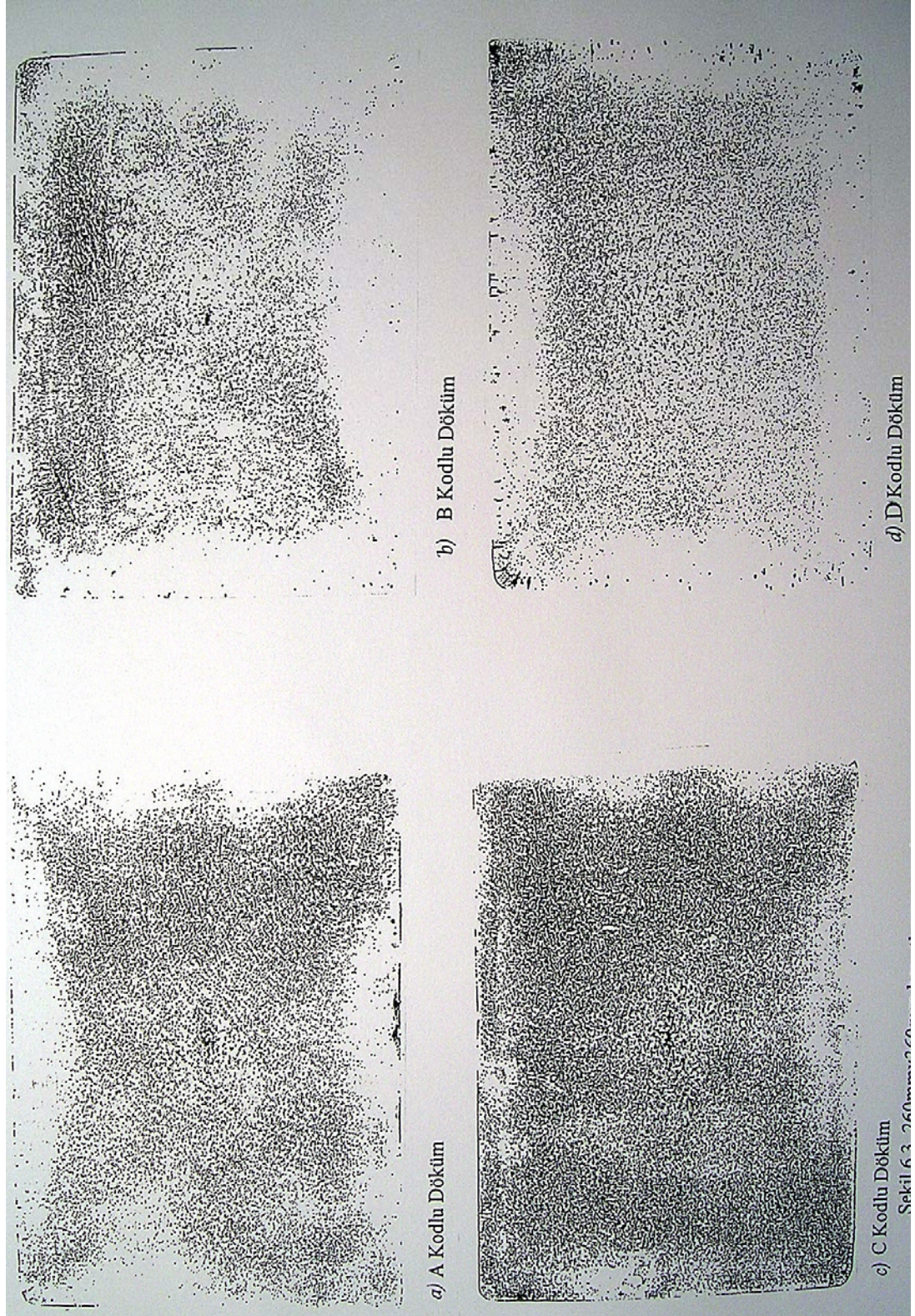
b)

Şekil 6.2 Döküm numunelerinin a) çekme mukavemeti ve b) kopma uzaması

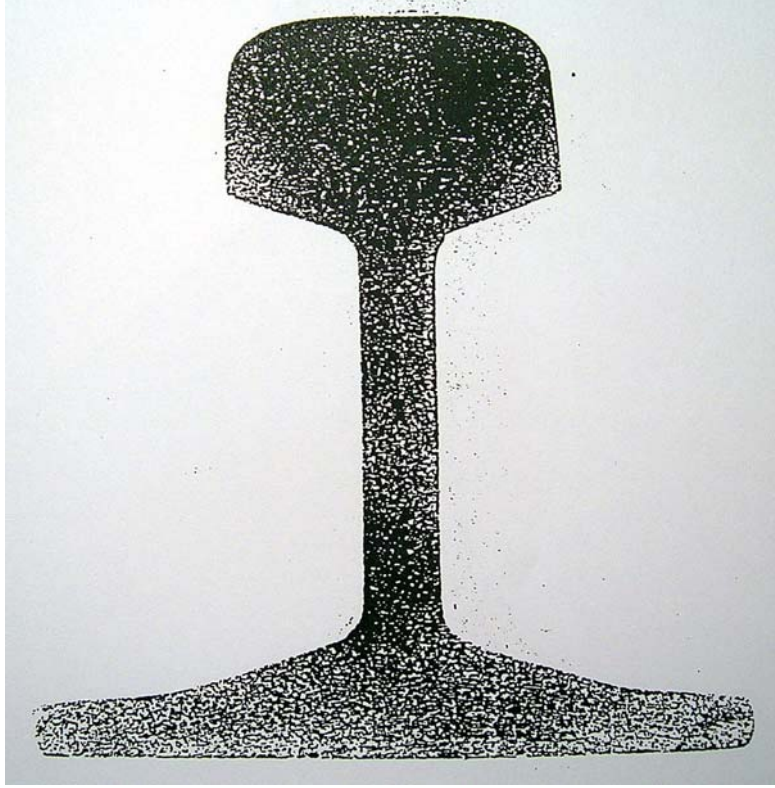
6.1.3. Kükürt baskı deney sonuçları

Bu test ile birlikte blum veya ray numunesinin içinde olması muhtemel pinholler, inklüzyonlar ve segregasyonlar çok açık bir şekilde görülebilmektedir. Düzensizlik dağılımı homojen olmadığında o bölgede kırılabilirliğe neden olmakta, mekanik özellikleri negatif yönde etkilemekte, yüzey kalitesini bozmakta ve blumun tavlama sırasında yanmasını kolaylaştırmaktadır [52].

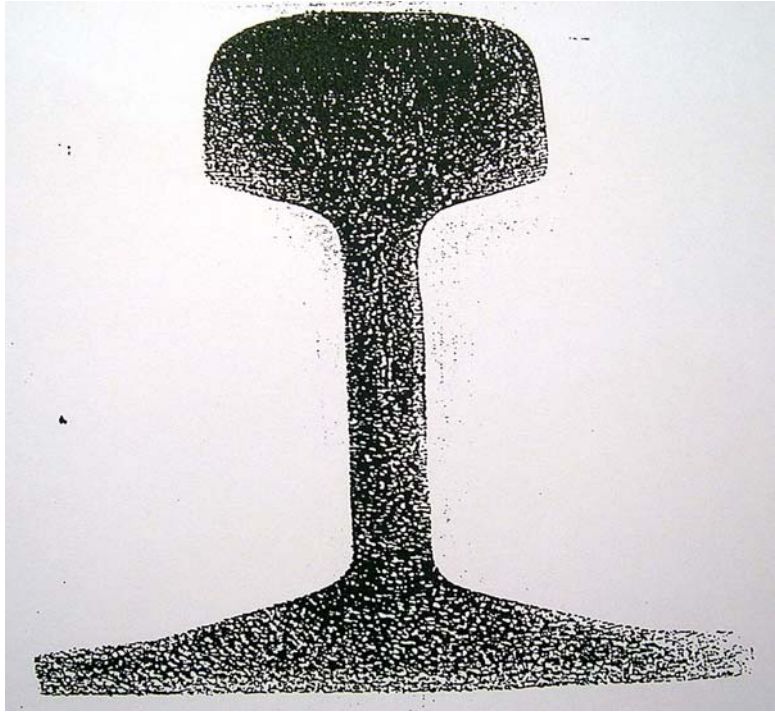
(Şekil 6.3) 260mmx360mm ebatındaki diğer döküm numunelerinin kükürt baskı ve makro incelemesi sonunda blum içinde kükürdün homojen olarak dağılmış olduğu görüldü. Makro inklüzyonların blum içinde dağıldığı segregasyonların merkezde yoğunlaştığı ve son numune olan D kodlu döküm blumda yüzey altında çok miktarda pinhol olduğu tespit edildi. Bütün bunlar sürekli dökümün ingot döküme göre daha iyi bir iç dağılım sağladığını göstermektedir.



Şekil 6.3. 260mmx360mm boyutlu numunelerinin kükürt baskı ve makro incelemesi (x0.25)

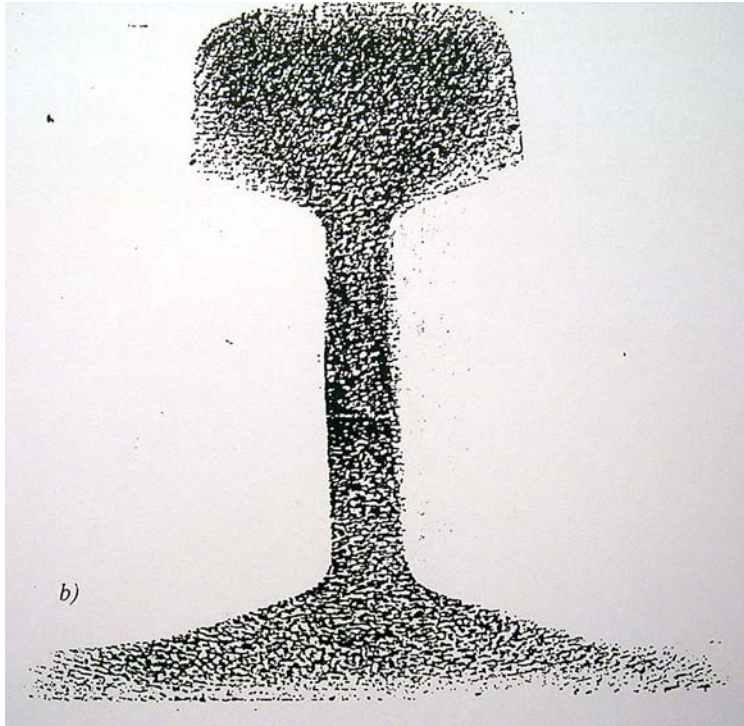
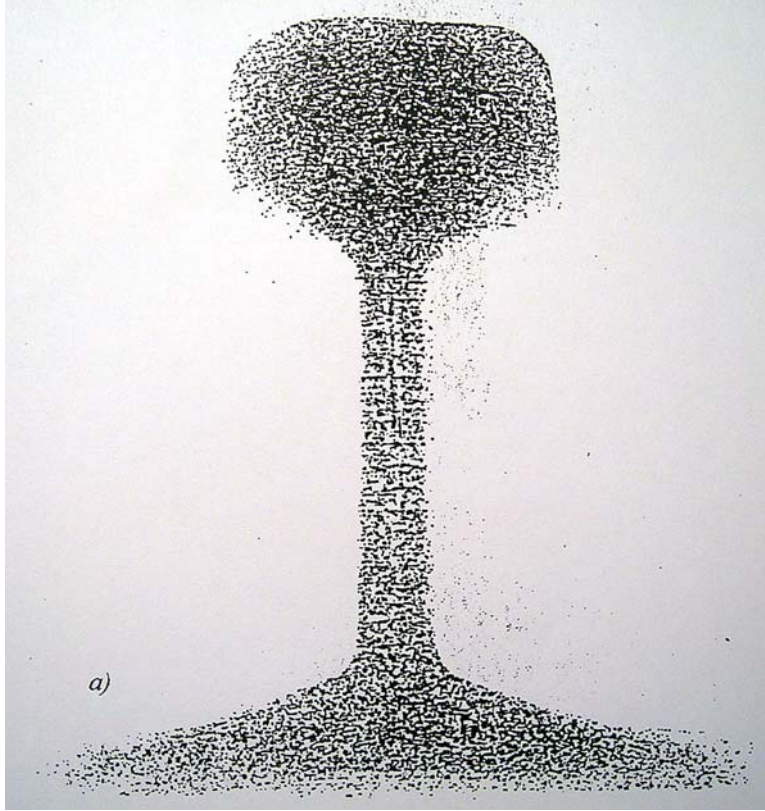


a)



b)

Şekil 6.4. a) A Kodlu ve b) B Kodlu dökümden çekilen raylarda kükürt baskı ve makro inceleme (x0.70).

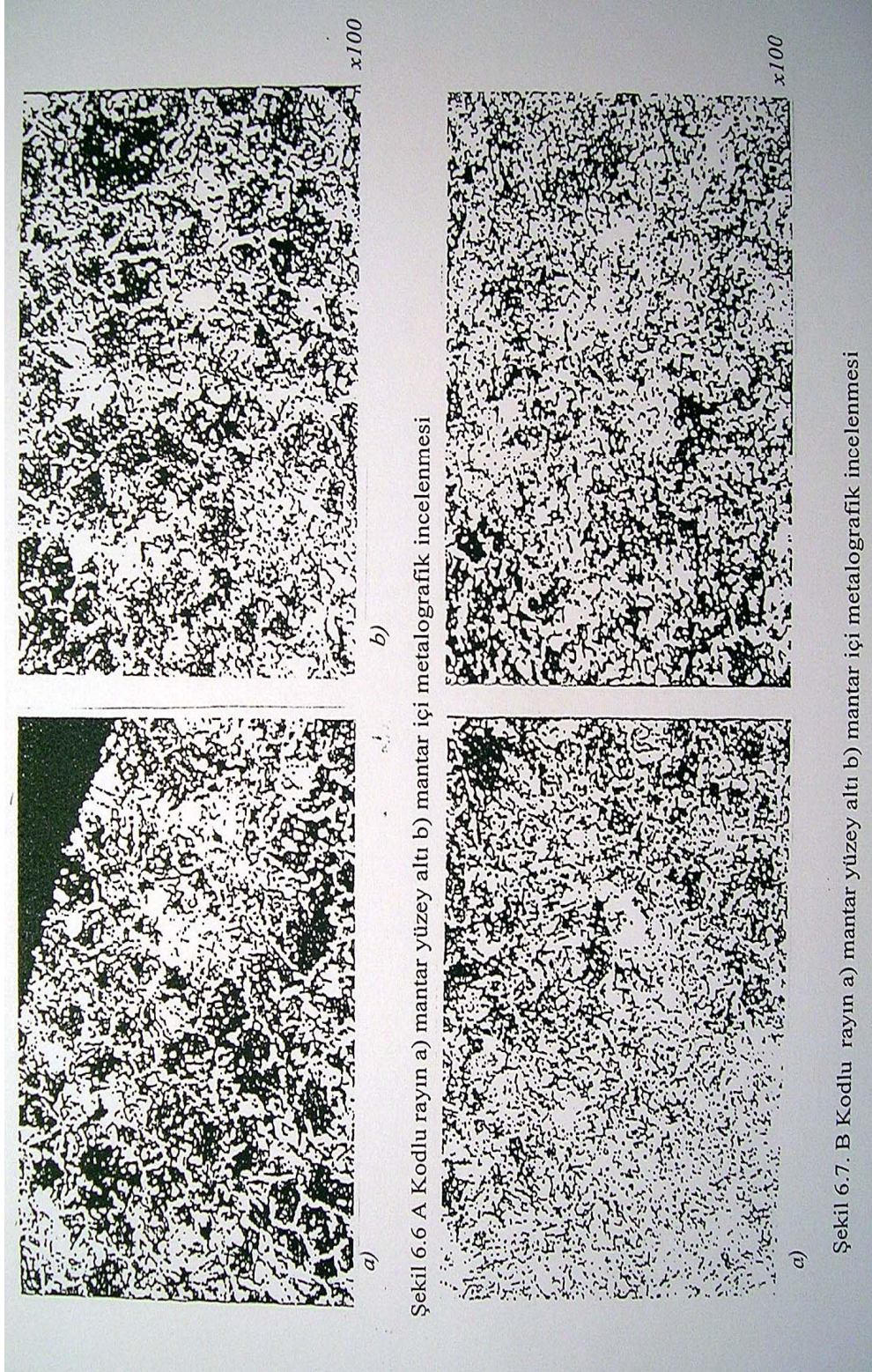


Şekil 6.5. a) C Kodlu ve b) D Kodlu dökümden çekilen raylarda kükürt baskı ve makro inceleme (x0.70)

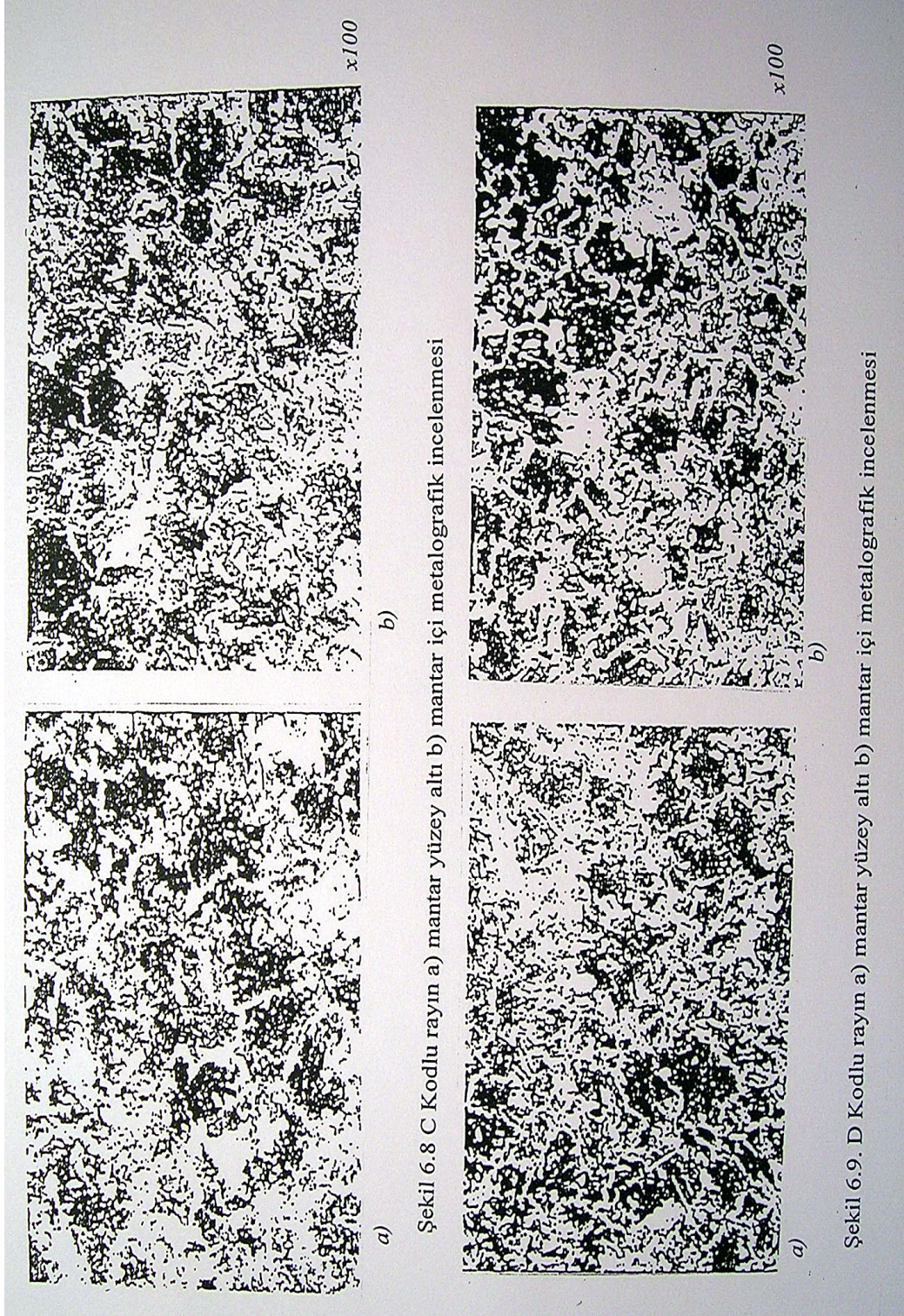
Bu düzenli içyapının haddeleme sırasında düzenli bir şekilde dağıtılarak rayın mekanik özelliklerini çok az olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Aynı şekilde ray numunesine yapılan kükürt baskı deneylerinde kükürt dağılımının homojen olduğu görüldü. (Şekil 6.4 ve 6.5) Kükürt dağılımının düzenli olmaması ve bir veya birkaç noktada yoğunlaşması o noktalarda kırılma eğilimine karşı zayıf noktalar oluşturacağından tehlike arz etmektedir. Deney sonunda elde edilen karton plaka üzerinde hafif bir tonda homojen dağılmış sarı nokta kümelerini görmek mümkün olmuştur. Daha önce İngotları çeken raylarda kükürt düzensiz dağılımına çok sık rastlanmaktaydı. Bu, İngotları katılaştırmanın verdiği bir dizi hata sonunda olmaktadır ve Kardemir A.Ş. sürekli döküme geçtiği 2000 yılı başlarında bu katılma kusurlarından kurtuldu. Fakat bu kusurlara yönelik şartnamelerin istediği testlere devam edildi.

6.1.4. Mikroyapı analizleri

Çelikhaneden alınan ve yukarıda bahsi geçen 4 numunenin metalografik incelemesi yapıldı. Bu görüntüler ilgili şablon resimlerle karşılaştırıldığında homojen dağılmış perlitik yapı görülmektedir (Şekil 6.7). Bu incelemelerden B döküm kodlu numunenin Şekil 6.6, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'daki diğer numunelere göre daha ince ve daha düzenli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bu ince yapı daha yüksek C oranının sebep olduğu sementit ve buna bağlı perlit yoğunluğu nedeniyle oluşmuş olabilir. Özellikle mantar içi bölgelerin homojenliği diğer numunelerden kolayca ayırt edilebilmektedir. Ray yapısındaki bu dağılım, ideal perlit dağılımını gösterememektedir. Çelikhanede sürekli döküm makinesinde elde edilen blumların üst üste dizilmiş olarak ayrı bir holde 24 saat kadar bekletilmesi hem hidrojen gidermeye yardımcı olacak hem de perlitik yapının daha düzgün oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla beraber çeliğin tandiştin dökümü sırasında yarı kapalı döküm şeklinde adlandırılan bir yöntemle sıvı çelik üzerine çeltik kabuğu dökülüp üzerinde yanması sağlanarak kısmen de olsa hava ortamından izole edilmektedir. Böylece hava ile daha az temas sağlanarak O_2 ve H_2 miktarının istenilen seviyelerle inmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 6.7. A ve B Kodlu rayın a) mantar yüzey altı, b) mantar içi metalografik incelenmesi



Şekil 6.9.C ve D ve Kodlu rayın a) mantar yüzey altı b) mantar içi metalografik incelenmesi

6.1.5. İnküzyon ve ağırlık düşürme (sadme) testi

İnküzyon testinde (TS3868 Jern Kontered Yöntemi) metal dışı inküzyonlar tespit edildi. Bu testte numunenin 100 büyütme fotoğrafı (J.K. filmi) çekilir. Bu fotoğrafta görülen kalıntılar ilgili diyagramdan kontrol edilerek bu kalıntının oksit, sülfür yada alüminyum oksit inküzyonlarından hangisine uygun olduğu ve ortalama indeksine bakılarak rayın özelliklerini etkileme derecesi tespit edildi [28].

Tablo 6.4'den elde edilen veriler ışığında ve ilgili diyagramlardan elde edilen indisler yardımıyla varılan sonuçlarda, blum bünyesindeki inküzyonların boyutsal ve nitelik olarak tehlike arzedecek düzeylerde olmadığı bulundu. Her ne kadar sülfür inküzyonları kırılmalara karşı hassas bölgeler oluştursa da, vakum altında gaz giderme ve desülfürizasyon olmadan bu indeksler normal sayılabilir.

Tablo 6.4. Döküm numunelerinde sülfür ve küresel oksit incelemesi

DÖKÜM KODU	BULGULAR
A	Ortalama indeks = 2.35 (Sülfür = 1.65 , Küresel Oksit = 0.70)
B	Ortalama indeks = 1.95 (Sülfür = 1.35 , Küresel Oksit = 0.60)
C	Ortalama indeks = 2.05 (Sülfür = 1.41 , Küresel Oksit = 0.64)
D	Ortalama indeks = 2.12 (Sülfür = 1.59 , Küresel Oksit = 0.53)

Çelikhaneden alınan numunelerde yapılan sadme testinde herhangi bir çatlağa ve kırılmaya rastlanmamıştır. Yapı içinde bulunan inküzyonlar çeliğin kırılmaya direncini zayıflatacak boyutta değildir. Her ne kadar alüminyum oksit ve diğer inküzyonlardan kurtulmaya yönelik çelikhane şartlarında çalışmalar yapılmış olmasına rağmen Tablo 6.4'de görülen ortalama indisler ray malzemesinin kırılma direncini azaltıcı yönde artmaktadır [28].

6.1.6. Çelikhane numunelerinin değerlendirilmesi

- Her 4 döküme ait 260mmx360mm boyutlu blumlerin makro yapılarında metal dışı inklüzyonlar mevcuttur. Bu dökümlerden üretilen ray numunelerinden TS3868'e göre yapılan inklüzyon testlerinde, (TS3868 Jern Kontered Yöntemi) ortalama indeks olarak 1.95-2.35 arasında inklüzyon bulunmuştur (Tablo 6.4). Bulunan metalik olmayan inklüzyonların çoğunluğu sülfür ve az miktarda küresel oksittir. Ray kalitesinde ortalama indeks değerinin 1.00 altına indirilmesi gerekir. Sülfür kalıntıları soğuk halde yüksek süneklik sağlar ve hatta daha tehlikeli inklüzyonları sararak izole ederler. Ancak normal şartlarda inklüzyonlar çeliğin yorulma mukavemetini kötü yönde etkiler ve mantar kısmında yorulma çatlaklarına nüve oluşturur. Bu bakımdan konverter-pota-sürekli döküm prosesinde iyi bir metal dışı kalıntı temizlenmesi ve mümkün olduğu kadar sıvı çeliğin hava temasının önlenmesi gerekir.

- 260mmx360mm boyutlu blumlerin makro yapılarında küçük gaz boşlukları (pinhol) vardır. D kodlu dökümde yüzey altında çok miktarda küçük gaz boşlukları mevcuttur. Hatta gaz boşlukları rayın mantarına yansımıştır. Döküm boşluklarının önlenmesi için pota fırınında erimiş oksijen değerinin 20 ppm in altına düşürülmesi, dökümün kapalı vakum ortamında yapımı ve uygun kalıp yağlayıcısı kullanmak gerekir.

- Ray üretiminden sonra ızgarada normal olarak havada soğuma nedeni ile yapıların metalografik incelemesinde perlitik yapı bulunmuş ve tanelerin düzgün ve homojen dağıldığı tespit edilmiştir (Şekil 6.6-6.9). Koyu ve açık bölgelerdeki uyum kısmen de olsa perlitik yapı şablonuna uymaktadır. Perlitik yapının elde edilmesinde üst üste yığılmış blumların bir holde yavaş soğumaya bırakılmasının etkisi vardır.

- Çelik üretim aşamasında pota fırınında hidrojen ölçümü yapılamamıştır. ERDEMİR'e gönderilen ray numunelerinde 0.280-0.355 ppm H₂ bulunmuştur. Bilindiği gibi, H₂ ölçümünün sıvı çelikte yapılması gerekir. Blum üretiminden sonra yaklaşık 1000 °C da sehpa üzerine üst üste konan blumların geç soğuması, 8. holde istif halinde beklemesi ve ray üretim aşamasında tavlama, haddeleme ve ızgarada

soğuması sırasında H_2 büyük miktarda uzaklaşmıştır. Böylece, H_2 çok küçük değerlere inerek rayda oluşabilecek kırılma önemli ölçüde bertaraf edilmiştir.

Rayların kesitinden ve mantar üzerinden yapılan sertlik ölçümlerinde bulunan değerler genelde düzgün dağılım göstermektedir. Ayak ve sac bölgeleri daha ince bir yapıya sahip olduklarından daha erken soğurlar ve daha yüksek bir sertlik değerine sahip olurlar. Bu durumu Şekil 6.1 ve Tablo 6.2’de tam olarak görmek mümkün olmamıştır. Bunu ölçmedeki hassasiyete ve alaşım elementlerinin etkisine bağlayabiliriz.

6. 2. Haddehanede Numunelerinin Karakterizasyonu

6.2.1. Havada Soğuma

Tablo 6.5’de görüldüğü gibi hava basıncına göre 1, 2 ve 3 No’lu numunelerde sıra ile 6.25, 8.31 ve 10.75 $^{\circ}C$ ’lik bir soğuma hızı elde edildi. Bu numunelere numara verilerek mekanik testler için numune alma işlemleri uygulandı. Numunelerin çekme mukavemet değerleri $967 N/mm^2$ ile minimum değerlerin çok üzerinde iken, çekme uzaması değerleri (% 7.6-10.2) hızlı soğumanın etkisiyle istenilen değerlerin altında kaldı.

Tablo 6.5. Numunelerin havada soğuma hızları

Numune No	Soğuma Hızı ($^{\circ}C/dak$)	Soğuma Türü
1	6.25	Hızlı
2	8.31	Daha hızlı
3	10.75	En hızlı

6.2.1.1. Mekanik test sonuçları

Havada soğuyan numunelerden 10 mm çapında elde edilen çekme mukavemeti ve kopma uzaması deney numuneleri çeşitli testlere tabi tutuldu. Numunelerin hepsi UIC GR 900 A normuna göre minimum değer olan $880 N/mm^2$ değeri ile % 13 daha fazla bir mukavemete sahipken, minimum % 10 olması gereken kopma uzama

değerleri, 3.numunede % 7.6'lık bir değer ile % 25 bir azalma sonucunda sınırın çok altında, diğer numunelerde ise tam sınırdaki gerçeğe ulaşmıştır. Hızlı soğumayla çekme mukavemeti artan numunelerin kopma uzamaları azalmaktadır. Bu değerlerden numunelerin hızlı soğumayla daha gevrek ve daha kırılabilir bir yapıya doğru kaydığını söylemek mümkündür.

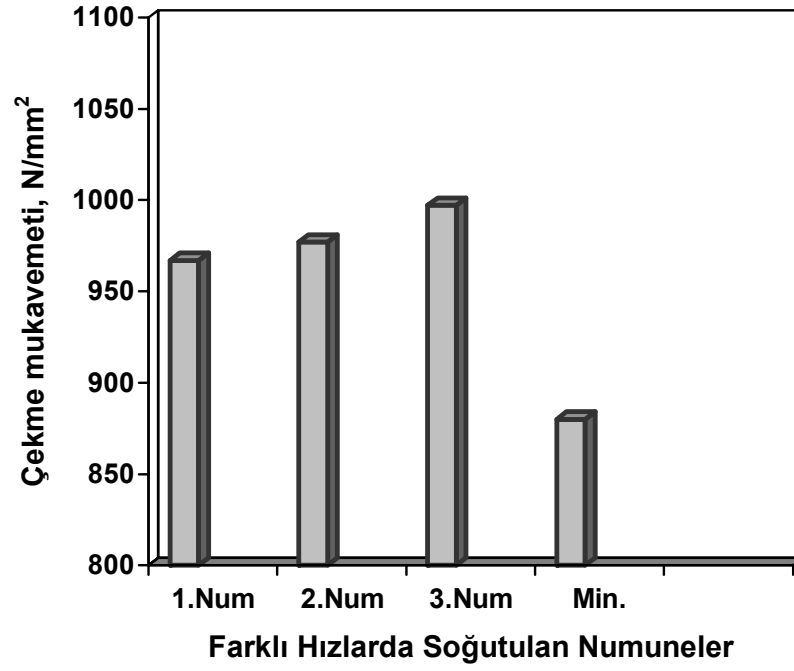
Bu sonuçlardan da rayların daha az kırılabilir olmaları için daha yavaş soğutulmaları gerektiği anlaşılmaktadır. Şekil 6.10'da numunelerin çekme mukavemetleri ile kopma uzamaları arasındaki farklar açıkça görülebilmektedir.

Tablo 6.6. Havada soğuyan malzemenin mekanik test sonuçları

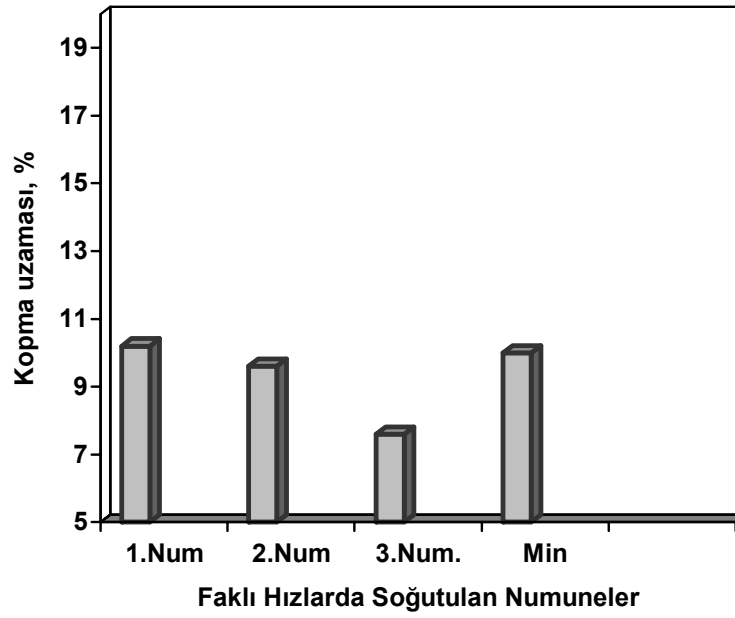
Numune No	Soğuma Hızı (°C/dak)	d Çapı (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Çekme Mukavemeti		Uzama L ₀ =10d ₀		Kesit Daralması	
				Kgf	N/mm ²	mm	%	mm	%
1	6.25	10.0	78.5	77.40	967	55.1	10.2	9.1	17
2	8.31	10.0	78.5	78.20	977	54.8	9.6	9.2	15
3	10.75	10.0	78.5	79.80	997	53.8	7.6	9.4	12

Şekil 4.18'de perlitik yapının mekanik özellikleri nasıl etkilediği görülmektedir. Akma dayanımı artan perlit oranı ile artmaktadır. % 0.8 C içeren ötektik noktasından sonra dayanım azalmakta ve kırılabilirlik artmaktadır. Fakat bu deneyde C miktarı sabit olduğundan tek değişken perlit oranıdır.

Aynı şekilde Şekil 4.20'de ise artan % uzama, en az çekme dayanımı kaybını perlitik yapıda vermektedir. Mekanik özellikleri optimize etmek için mukavemet ile sertlik, tokluk, süneklik değerlerinin optimize edildiği faz olarak perlitik yapı seçilmelidir. Yüksek C miktarının verdiği sertliği ve mukavemeti perlit ile sağlarken, ideal en yüksek sertlikte en az aşınmayla en uzun ömürlü rayı elde etmek mümkündür.



a)



b)

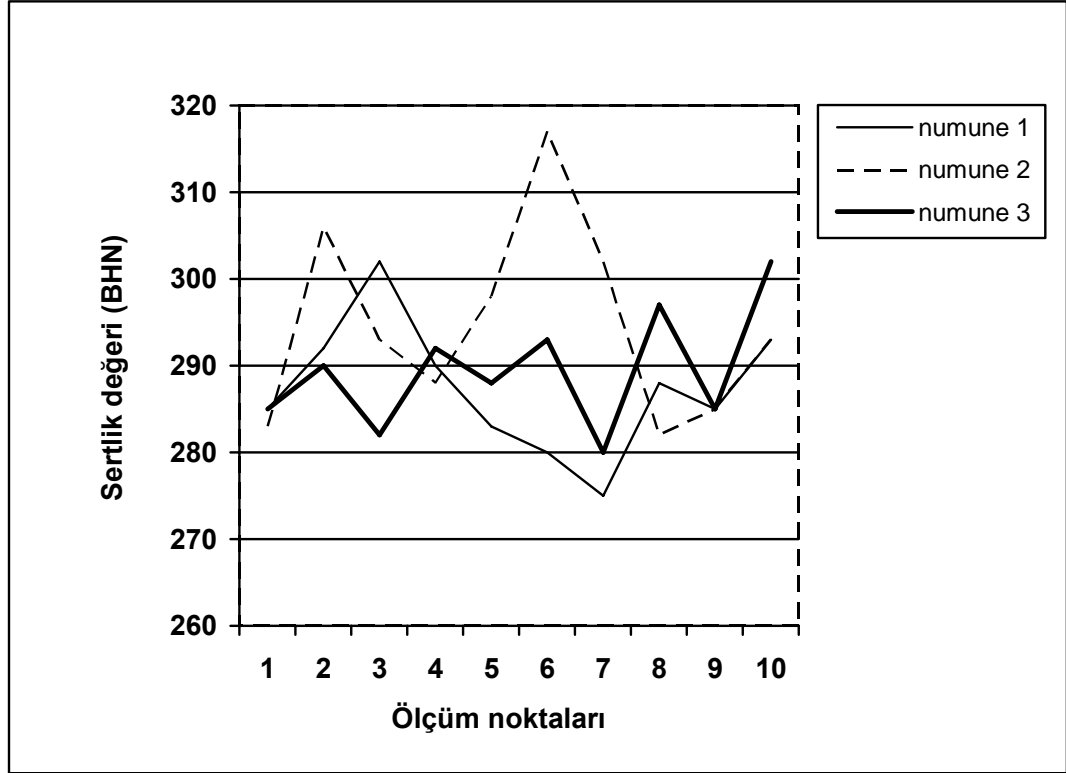
Şekil 6.10. Farklı hızlarda havada soğutulan numunelerin a) çekme mukavemeti ve b) kopma uzaması

6.2.1.2. Sertlik değerleri

Sertlik değerleri standart olarak rayın daha önce de bahsedildiği gibi, ilk 5 tanesi mantardan diğer 2 tanesi (6 ve 7 No'lu ölçüm noktası) sactan ve son 3 tanesi (8, 9 ve 10 No'lu ölçüm noktası) ayaktan olmak üzere 10 ayrı bölgesinden alınan sonuçlardan elde edilir. Rayın sertliği aşınma mukavemetini artırdığından dolayı kırılma mukavemetini çok ciddi oranda azalttığı için istenilen değerlerde olmalıdır. Rayın nispeten daha ince olan sac ve ayak bölgeleri daha hızlı soğuduğunda daha sert olabileceği halde mantar kısmı daha kalın olduğu için daha geç soğur ve diğer bölgeler kadar sertleşemez. Oysa bunun tersi arzu edilir. Bu yüzden günümüzde gelişmiş haddehanelerde mantar sertleştirme işlemleri yapılmaktadır. Kardemir'in ürettiği 49.43 kg/m standardındaki raylarda UIC 900A normunda ray çeliği kullanılır ve bu çeliklerde C miktarı % 0.6-0.8 olduğundan daha sert (min. 245 BHN) ve aşınma mukavemeti daha yüksek raylar elde etmek mümkündür. Tablo 6.7'de verilen değerler Şekil 6.11'de grafik olarak verilmiş olup, sertlik dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Ortalama değerler olarak; 1 numune 278,3 BHN, 2.numune 294,7 BHN ve 3.numune ise 289,4 BHN olmuştur. Daha hızlı soğuduğu için 3 numaralı numunenin daha sert olması beklenirdi. Oysa genel olarak 2. numune daha sert görünmektedir. Bu farkları bölgesel ve yüzeysel sertlik farklarına ve ölçmedeki hassasiyete bağlayabiliriz. Soğuma sırasında havayla daha çok temas eden yerlerin daha fazla sertlik gösterdikleri sanılmaktadır.

Tablo 6.7. Havada soğuyan malzemelerin sertlik değeri

Ölçüm noktası	1.Numune (BHN)	2.Numune (BHN)	3.Numune (BHN)
1	285	283	285
2	292	306	290
3	302	293	282
4	290	288	292
5	283	298	288
6	280	317	293
7	275	302	280
8	288	282	297
9	285	285	285
10	293	293	302



Şekil.6.11. Havada soğuyan numunelerin sertlik değerleri dağılımı

6.2.1.3. Mikroyapı görüntülerinin incelenmesi

Elde edilen bu görüntüler Kardemir'deki fotoğraflara göre daha ayrıntılı olup, fazları incelemede daha yararlı olmaktadır. (Şekil 6.12-13, 6.14-6.16, 6.20, 6.27)

Mikroyapının homojenliği ve lameller arasında görülebilen mesafeler ray numunesinin mekanik özellikleri hakkında fikir vermektedir. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi lameller arası mesafenin malzemenin mekanik özelliklerini önemli oranda etkilediği anlaşılmaktadır. Aynı şekilde özellikle 1000 büyütme SEM analizlerinde görülen uzun çubuklar şeklinde fark sementit çubukları, rayın genel özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

1 No'lu numunenin optik mikroskopla 100 ve 200 büyütmelede yapılan incelemelerde ideal perlitik yapıdan çok fazla bir sapma olmadığı görüldü (Şekil 6.12). Şekil 6.13'de gösterilen 2 ve 3 No'lu numune analizlerinde ise daha belirgin farklar görüldü. Daha karışık ve dağınık bir yapı ise özellikle 3. numunede görüldü. 2.ve 3.numunelerde düzgün dağılmış perlitik yapıdan bahsetmek zordu. Şekil 6.14'de gösterilen 1 No'lu numunenin SEM analizlerinde, Şekil 4.25'de gösterilen ideal ray numunesi perlitik yapı görüntülerine yakın bir mikroyapı elde edildi.

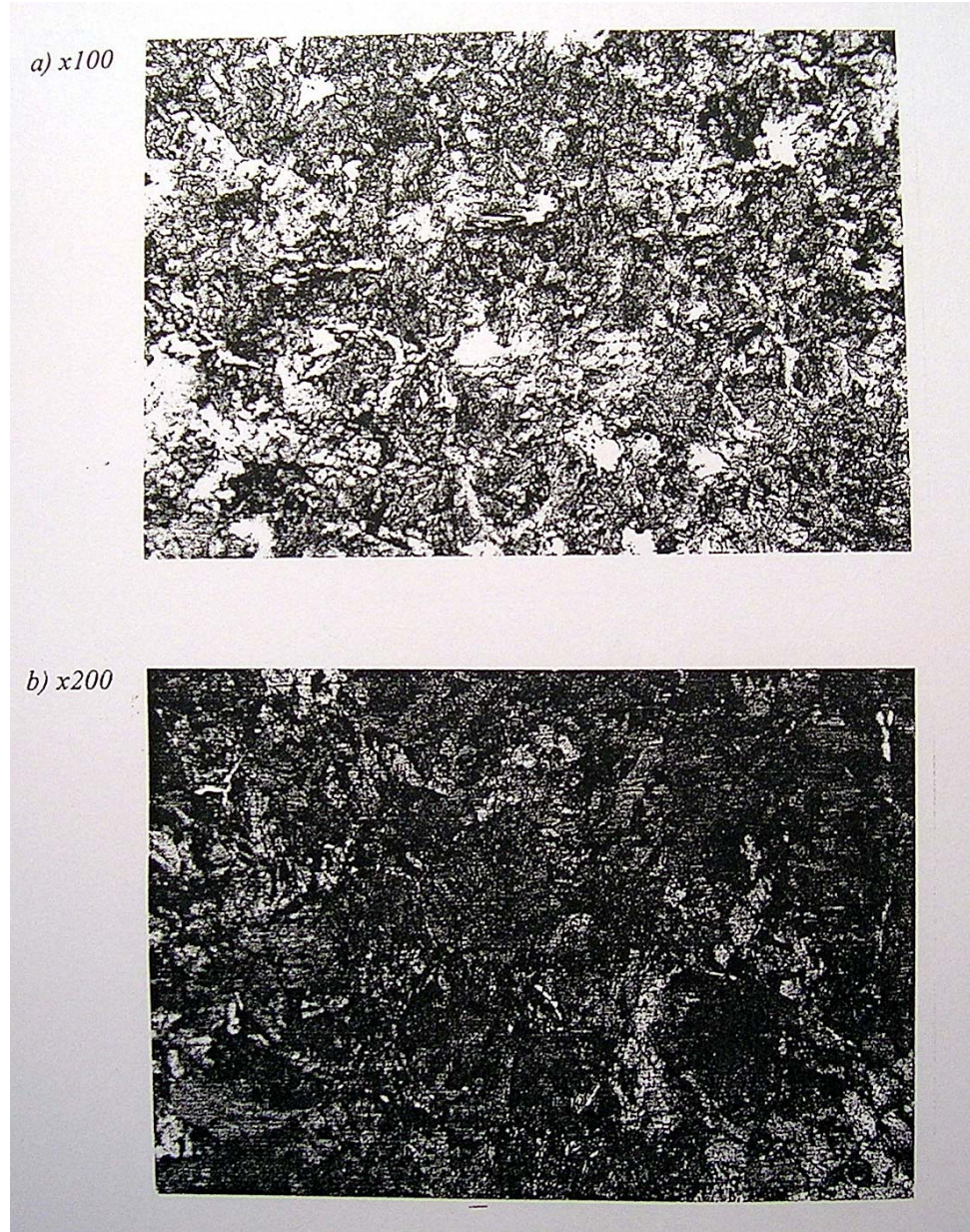
Aralarda görülen yer yer siyah bölgeler sementit yığılmaları ve sementit ağları kaba perlite yapıya yaklaşım şeklinde yorumlandı. Ayrıca siyah noktalar ise oksit inklüzyonları olarak tespit edildi. Şekil 6.15'de gösterilen 2 No'lu deney numunesinin SEM analizlerinde ise 1 numaraya göre daha dağınık ve düzensiz yapı görüldü. Siyah bölgelerdeki yığılmalar, perlit lamelleri arasındaki mesafenin açıklığı özellikle 2000 büyütmede kolaylıkla görülebilmektedir.

Şekil 6.15'deki 2 No'lu deney numunesinin SEM analizleri 3 numaralı deney numunesine ait Şekil 6.16'daki görüntülere göre daha farklı bir yapıda olduğu ortaya çıktı. Bu görüntülerde 3 numaralı deney numunesinin daha hızlı soğuduğundan dolayı mikroyapısının daha dağınık ve perlitik yapıdan daha uzak olduğu görüldü. Koyu bölgeler belirgin olarak diğer bölgelerden ayırt edilebilmekte ve dağılımdaki düzensizlik dolayı kaba perlite doğru eğilim çok kolay anlaşılabilir.

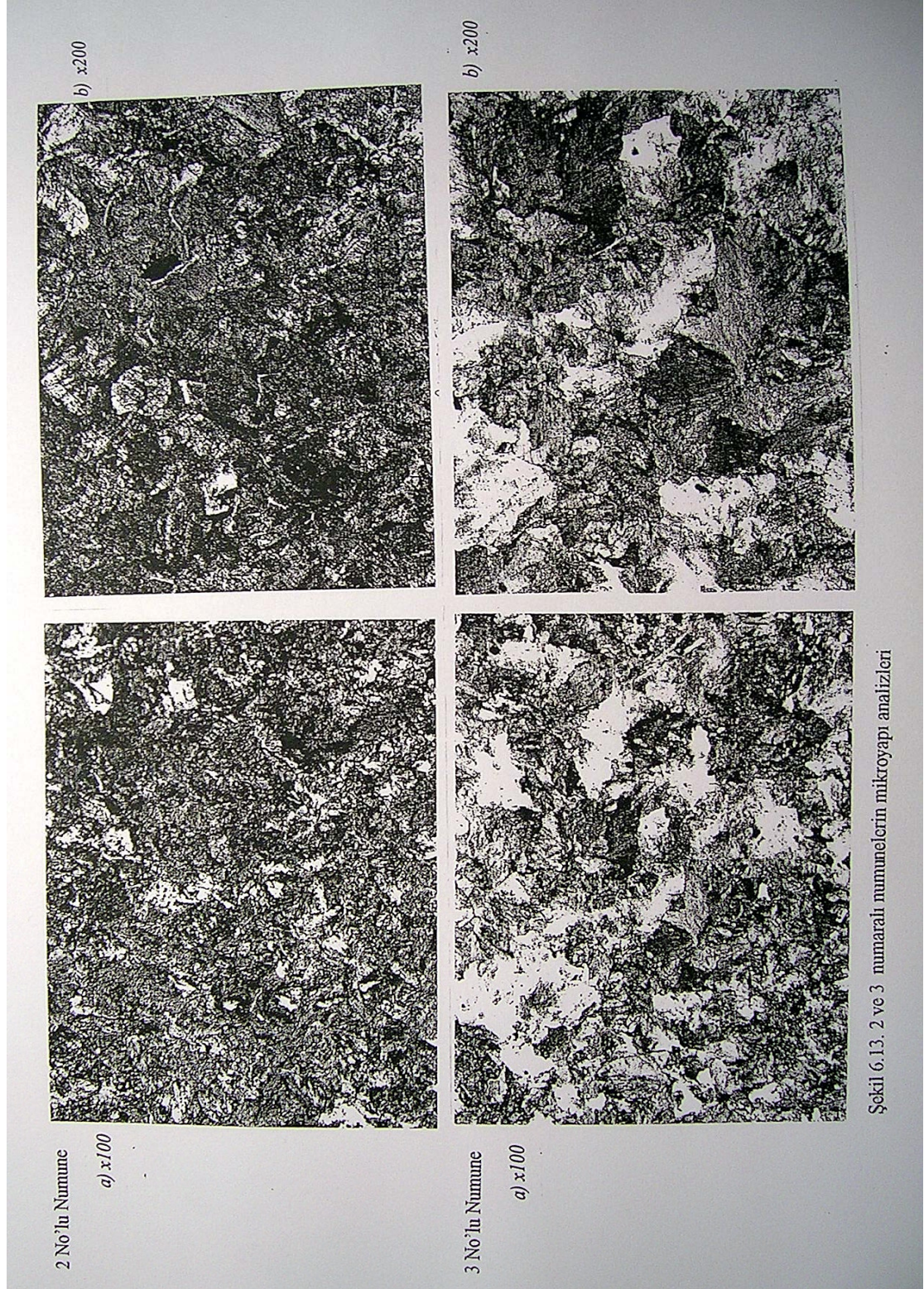
Aralarda görülen çizgi halindeki sementit çubukları, sementit ağı oluşturmakta ve mekanik özellikleri kötü yönde etkilemektedir. Artan soğuma hızıyla bu ağın belirginleşeceği ve kırılabilirliğe karşı zayıf gölgeler oluşturacağı tahmin edilmektedir [22]. Şekil 4.25'deki mikroyapılarla 2 ve 3 no'lu numuneyi karşılaştırdığımızda, bu yapılardan sapma daha açık görülmektedir. Böylece mantarı serleştirilmiş daha ince dağılımlı perlit veren bir yapıya uzak ve kaba perlite yaklaşmış olduğumuz açıkça görülebilmektedir.

Dönüşüm sıcaklığı olan 500-600 °C, lameller arası mesafeyi (Şekil 4.17) dönüşüm için gerekli zamanı ve hatta iki fazın düzenlenmesini etkilemektedir.

Şekil 4.18'de görüldüğü gibi, östenit dönüşüm sıcaklığının lameller arası mesafeye etkisini incelediğimizde, dengeli (kararlı) ferrit ve sementit çekirdeği oluşumundan önce uzun zaman gerektiği anlaşılmaktadır. Çekirdeklenme, perlit başlangıç zamanına (Ps) yaklaşılan kadar başlamamakta ve perlit büyümeye başladıktan sonra atomlar hızla difüz etmekte ve kaba perlit oluşmaktadır. Dönüşüm perlit bitiş zamanında (Pf) tamamlanır. 2 ve 3 no'lu numunelere bu dönüşüm için gerekli zamanı vermediğimizden, daha hızlı soğuttuğumuzdan ince perlit oluşması beklenmemektedir.

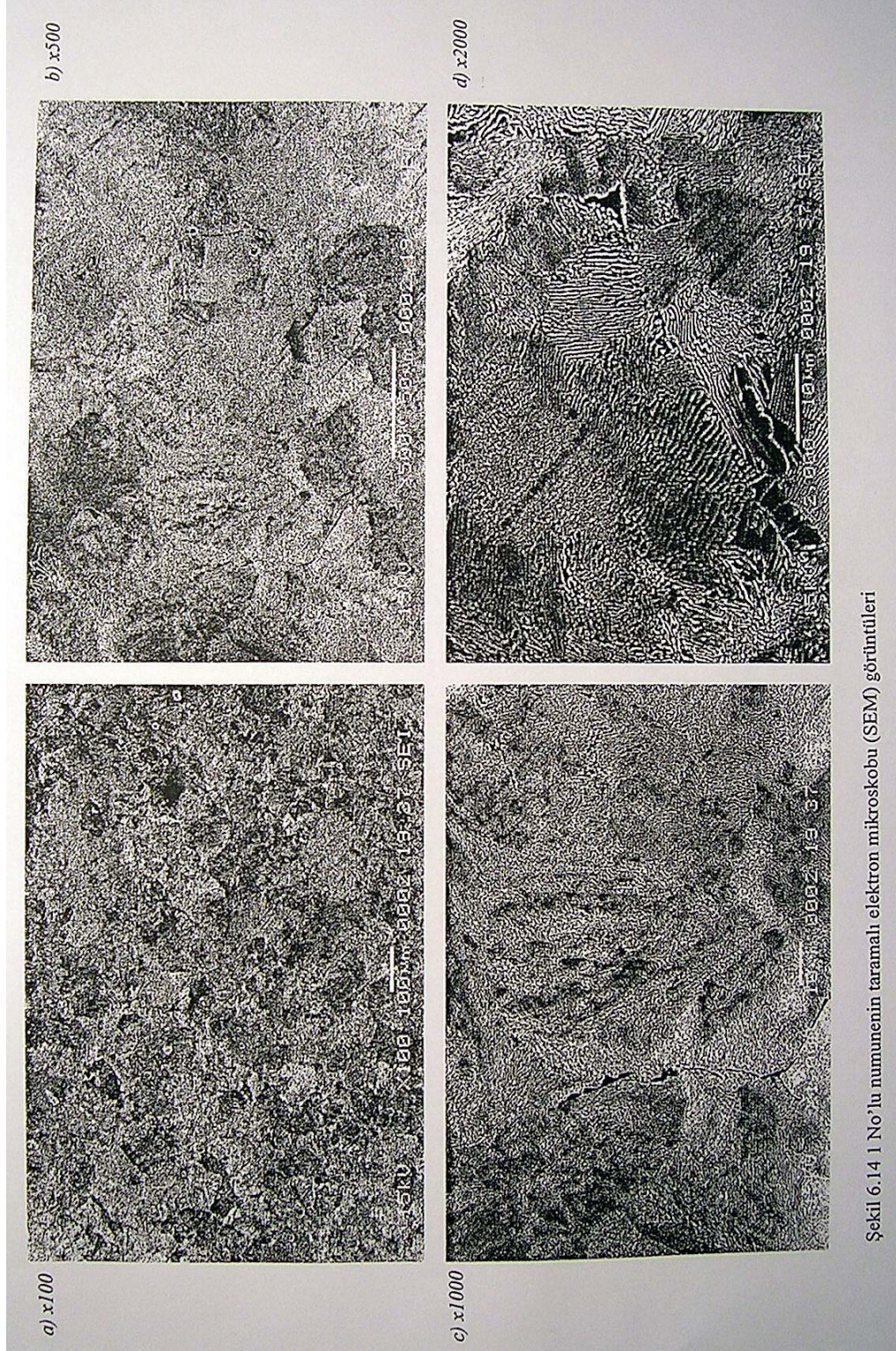


Şekil 6.12. 1 numaralı numunelerin mikroyapı analizleri



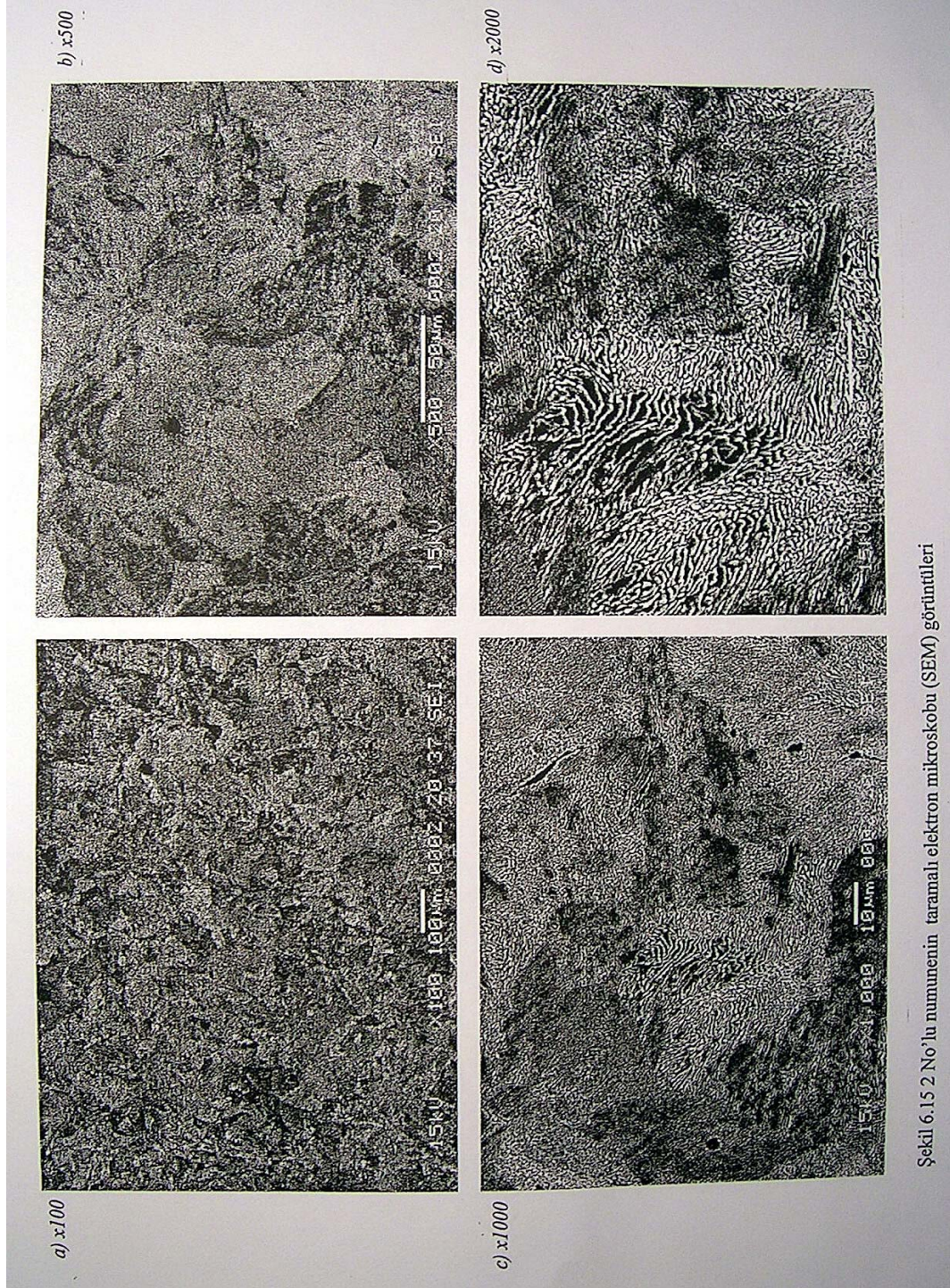
Şekil 6.13. 2 ve 3 numaralı numunelerin mikroyapı analizleri

Şekil 6.13. 2 ve 3 numaralı numunelerin mikroyapı analizleri



Şekil 6.14 1 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Şekil 6.14 1 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri



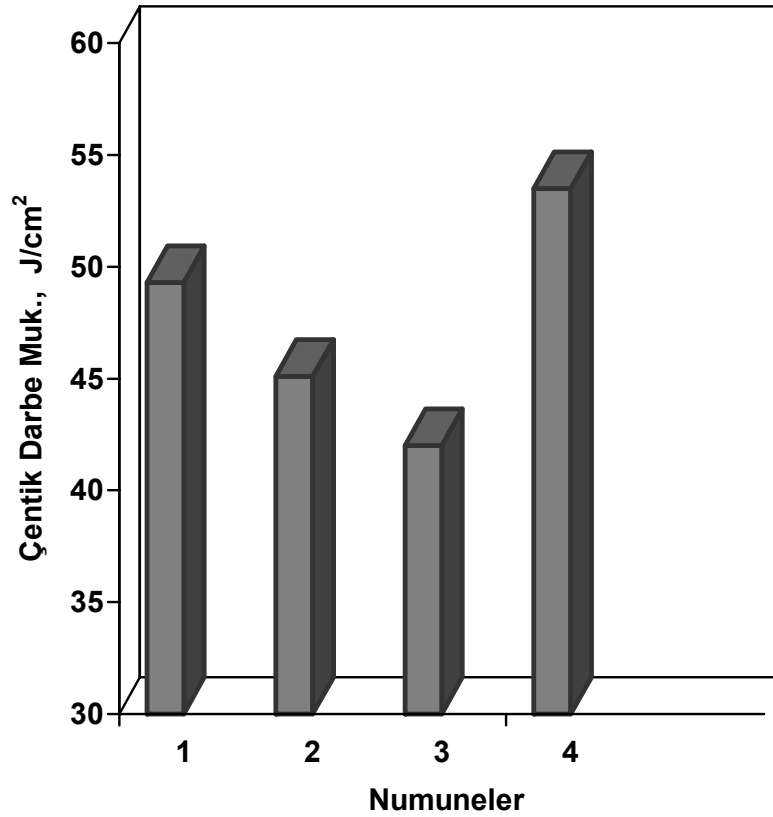
Şekil 6.15 2 No'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

6.2.1.4. Çentik darbe mukavemeti

Ray numunesinden mantar, ayak ve sac olmak üzere üç bölgesinden DVMF tipi deney numuneleri seçilerek alına sonuçlar Tablo 6.8 ve Şekil 6.17’de verilmiştir.

Tablo 6.8. Ray numunelerinin değişik noktalarından alınan çentik darbe mukavemet değerleri

Numune No	Mantar (A) J/cm ²	Sac (C) J/cm ²	Ayak (D) J/cm ²	Ort.J/cm ²
1/ Havada	51,5 49,7 50 48,3 47	50 47,5 46,5 45 48,8	52 51,8 53 50 49,5	49,3
2/ Havada	50 48,6 47,6 45 47	44 45 44,8 43,2 42	42 45,3 47,2 45 40	45.1
3/ Havada	40,3 42 42,5 44 41	39 40 43 42,8 44,8	42,5 45 40 42,5 42	42.0
4/ Izgarada	57,2 52 51,5 56 51	51 50 52 51,8 54,6	53,2 55 56 57 54,5	53.5



Şekil 6.17. Ray numunelerinin çentik darbe mukavemeti değerleri

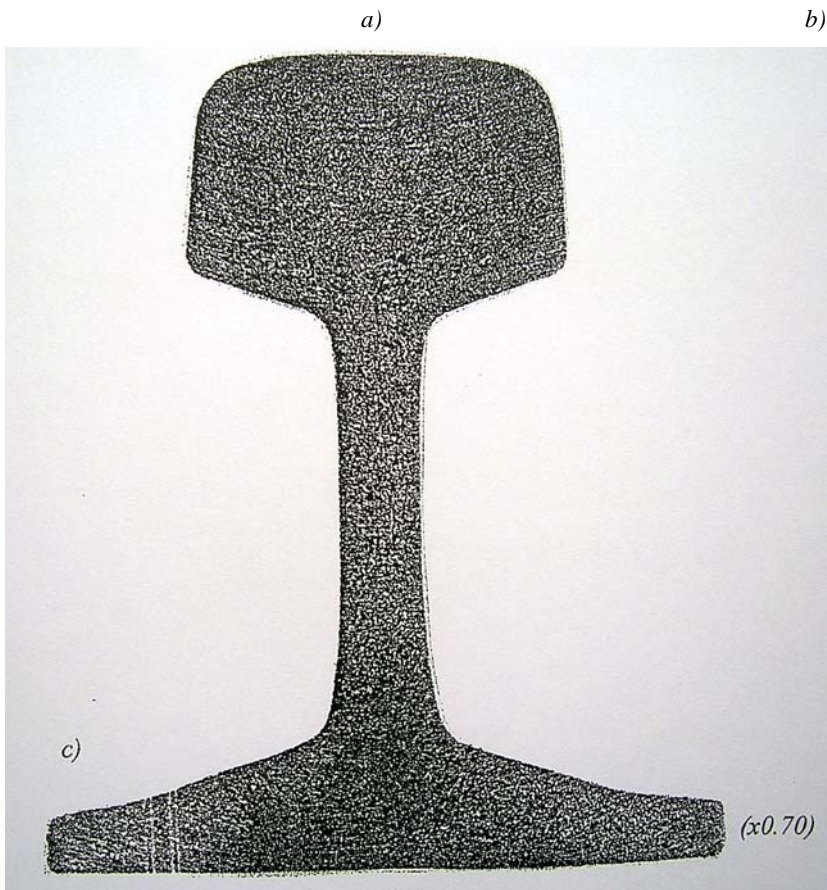
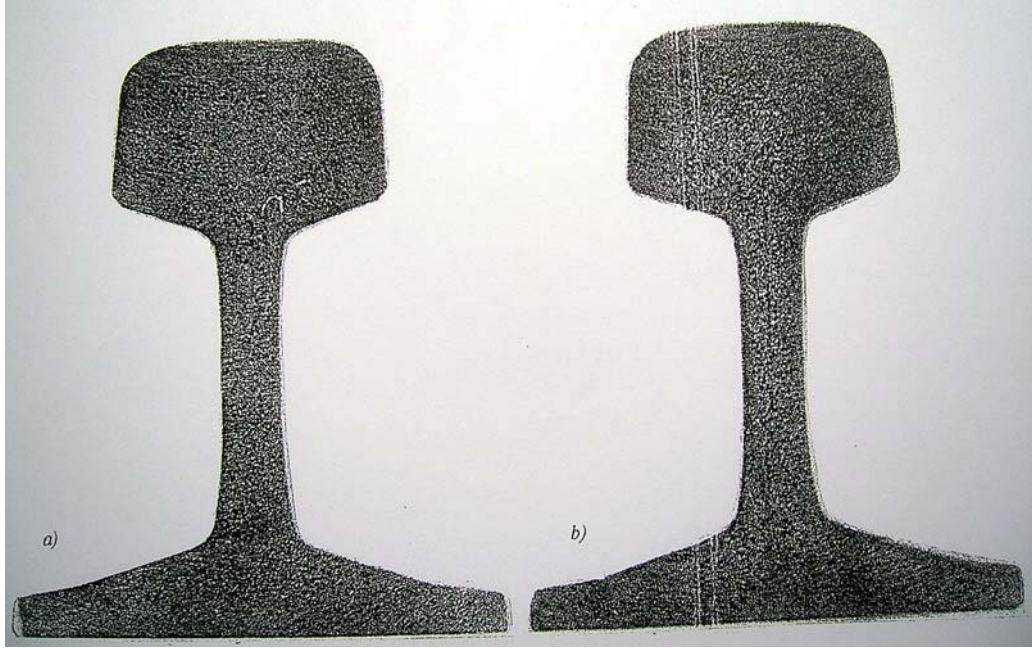
Suda soğuyan 5. numune ise çentik darbe mukavemeti değeri en az olan numune idi. Bu numune zaten yere düşünce bile kırılıyor ve değişik yerlerindeki çatlaklar hemen göze çarpıyordu. Tablo 6.8’de verildiği gibi deneyler sonunda ızgarada soğuyan ve şu an halen üretilen 4 No’lu deney numunesinin çentik darbe mukavemeti en hızlı soğuyan 3. numuneye göre % 27 daha fazla çıkmıştır. Bu durum Şekil 6.17’de daha kolay anlaşılabilir.

Bu deney sonunda hızlı soğuyan ray numunesinin çentik darbe mukavemetinin 53.5 J/cm^2 ’den 42.0 J/cm^2 ’ye gibi önemli oranda düştüğü ve kırılmaya karşı rayın aşırı hassasiyet kazandığı söylenebilir. Raylar doğrultulurken ray mantarı üzerinde bulunan çizikler çentik etkisi yapmakta ve raylar kırılabilir. Ray haddelenirken blok haddede temizlenen fakat hala üzerinde bir miktar tufal barındıran sıcak raya, bu tufal parçalarını merdane yüksek basınçla yapıştırarak ray mantarlarını çizer, ya da çukurlar ve düzensizlikler oluşturur. Bu yüzden haddeme sırasında merdanelerin sık sık yüzey kontrolü yapılır ve gerekirse yüzeyi taşlanır. Buna rağmen ray mantarında 1 mm derinliği aşan çizik oyuk ve yaralar varsa ray ayrılır.

UIC GR 900A normu raylar için çentik darbe mukavemeti standardı getirmemiştir. Onun yerine aynı yöntemle fakat daha kaba bir düzenek olan sadme testi uygulanmaktadır. Bu test sonunda rayın kırılmaması gerekmektedir.

6.2.1.5. Baumann kükürt baskı deneyi

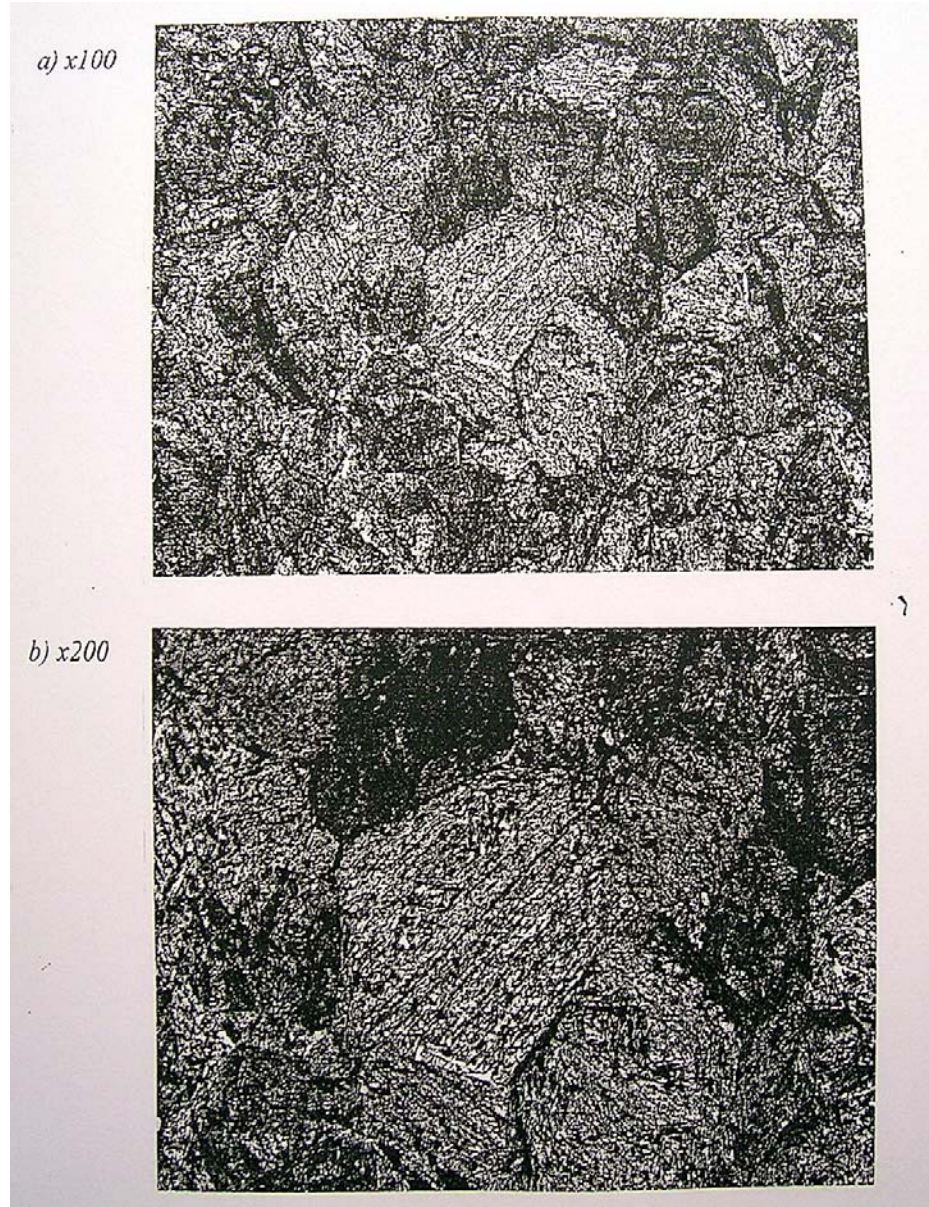
Deney numunelerinin kükürt baskı deneylerinde kükürt dağılımı normal değerlerde olduğu görüldü. Soğuma hızı artışının kükürt dağılımını kötü etkilemediği ortaya çıktı. Fakat standartlar gereği bir ray hakkında fikir sahibi olmak için yapılması gereken testler arasında Baumann testi de vardır [52]. Bu yüzden bu çalışmanın her aşamasında kükürt baskı deneyi yapılmıştır. Şekil 6.18’de deney sonuçlarının son derece olumlu olduğu belirlenmiştir.



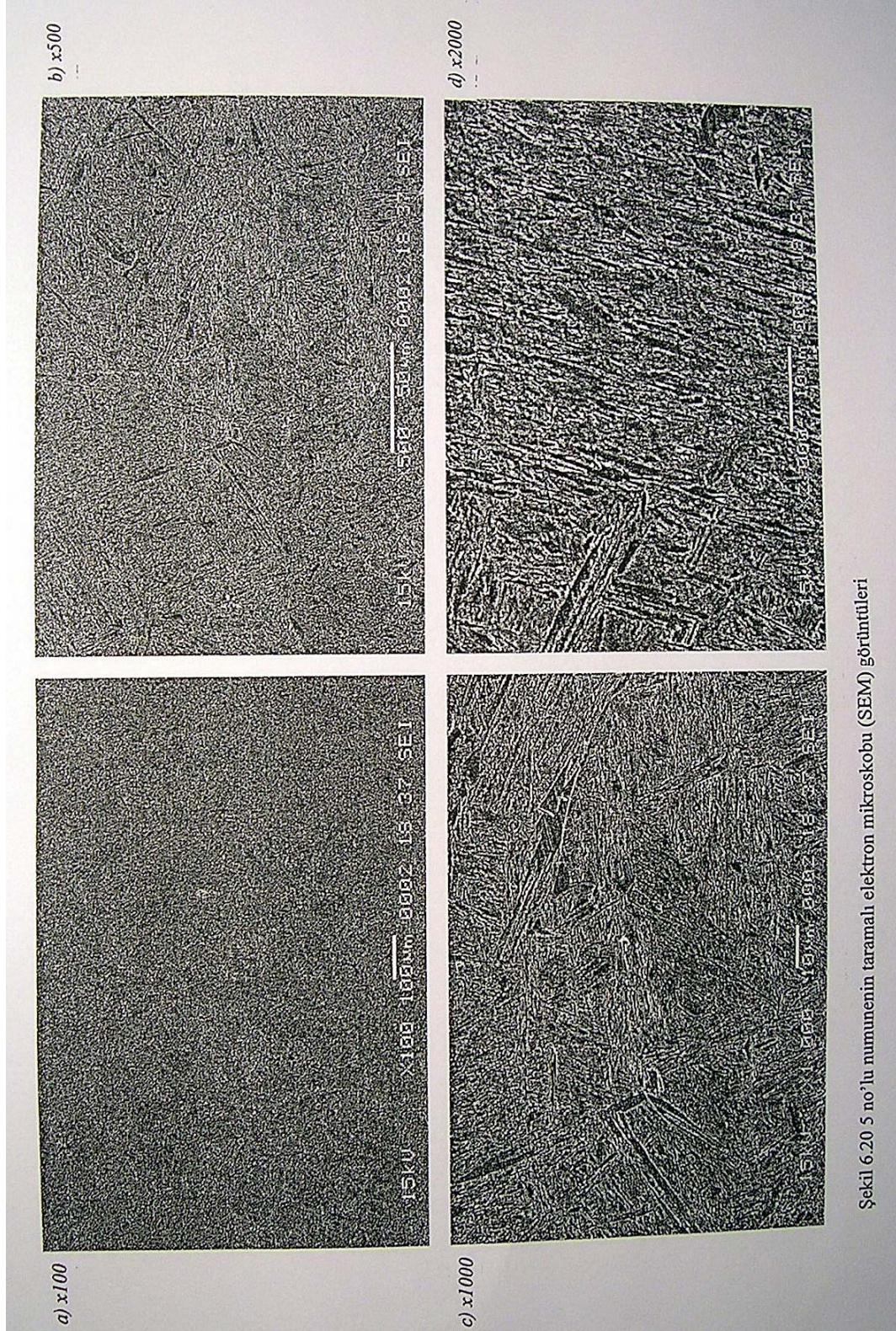
Şekil 6.18. 1 (a), 2 (b) ve 3 (c) numaralı numunelerin kükürt baskı makro incelemeleri

6.2.2. Suda Soğutma

Suda soğuyan malzemeden deney numunesi hazırlamak mümkün olmadı. Sertlik değeri 560 VSD olarak ölçüldü ve bu sertlikteki bir malzemeyi kesmek de mümkün olmadı. Çatlayan yerden darbelerle ve taşlayarak malzeme koparıp, mikroyapısı incelendi. Elde edilen mikroyapı görüntüleri oldukça ayrıntılı olup ulaşılan fazı çok net ortaya koymaktadır.



Şekil 6.19. Suda soğuyan 5 no'lu numunenin mikroyapısı



Şekil 6.20 5 no'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Şekil 6.20 5 no'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Yapılan mikroyapı analizlerinde tipik martenzitik yapı görüldü. Şekil 6.19’da bozulmuş ve düzensiz bir yapı görülmektedir. Sementit tanelerinin yoğunlaştığı bölgeler ve koyu rengin hakim olduğu optik mikroskop görüntülerini, Şekil 6.20’deki SEM analizleri dağılmış iğnesel yapı desteklemekte ve tipik bir martenzit yapısını şüpheye mahal bırakmayacak şekilde ortaya koymaktadır.

6.2.3. Izgarada Soğutma

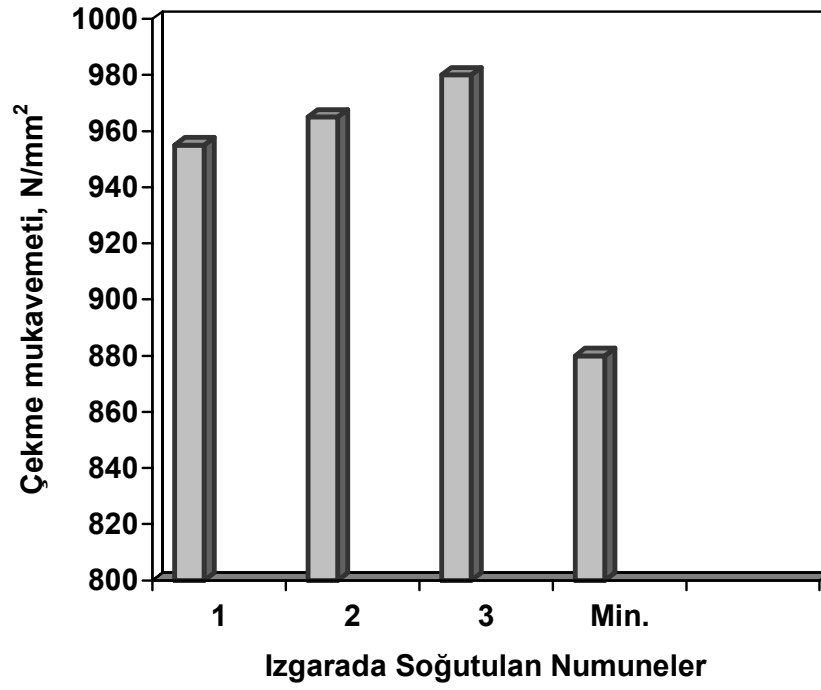
Izgarada kontrollü soğutma sonunda UIC 900 GR A standartlarının kabul ettiği değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlarla diğer soğutma şartları sonunda ulaşılan değerler karşılaştırıldığında, soğutma şartlarının etkisi Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’te çok açık bir şekilde görülebilmektedir.

6.2.3.1. Mekanik Testler

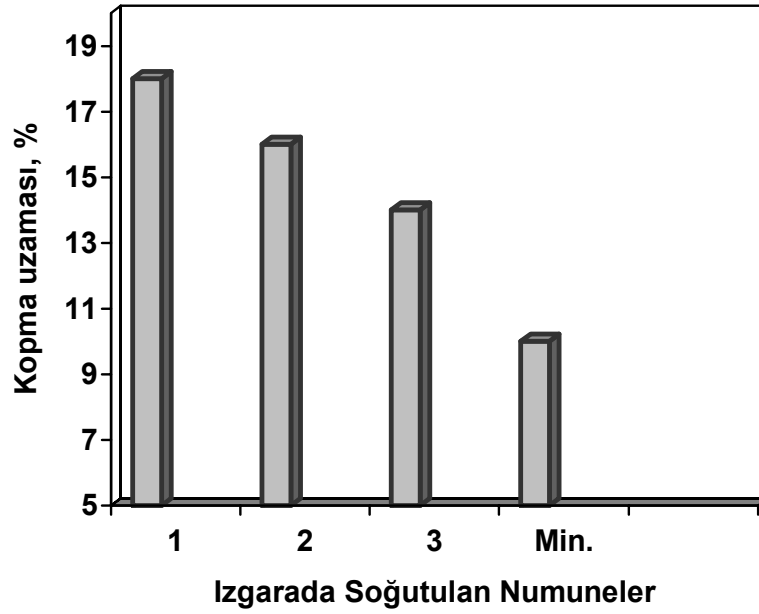
Ray numuneleri standart mekanik testlere tabi tutuldu. Bu testlerde ilgili standartların değerlerine uygunluğu bir defa daha test edildi. Tablo 6.9’da haddeleme sonrası rayların çekme deney sonuçları verilmiştir.

Tablo.6.9. Izgarada kontrollü soğuyan numunelerin mekanik test sonuçları

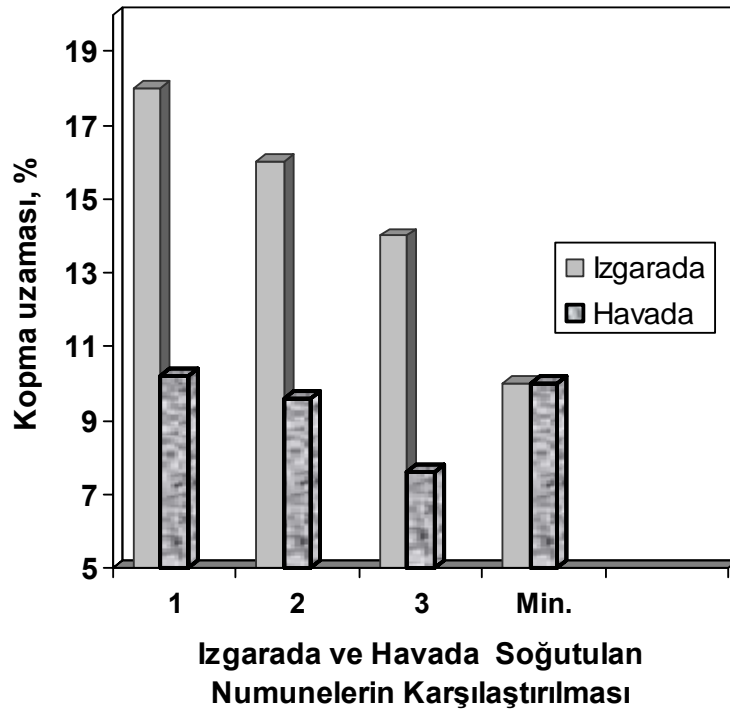
Numune No	Soğuma Hızı ($^{\circ}$ C/saat)	d Çap (mm)	Kesit Alanı (mm^2)	Çekme Mukavemeti (N/mm^2)	Uzama $L_0=10d_0$		Kesit Daralması	
					mm	%	mm	%
1	70	10.0	78.5	955	57.3	18	9.2	13
2	75	10.0	78.5	965	56.8	16	9.1	14
3	80	10.0	78.5	980	55.8	14	9.0	16



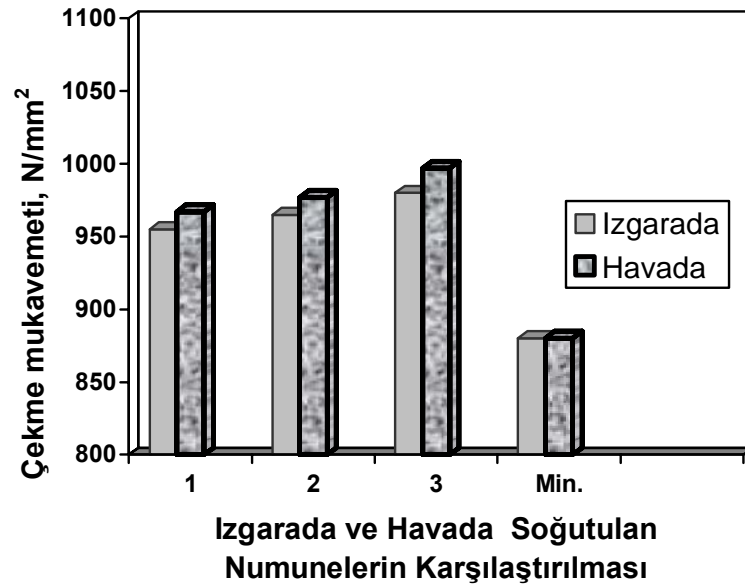
Şekil 6.21. Izgarada soğutulan numunelerin çekme mukavemeti



Şekil 6.22. Izgarada soğutulan numunelerin kopma uzaması



Şekil 6.23. Izgarada ve havada soğutulan numunelerin kopma uzamalarının karşılaştırılması



Şekil 6.24. Izgarada ve havada soğutulan numunelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması

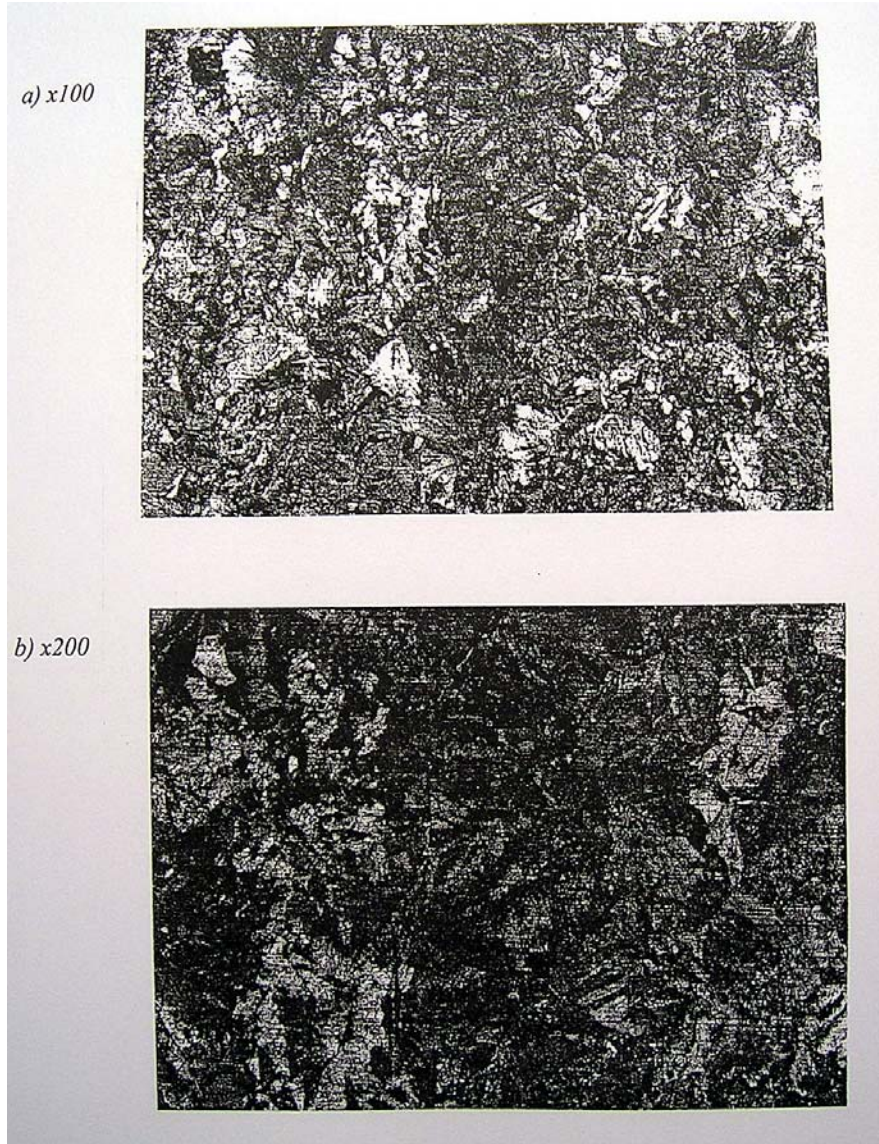
Izgarada soğuyan ray numunelerinin minimum 880 N/mm^2 olması gereken çekme mukavemetleri ve % 10 olması gereken yüzde kopma uzama değerleri açısından UIC 900A standardına göre $955-980 \text{ N/mm}^2$ arası çekme mukavemetleri ve % 14-18 % kopma uzamaları ile çok iyi değerleri vermiştir (Şekil 6.20 ve 6.21). Bu değerler şu anda dünyada kullanılan raylarda geçerli olan standartları ifade etmektedir [52] . Fakat havada hızlı soğuma ile ızgarada soğuyan ray numunelerini karşılaştırdığımızda, hızlı soğuyan ray numunelerinin kopma uzamasının standardın çok altında kaldığı açıkça görülmektedir. Şekil 6.23 ve Şekil 6.24 incelendiğinde havada kontrolsüz soğuyan numunelerin çekme mukavemeti açısından ızgarada kontrollü soğuyan numunelerden % 5 kadar daha fazla değerler verdiği ortaya çıkmıştır.

Kopma uzaması açısından ise durum farklı olmuştur. Havada hızlı soğuyan ray numuneleri, ızgarada kontrollü soğuyan numunelere göre % 45 daha düşük % kopma uzama değerleri vermiştir.

6.2.3.2. Mikroyapı analizleri

Izgarada soğuyan ray numunelerinin mikroyapı analizlerinin Şekil 6.25'deki metal mikroskobu ve Şekil 6.29'daki SEM incelemelerinde standart perlitik yapı ile karşılaştırılır. Beyaz ve siyah bölgelerin homojen olarak dağıldığı ve hızlı soğuyan ray numunelerine göre daha düzenli bir mikroyapı görüntüsünün olduğu kolayca fark edilmiştir. Bu görüntüler UIC GR 900A normunun istediği görüntüleri vermekle beraber aynı standardın istediği mekanik özellikleri sağladığı için kabul görmüştür. Aynı şekilde Şekil 6.29'da verilen SEM analizlerinde ince perlitik yapı ve homojen dağılım çok net görünmektedir. Şekil 6.14 de verilen hızlı soğuyan 1. numune, Şekil 6.15'de verilen daha hızlı soğuyan 2. numune ve Şekil 6.16'da verilen en hızlı soğuyan 3. numuneyle kıyaslandığında perlitik ince dağılım ve lameller arası mesafenin darlığı dikkati çekmektedir. Şekil 4.16'de verildiği gibi lameller arası mesafenin darlığı mekanik özelliklere çok iyi yönde etki etmektedir. Aynı şekilde Şekil 4.20'de verilen grafiğe göre mekanik özellikleri perlitik iç yapı optimize etmekte olup en ideal şartları vermektedir. Şekil 6.29'da verilen analizlerde çok

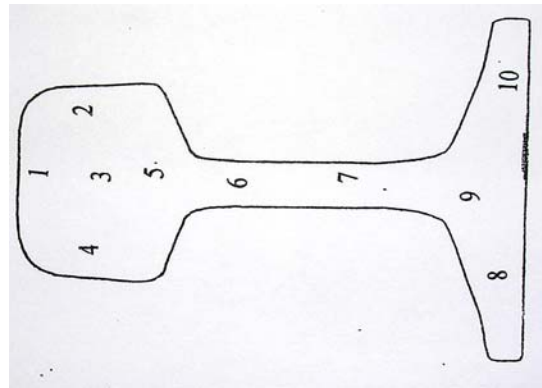
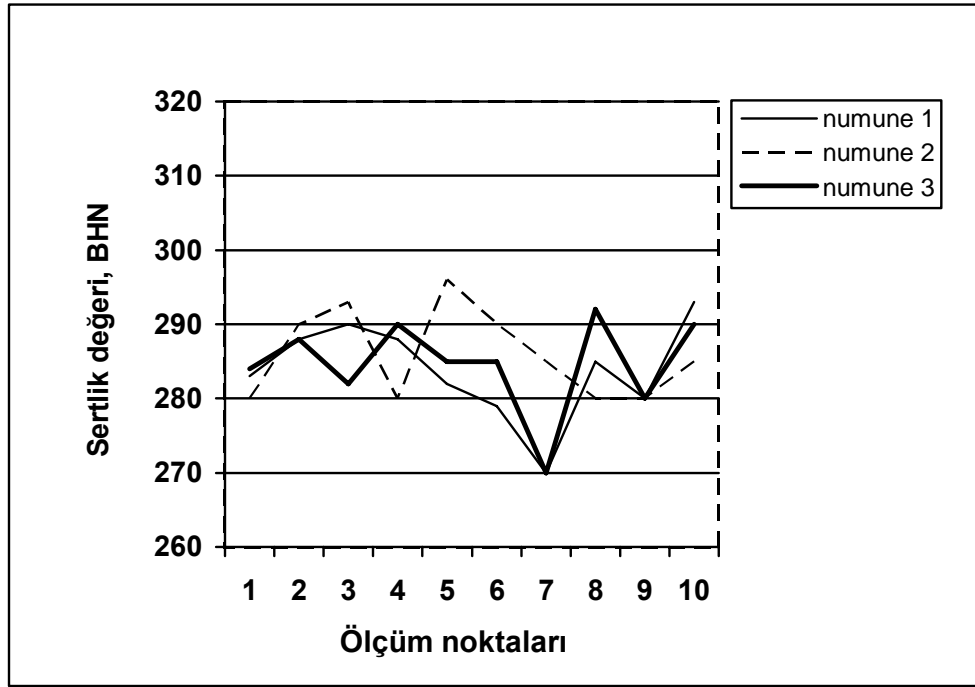
belirgin perlitik yapı görmek mümkündür. Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilen analizlerde siyah uzun çizgiler şeklinde görülen sementit ağ yapıları bu resimlerde görülmemektedir. 4. numuneye ait Şekil 6.29'da bu çizgiler görülmemekte siyah ve beyaz bölgeler arasındaki uyum göze çarpmaktadır. İlgili bu mikroyapılar Bölüm 4, Şekil 4.18 ve Şekil 4.22'de verilen ideal perlitik yapıya yaklaşmaktadır. Kardemir A.Ş'nin ihalesini verdiği vakum altında gaz giderme ve desülfürizasyon tesisiyle ve aynı şekilde kurulumu hızla devam eden ray ve profil haddesi bitiminde bu ideal ray yapılarına ulaşmak mümkün olacaktır.



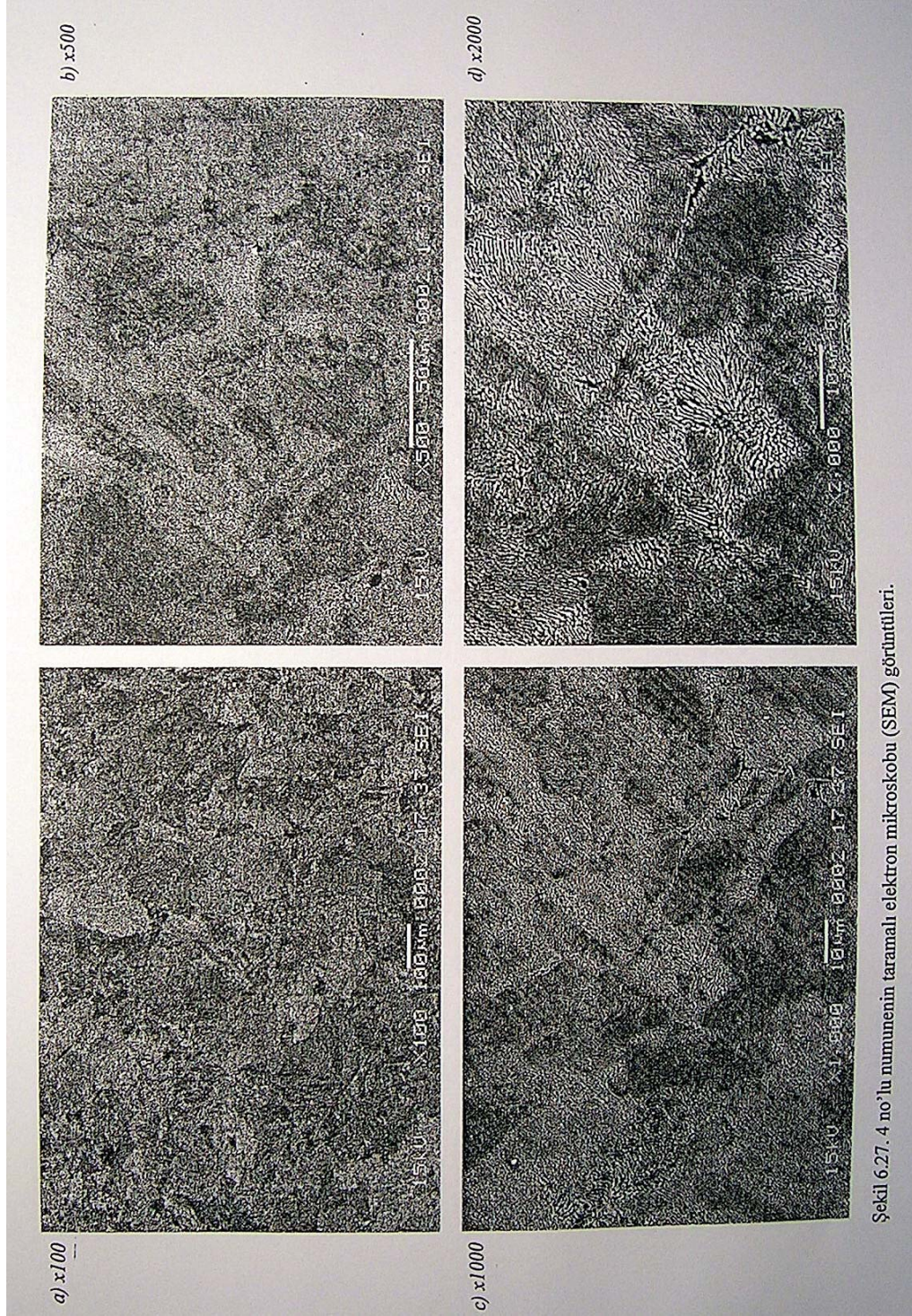
Şekil.6.25. Izgarada soğuyan numunelerin mikroyapı analizleri

Tablo 6.10. Izgarada soğuyan malzemelerin sertlik değerleri

Ölçüm noktası	1.Numune (BHN)	2.Numune (BHN)	3.Numune (BHN)
1	283	280	284
2	288	290	288
3	290	293	282
4	288	280	290
5	282	296	285
6	279	290	285
7	270	285	270
8	285	280	292
9	280	280	280
10	290	285	290

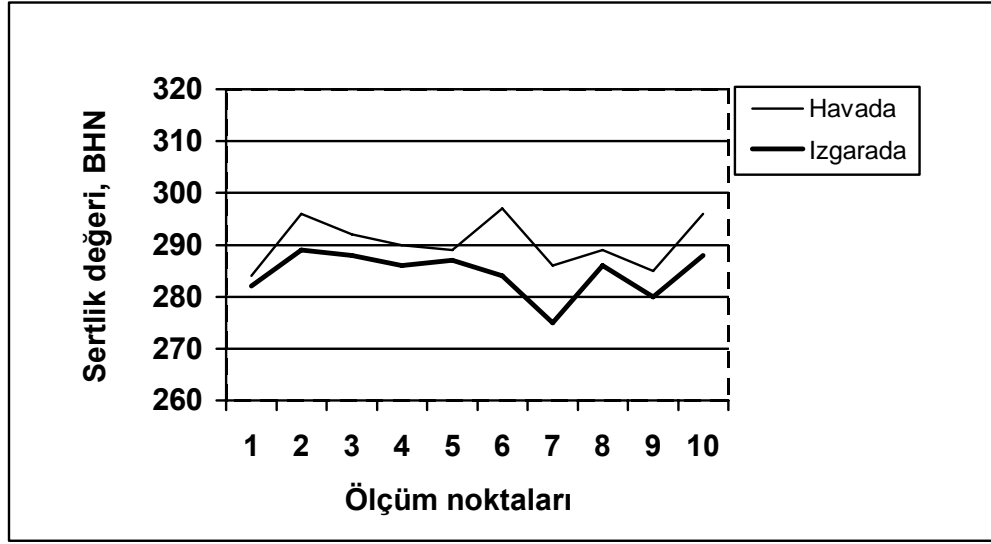


Şekil.6.26. Izgarada soğuyan numunelerin sertlik değerleri dağılımı



Şekil 6.27. 4 no'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.

Şekil 6.27. 4 no'lu numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.

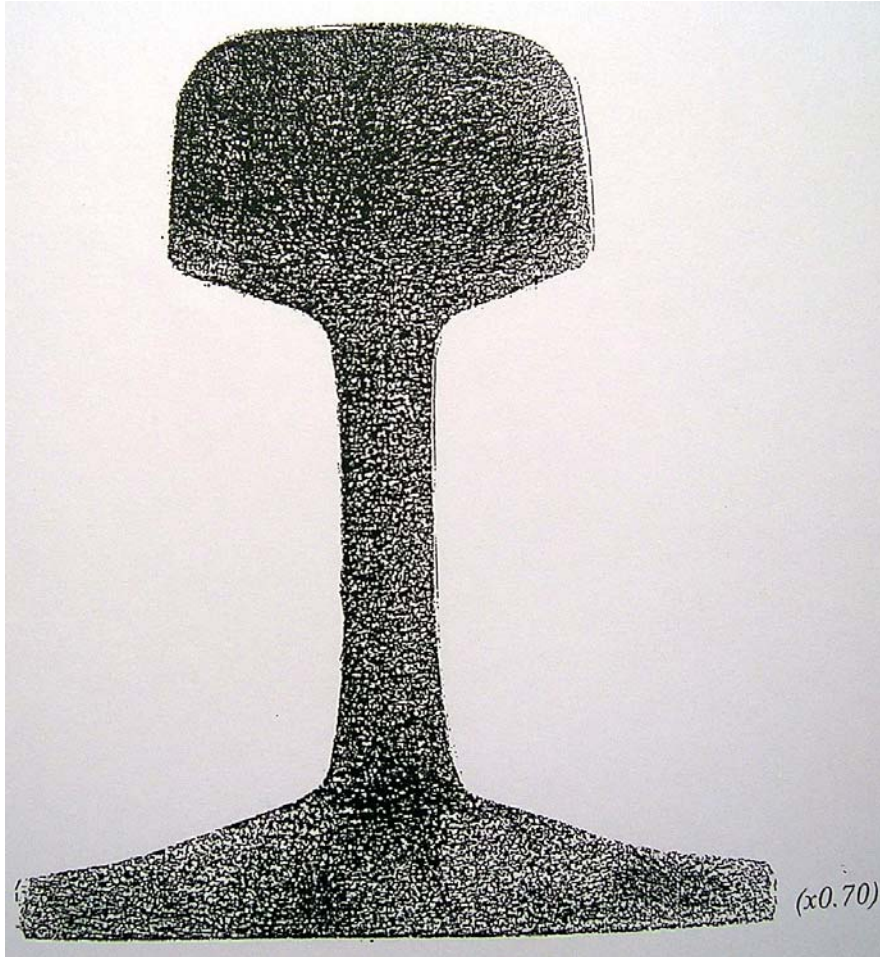


Şekil.6.28.Havada ve ızgarada soğuyan numunelerin sertlik değerleri dağılımlarının karşılaştırılması.

Izgarada soğutulan numunelere yapılan sertlik deneyleri sonunda UIC GR 900A standardının istediği 245 BHN üzerinde sertlik değerleri elde edildi. Bu sertlik değerleri ile aşınma en ideal değerlere indirecek ve ray uzun ömürlü olacaktır. Tablo 6.10 ve Şekil 6.26'da verildiği gibi, sertlik değerleri 280-290 BHN değerleri arasında yoğunlaşırken, sac kısmı dediğimiz bölgede sertlik değerleri % 7 kadar düşmektedir. Bunu, o bölgelere haddelme sırasında aşırı ezme verilmemesine bağlayabiliriz. Şekil 4.23'de verildiği gibi mantarın dış yüzeyini sertleştirip mantar içini daha tok yapmak daha iyi mekanik sonuçlar verecektir. Böylece mantar daha geç aşınacak ve daha uzun ömürlü olacak fakat esnemelerde ve aşırı yüklerde kırılmayacaktır. Şekil 6.27'de görüldüğü gibi, hızlı soğuyan raylar ızgarada kontrollü soğuyan raylara göre daha sert olmaktadır. Fakat aynı rayların kopma uzamasının ve çentik darbe mukavemetinin daha az olduğu Şekil 6.17 ve Şekil 6.23'de görülmüştü. Aynı şekilde bu rayların Şekil 6.14, 15 ve Şekil 6.16'da gösterilen mikroyapı analizleri perlitik yapıdan uzak çıkmıştı. Oysa en ideal mekanik şartlara perlitik yapı ile ulaşabildiğimiz yukarıda belirtilmişti. Bu nedenle sertliği artırmak tek başına yeterli olmamaktadır. Sertlik ve tokluk değerinin optimize edildiği perlitik yapı bütün dünyada kabul görmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır [53].

6.2.3.3. Baumann kükürt baskı deneyi

Izgarada soğutulan ray numunelerinin kükürt baskı deneyleri olumlu sonuçlar vermiştir. Çelikhanede sürekli ve kısmen kapalı dökümün etkisiyle ve dökülen blumların yavaş soğutulmasıyla kükürt dağılımı ideal olmuş ve kükürt homojen dağılarak kırılmalar için hassas noktalar oluşturması engellenmiştir. İngot dökümlerde bazen görülen mantar ve sacta enlemesine görülen kükürt birikmelerinin, geçmişte kırılmalara ve mekanik özelliklerde bozulmalara sebebiyet verdiği bilinmekteydi. Günümüzde bu tür problemlerle karşılaşılmamaktadır. Fakat TCDD şartnamelerinde geçen bu test yapılmak zorundadır [51].

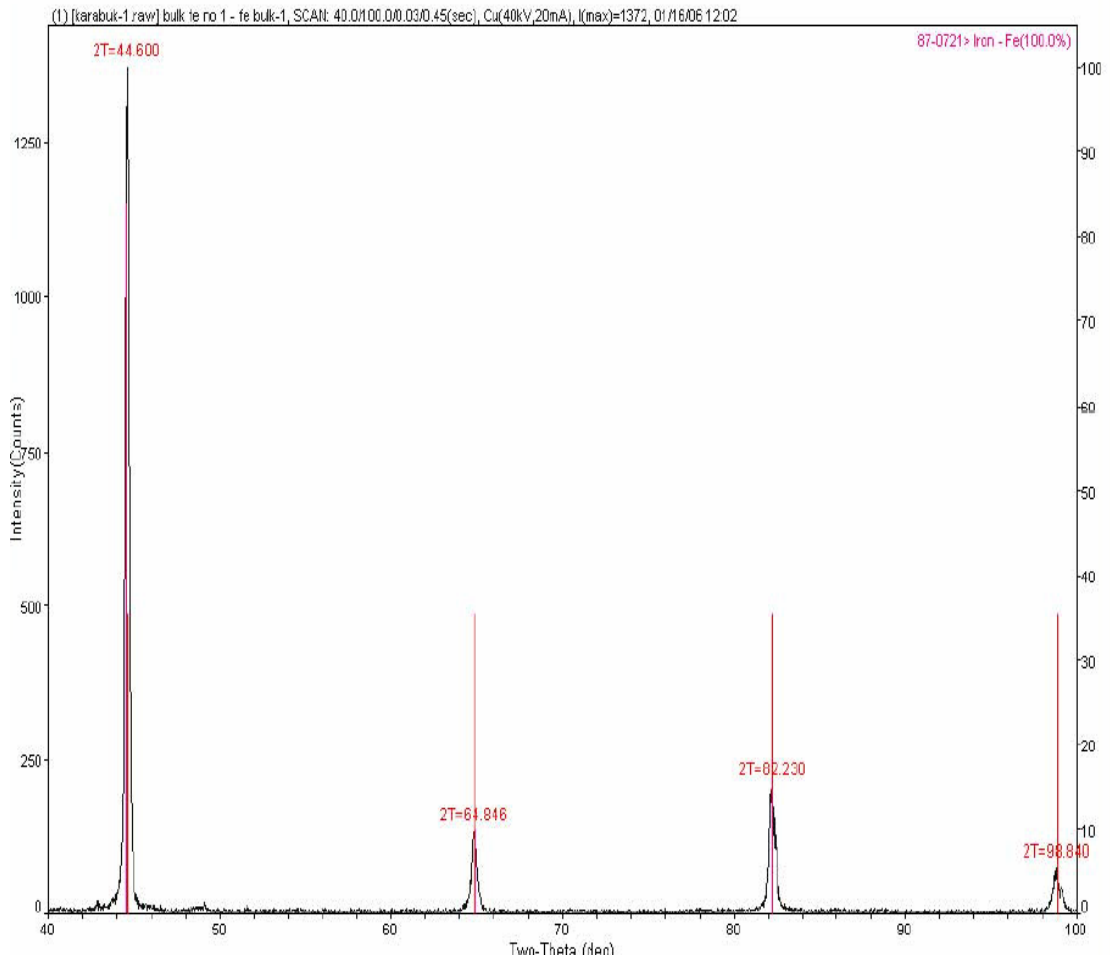


Şekil 6.29.Izgarada soğuyan malzemenin kükürt baskı makro incelemesi

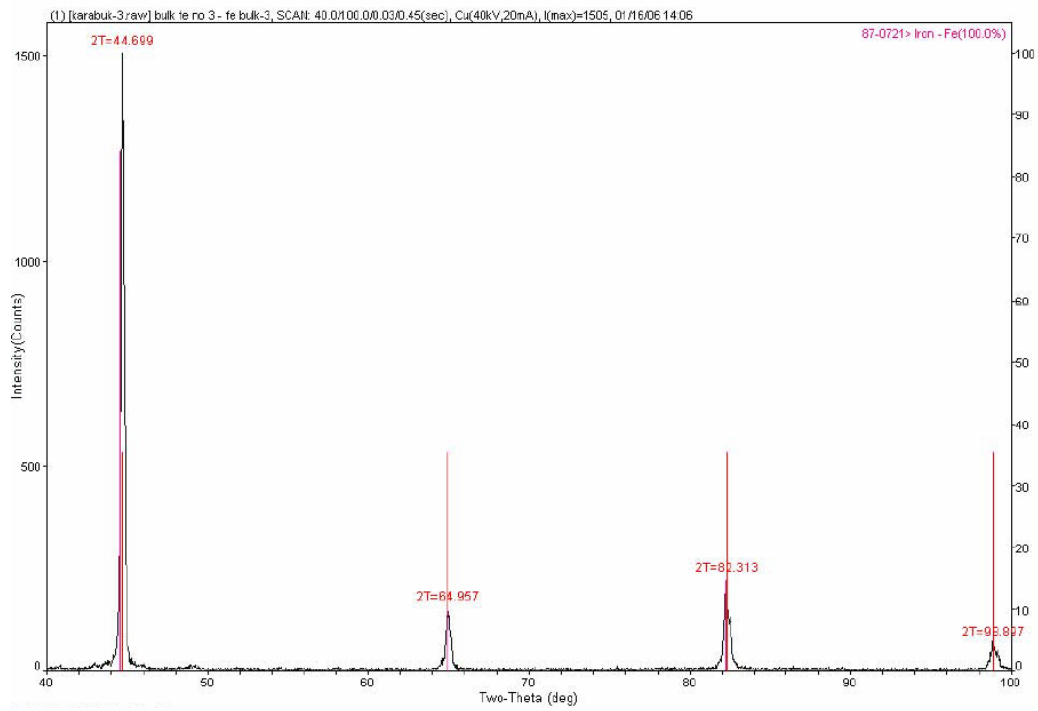
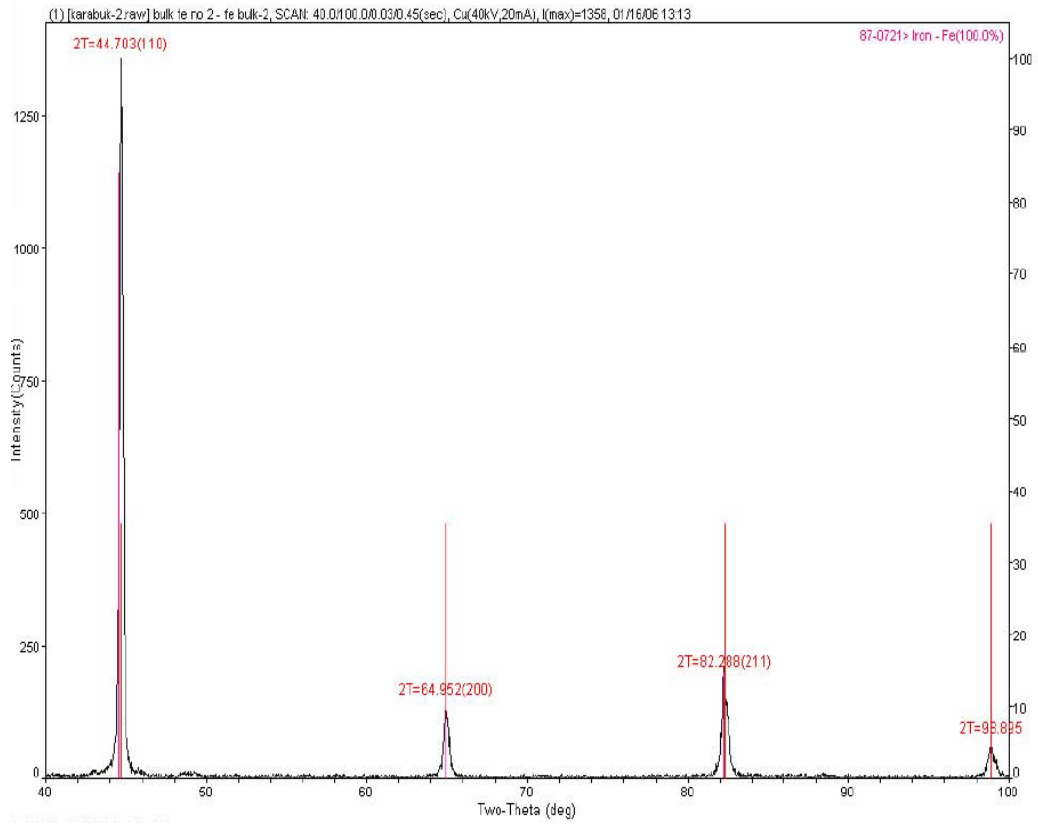
6.2.4. XRD analizleri

Elde edilen XRD sonuçlarında belirgin olarak fazlar okunamadı. Bu sonuçlarla beraber mikroyapı analizleri incelendiğinde fazlar hakkında daha kolay yorum yapılabilmektedir.

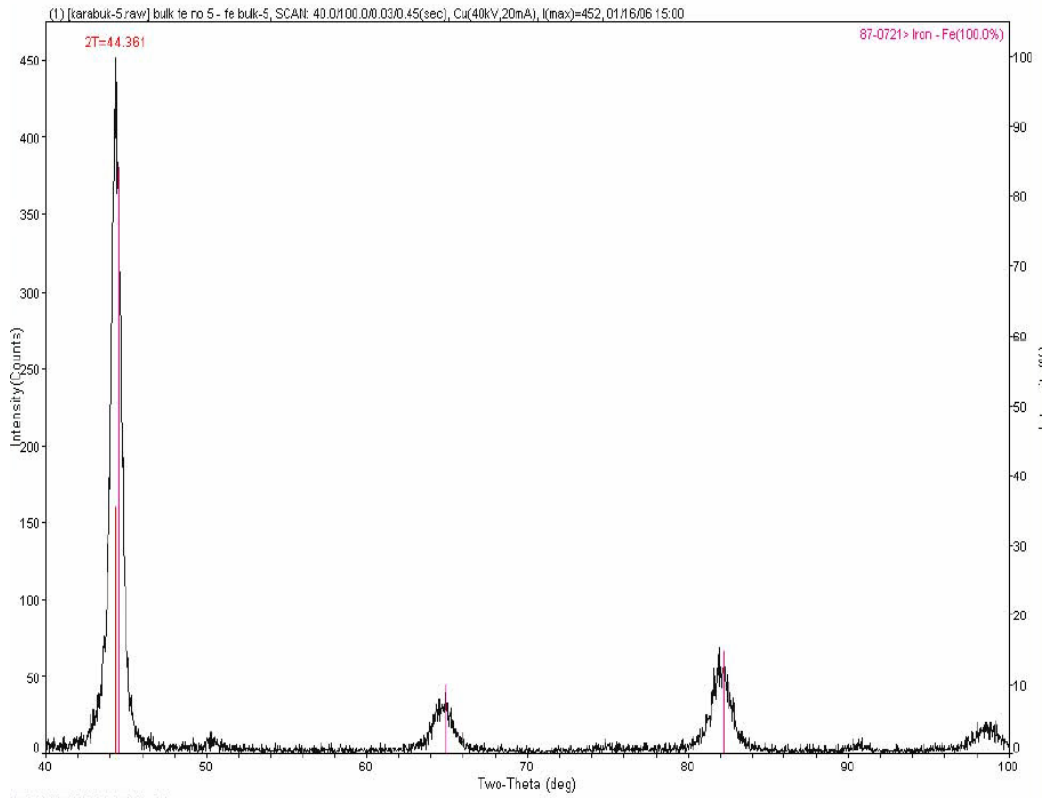
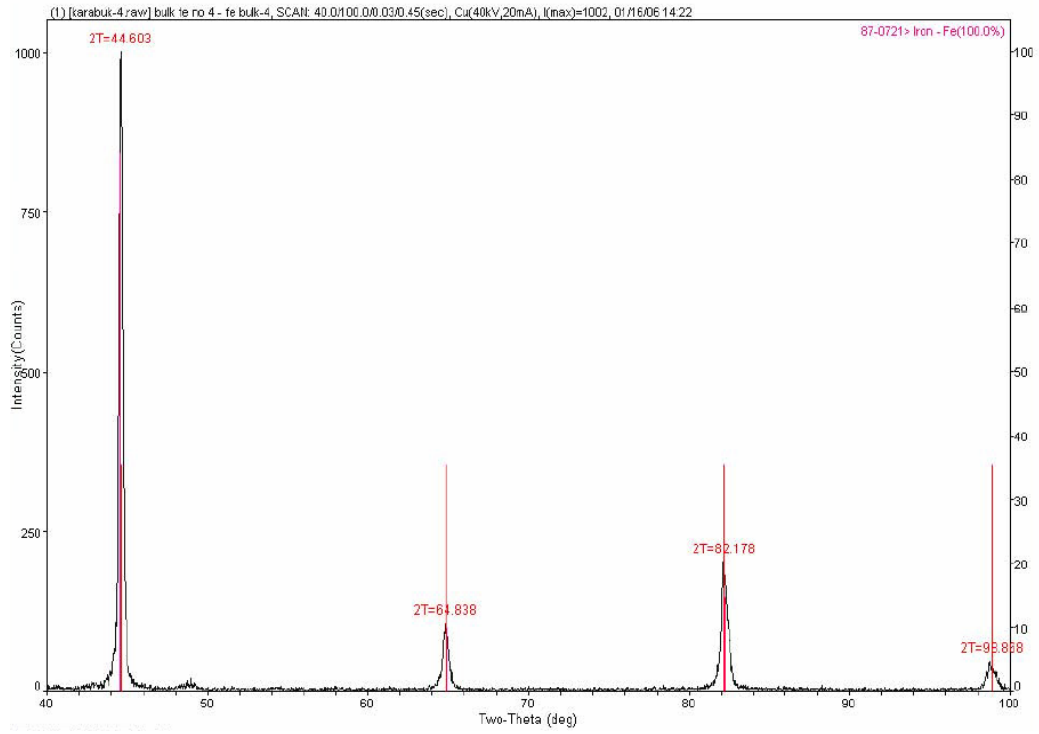
Suda soğuyan 5.numunenin XRD analiz sonuçlarındaki fark çok açıkça görülmektedir. Daha düzensiz ve diğer analizlerden belirgin farklarla ayrılmış bir grafik ile karşılaştık. Bununla birlikte diğer analizlerde 3 no'lu numunenin grafiğinin 2. ve özellikle 3. piki ile 4 no'lu numunenin 2. ve 3. pikleri arasında daha belirgin farklar görüldü. Bu farkın numunelerin mikroyapılarında daha belirgin farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.30.1 No'lu numunenin XRD sonuçları



Şekil 6.31. 2 ve 3 No'lu numunelerin XRD sonuçları



Şekil 6.32. 4 ve 5 No'lu numunelerin XRD sonuçları

6.2.5. Ağırlık düşürme (sadme) testi

Yapılan testler sonucunda havada kontrolsüz ve suda soğutulan numuneler sadme testi sonucunda kırıldılar. Izgarada kontrolü soğutulan numune ise uygulanan sadme testi sonucu kırılmadığı belirlendi. Bu sonuçlar çentik darbe mukavemeti deneyinde görülmüştü. Tablo 6.8 ve Şekil 6.17'de alınan sonuçlardan ızgarada soğuyan 4. numunenin en iyi çentik darbe mukavemeti değerleri verirken, diğer havada kontrolsüz soğuyan numuneler ise % 20'lere varan oranlarda daha düşük değerler vermişlerdir. Ray mantarına düşen bilyenin ezme oranı rayın sertliğini belirler. Sadme testinde ray numunesinin eğilme oranı ve ezilme gibi deforme olma oranları ray numunesinin mukavemeti ve kimyasal oranı hakkında bu konuda tecrübeli teknisyenlere fikirler vermektedir. Sadme testi TCDD şartnamesinin en önemli maddelerinden biridir [51]. Bu testin sonucu, diğer bütün deneyleri doğrular.

6.2.6. Haddehane deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi

- **1. Numune:** Hızlı soğutmanın ray numunelerinin metalografik yapısını düzenli perlitik yapıdan düzensiz dağılmış kaba perlitik yapıya, daha hızlı soğumalarda ise beynitik ve martenzitik yapıya kaydırıldığı tespit edildi (Şekil 6.27 ile 6.14,15,16 arasındaki farklar). 1. numunenin mikroyapısında taneler homojen dağıldı ve perlitik yapı vardı. Ferrit dağılımının daha düzenli olduğu göze çarpmaktaydı. Perlit lamelleri arasındaki mesafenin azlığı ve siyah bölgelerin azlığı numunenin daha düzenli bir perlitik yapıya sahip olduğunu belirtmektedir (Şekil.6.14).
- **2. Numune :** Siyah ve beyaz bölgelerin daha düzensiz dağıldıkları, perlit lamelleri arasındaki mesafenin daha açık olduğu gözlenmektedir. Yer yer yığılmaların ve yönlennmelerin olduğu bu numunede homojen bir yapıdan bahsetmek oldukça zordur.
- **3. Numune :** Suda soğutma dışındaki en kötü mikroyapıya sahiptir. Uzun hat boyunca uzanmış sementit çubukları kaba perlit belirtileri olup, perlitik yapının homojen dağılmamış şeklini ifade etmektedir. Perlit lamelleri arasındaki mesafenin

gittikçe açıldığı ve Fe_3C yığılmalarının başladığı görülmektedir (Şekil.6.16). Ayrıca bu mikroyapılarda siyah noktalar halinde oksit inklüzyonları görülmektedir.

• **4.Numune** : Dünyada yaygın olarak kullanılan perlitik ray yapısını sergilemektedir. Diğer numuneleri, standart ray numunesi olan 4. numuneyle karşılaştırdığımızda daha belirgin farklar görebilmekteyiz. Düzgün ve sık dağılmış lameller mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir (Şekil 6.27). Fakat Şekil 4.30 ve Şekil 4.31 ile karşılaştırdığımızda ise daha fazla iyileştirmelerin yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

• **5. Numune** : İğnesel martenzitik yapı açıkça görülmektedir. Koyu ve düzensiz yapısı ile martenzitik yapının bütün belirtilerini gösteren 5. numune, diğer numunelerden kolayca ayırt edilebilmektedir (Şekil 6.20). İzotermal soğuma eğrileri (TTT diyagramları) kullanılarak yapılan incelemelerde ray numunesinin olması gereken fazlar hakkında bilgi edinmek mümkün olmaktadır.

• Şekil 4.17 ve Şekil 4.19 incelendiğinde, ötektoid sıcaklığından hızla $550-600^{\circ}C$ 'ye soğutulan ve bu sıcaklıkta mümkün olduğu kadar uzun süre bekletilen numunelerde perlit oranının yüksek ve ince perlit mikroyapısının daha fazla olduğu [41], perlitin mekanik özellikleri ne derece etkilediği Şekil 4.18 ve Şekil 4.20'den açıkça anlaşılmaktadır. Elde ettiğimiz mekanik test sonuçları bu görüşümüzü desteklemektedir.

• Kontrolsüz hızlı soğuma sonunda malzemenin kopma uzamasında yaklaşık % 57 azalma, sertliğinde ise 10 BHN kadar bir artma görüldü. Sertlik değerleri havada hızlı soğuyan numunelerde ızgaraya göre daha yüksek çıkması rayın aşınma mukavemetini olumlu etkilerken, tokluk değerinde ciddi düşüslere sebebiyet vermektedir. Tokluğu ise soğutma hızına paralel olarak $9-4 J/cm^2$ değerleri arası azalma gösterdi. Çekme mukavemeti ise havada en hızlı soğuyan ve ızgarada soğuyan numunede $967-1030 N/mm^2$ arasında değerler gösterdi. Soğuma hızının artması sonucu ray numunesi sadme testinden geçememektedir. Homojen dağılıma sergilemeyen ve yer yer beynit içeren perlitik mikroyapı malzemenin tokluğunu yaklaşık ortalama %18 oranında düşürmektedir

- Soğuma hızlarının kükürt dağılımına kötü yönde bir etkisinin olmadığı anlaşıldı.
- XRD analizlerinde her bir numune için grafik elde ettik. Bu grafiklerden doğrudan faz oranlarını anlamak mümkün olmadı. Genelde incelediğimiz mikroyapılar ve elde ettiğimiz mekanik test sonuçları XRD sonuçları ile paralellik arz etmektedir.
- 5. numunenin içyapısı için Şekil 6.30-32’i incelendiğinde diğerlerinden bariz olarak ayrıldığı görülmüştür. Bu grafikte pikler belirli olmayıp, bir düzensizlikten veya bozukluktan bahsedebiliriz. İğnesel yapının XRD analizini bu şekilde değiştirmesi enteresan olarak karşılandı.

BÖLÜM 7. TARTIŞMALAR

Yapılan deneyler sonucunda numunelere kontrollü soğuma uygulanmadığı ve rayların kırıldığı belirlendi. Kardemir bünyesinde ray üretimi genelde yaz aylarında gerçekleşir. Burada daha yavaş ve daha ılık ortamların meydana getirilebilmesi için yaz ayları seçilmektedir. Zira yaz aylarında hol daha sıcak olduğundan raylar daha yavaş soğurlar. Çok nadir olmak üzere kış aylarında üretim yapılır ve doğrultma ünitesinde kırılan rayların firesi dikkate alınarak böyle bir karar verilir.

Burada rayın, % 0.8 gibi yüksek karbon içerdiğinden suda soğutma sırasında 780 BHN gibi çok sert bir ray numunesi elde ettik. Bu şekilde bu malzemeyi işlemek veya numune almak bile mümkün olmadı. Yer yer çatlaklar hasıl oldu. Bu çatlakların zamanla ilerlediğine kulaklarımızla bile şahit olduk. Böyle bir ray elimizden düşünce bile kırılıyordu. Bu tarz bir soğutma Şekil 4.23'de gösterildiği gibi, günümüzde kontrollü bir şekilde ve sadece mantarlara uygulanmaktadır [20,35].

Şekil 6.25 ve Şekil 6.29'da görüldüğü gibi, malzemelerde ızgarada yavaş soğutma sonunda perlitik bir yapı elde edildi. Havada soğuyan malzeme ideal değerler olan min. 245 BHN civarından daha fazla bir sertlik verirken, sac kısmı dediğimiz bölgede sertlik değerleri % 8 kadar artmaktadır. O bölgelerin daha ince olmasından dolayı soğuma sırasında daha hızlı soğuyup, daha çok sertleştiği düşünülmektedir. Bu da sademe testinde kırılmasına sebebiyet verdi. Doğrultma ünitesinde yapılan gözlemlerde kırılmanın genelde sac diye adlandırdığımız bölgede başladığı tespit edildi.

Doğrultma ünitesine sehim, burukluk ve eğrilik gibi hatalar bakımından bozuk gelen rayı doğrultmak için daha fazla deformasyon gerekmektedir. Böylece, doğrultma sırasında bobinler arasında deformasyon sertleşmesine uğrayan ray numunesi daha

kırılgan hale gelmekte ve kırılmaktadır. Bütün bunları daha iyi kavramak için bazı metalurjik olayları incelemek gerekti.

7.1. Raylarda Mikroyapı Etkisi

Perlitik mikroyapı dünya çapında üretilen raylarda en çok görülen mikroyapıdır. Bununla beraber östenitik, beynitik, düşük karbonlu martenzitik fazlı veya soğutulmuş ve temperlenmiş ray uygulamaları da bulunmaktadır [54].

- **Östenitik Mikroyapı:** Bu yapı daha çok geçiş -makas yapılarında kullanılır. Bu mikroyapıya sahip rayların üretimi yılda birkaç bin tonla sınırlandırılmıştır. Bu yapıda %1.2 C ve %12-14 Mn bileşiminde bir yapı seçilmiştir. Östenit elde etmek için 1000 °C'den su ile soğutulmalıdır. Son yıllarda British Steel ve British Rail %0.7 C'lu ve % 14-16 Mn 'lı rayı suda soğutma yapmadan östenitik olarak elde etti [32]. Düşük karbonlu östenitin en önemli avantajı kaynak yapıldığında manganez ile alaşımlandırılrsa bile stabil yapıda kalmasıdır. Bu yüzden %1.2 C'lu formu kaynaklanamazken, % 0.7 C ray kaynaklanabilir ve tamir mahiyetinde işlenebilir özellikler sergiler. Bununla birlikte bunlardan hiçbiri standart karbonlu çeliğin verdiği başarılı kaynaklanabilirlik etkisini verememekte ve kırılganlık yapan bir miktar karbür bırakmaktadır [55].

Kullanımda östenitik raylar karbon çeliği raylarına göre oldukça farklı davranmakta ve yumuşak yapısıyla yaklaşık 300 N/mm²'lik bir akma mukavemeti vermektedir. Ray kullanımda iken bir miktar sertleşme olup, 500 BHN sertlik değerine erişmektedir. Bu malzeme plastik akma etkisini göstermekte olup zor şartlarda uzun aşınma ömrü sergilemektedir. Düşük akma mukavemeti ağır dingil yüklerinde kısıtlayıcı olmaktadır, mantar kısmının sertleşmesiyle daha ileri derece tahribatı durdurur ve verimli uygulamaları devam eder. Östenitik raylar düşük akma mukavemetiyle ilişkili olarak çok düşük kırılma direncine sahiptir. Delme işlemi esnasında çok dikkat edilmelidir, zira en ufak hata kırılmaya sebebiyet verebilir. Günümüzde üretilen yüksek manganezli östenitik raylar istenilen tokluğu vermekten uzaktır. Rayda tokluk sıkıntısı ve kırılma problemi bugün de mevcuttur [56].

• **Beynitik Mikroyapı:** Düşük karbonlu beynitik yapı darbelere karşı mukavim olup, tok yapıdadır. Ön ısıtmaya gerek kalmadan kaynaklanmaya hazırdır. Dezavantajı perlitte aynı aşınma mukavemetini vermek için fazla serttir [57]. Yaptığımız deneylerde Şekil 6.15-16'da görülebileceği gibi 2 ve 3 no'lu hızlı soğutulmuş ray numunelerinin mikroyapısında beynitik yapıya geçiş olara niteleyeceğimiz oluşumlar saptandı. Fakat ideal perlit yapısındaki optimum özellikleri vermekten uzaktı.

• **Temperlenmiş Martenzitik Yapı:** Temperlenmiş martenzit ray çelikleri sertlik değerleri içinde iyi tokluk vermektedir. Mühendislik uygulamaları ve mekanik özellikleri bakımından üstün özellikler vermektedir. Bu formda ilk raylar 1970'lerin başlarında üretildiler. Fakat beklenmedik şekilde çabuk aşındılar. Genel mühendislik uygulamalarında temperlenmiş martenzit yağlanmış olup, uygulanan yükler yüzey filmini kıramamaktadır. Ray uygulamasında ise ray –teker kontak zonu çok etkili olup bu zonda metal akışı olmaktadır. Bu yüzden bu formlarda aşınmalar olmaktadır [58,22].

• **Perlitik Mikroyapı:** Yüksek karbon oranına rağmen bu form yüksek aşınma direnci vermekte olup, standart ray formunu ifade eder mikroyapıdır. Yumuşak ferritik yapı içine serpilmiş ince uzun sert demir karbürler şeklinde yapılmışlardır. Eğer bu ince uzun şekiller daha ince bir hale kimyasal veya ısıl işlem sayesinde dönüştürülürse daha yüksek aşınma direncine sahip bir yapı meydana gelir. Şekil 4.25 bu tip rayların mikroyapısını göstermektedir. Yapılan deneylerde perlitik yapıyı elde etmek için 450-550 °C'ye östenit bölgesinde hızla düşüp burada uzun sürede izotermal soğuma yapmanın ve rayları yavaş soğutmanın raylarda burulmaya ve daha az deformasyona sebebiyet verdiği ve daha az doğrultma ihtiyacı gösterdiği bulunmuştur [44] . Izgarada yapılan deneylerde bu şartlar oluşturmaya çalışılmıştır. Şekil 6.29 bu tip perlitik mikroyapıları vermektedir.

4. Bölümde Şekil 4.18 ve 20'de perlitik yapının rayın mekanik özelliklerini nasıl etkilediği gösterilmektedir. Akma dayanımı, sertlik ve buna bağlı aşınma miktarının perlitik yapıda en ideal düzeylere ulaştığı açıkça görülmektedir. C miktarı % 0.8 olduğunda perlit miktarı daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Rayın geometrisi gereği mantar diğer bölgelere göre daha kalın olduğu için daha geç soğur. Raylar soğurken belli oranda boyutsal olarak küçülürler. 20 metreye kesilen raylar yaklaşık olarak 20 cm kadar boyuna küçülür. Fakat bu küçülme ve çekme sırasında mantar diğer bölgelere nazaran geç soğuduğunda burulma ve sehimlere sebebiyet vermektedir. Daha hızlı soğumanın bu bölgelerin daha düzensiz ve homojen olmayan mikroyapıya sahip olduğu, lameller arası mesafenin açıldığı, kaba perlitik yapıya geçişi ifade eden iğnemsî sementit çubuklarına (Şekil 6.16.) neden olduğu görüldü. Şekil 4.19'da görüldüğü gibi, 550-600 °C civarında izotermal bir soğutma yapmak en optimum perlitli sağlayacaktır. Daha hızlı soğutma yapmak Şekil 6.16 ve 17'de görülebileceği gibi perlitik yapıdan uzaklaşmaya sebebiyet verir. Bunu engellemek için soğutma ızgaralarının etrafı metal muhafazalarla çevrildi ve ızgaraya istiflenen rayların birinin mantarı diğerinin ayağına temas ettirilerek daha yavaş bir soğuma sağlandı.

Ayrıca ray mantarına istenilen aşınma direncini vermek için de perlitik yapı elde edilmelidir. Yapılan çalışmalarda daha iyi perlitik yapının daha iyi sertlik ve aşınma direnci verdiği tespit edilmiştir. Bununla beraber perlit dönüşümü düşük sıcaklıklarda olmalıdır. Perlit bölgesine yüksek soğutma hızından sonra düşük dönüşüm sıcaklığında perlitik yapı elde edilmelidir [45].

Sade karbonlu manganez çelikleri iyi kullanım ömrü ve kaynaklanabilirlik vermekte iken, bütün raylar çentik etkisine karşı hassastırlar. Bu önemli bir problem olup, bu konuda mühendislik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Hızlı soğumanın çentik darbe mukavemetini % 27'den fazla azalttığı Şekil 6.17'de görülmüştür. Bunun sonucunda raylar sademe testinden geçememekte ve TCDD tarafından kabul edilmemektedir [51].

Ray kesiti nasıl alınırsa alınsın seçimde akis yükü, ray destek geometrisi, ve bakım gereksinimleri önemlidir. Bu seçimde ray yüzeyinin nasıl olması gerektiği çok önemlidir. Son yıllarda ray üreticileri bu konudaki ihtiyaçlara en iyi şekilde cevap verebilmekte ve bu konuda çok az şikayet almaktadırlar [59]. Sertlik fazladan maliyeti yükseltse de bunun getireceği katkılar yanında bu, doğru ray seçiminden dolayı ihmal edilebilir cinsten olmaktadır. Ray seçiminde kalite arayışı çelikhaneden

başlar.Yüksek fırından gelen ergimiş metal BOF çeliği olarak alaşımlandırılmalıdır. Bu, çeliğe istenmeyen kalıntı elementlerin geçmesine müsaade etmeyecektir. BOF'tan sonra vakumla gaz giderme, arkasından köntünü döküm ve yavaş blum soğuma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Her blum iç ve dış yüzey olarak hatalardan arınmış ve kabul edilebilir kimyasal bileşim aralığında olmalıdır. Blumlar universal tezgahta haddelendikten sonra otomatik test ünitelerinin olduğu bir dizi testten geçmelidir. Ultrasonik test ünitesi, nihai ürün doğrultmadan sonra ve yüzey kontrolü yapabilen test merkezidir. Bu işlem bütün raylar için tavsiye edilmemektedir, fakat uluslararası normlara uyulması gerektiği de bir gerçektir [60,61].

Bu ray üretim metodu sayesinde ray çeliği; inklüzyonlardan, segregasyon ve yüzey hatalarından görülen ve fark edilmeyen birçok hatadan arınmış olacaktır. Bununla beraber hala dikkate değer bir şekilde mantar aşınması, yan kesme, yüzey hataları, kaynak edilebilme zorluğu taşıma ve kırılma sıkıntıları devam etmektedir [56].

Raylarda olan sıkıntıları ve mevcut ray hatlarındaki yenileme çalışmalarındaki problemleri çözmek günümüzde ciddi problem teşkil etmemektedir. Bunlara günümüzde çözüm bulunmaktadır [62].

7.2. Ray mikroyapısının iyileştirilmesi

- **İnklüzyonlar:** Çeliğin mantar kısmında oluşan yorulma çatlaklarının sebebi olarak metal dışı inklüzyonları gösterilmektedir. İnküzyonlar çatlakların başlama noktası olduğundan dikkatleri üzerinde toplamaktadırlar. Bu yüzden inklüzyonların miktarını azaltmak için alınan her mesafe büyük önem taşır. İnküzyonların çeliğin yorulma mukavemetini kötü yönde etkilediği bilinen bir konudur. Şu da bir gerçektir ki, bütün inklüzyonlar aynı yönde öneme sahip değildirler. Başlıca inklüzyonlar sülfür, alumina ve silikatlardır. Yapılan inklüzyon testinde Tablo 6.4'de sülfür ağırlıklı inklüzyonlar bulundu. Bu inklüzyonların giderilmesine yönelik yeni yatırımlar ihale aşamasındadır [7].

Sülfitler çeliğin yorulma mukavemetine zararlı yönde etki etmez. Aksi olarak çeliğin yorulma mukavemetini yükseltir. Çünkü soğuk halde yüksek süneklikleri vardır ve daha tehlikeli inklüzyonları sararak kuşatırlar. Sülfid mikro çatlak yapısını azaltır. Bununla birlikte sertlik, sülfür miktarı ve aşınma arasında bir ilişki mevcuttur. Yapılan çalışmalar, daha yüksek sülfür miktarının daha yüksek aşınma verdiğini ortaya koymuştur [63].

İnküzyonların içinde en tehlikeli olanlar sert oksit tipleri olan alümina ve silikatlardır. Kabuk oluşumu ve hadde yönünün tersinde oluşan hatalar ya büyük oksitlerden veya 80 µm çapında 1 mm uzunluğundaki inklüzyonlar olarak tespit edilmiştir [64]. Şekil 6.3'de görülen makroyapıda bu tip hatalar tespit edilmemiştir.

Ray üretiminde sürekli dökümün kullanılması ve deoksidasyon için Al kullanılmasının durdurulması sonucunda makro yapıda iyileşmeler kaydedildiği gibi oksit inklüzyonların morfolojisi de değişmiştir. Kırılgan olan ve keskin köşelere sahip olan alumina yerine daha uygun şekilli küçük silikatlar elde edilmiştir Ray üretiminde kullanılan çeliklerde alumina inklüzyonlarını önlemek için O₂ giderme işleminde kesinlikle Al kullanılmamalıdır. Pratikte denge değerleri elde edilemediğinden O₂ değeri 10 ppm ile 20 ppm arasında değişmektedir. Eğer çelik üretiminde Al kullanılmadığı halde halen çözülmüş O₂ varsa vakum işlemi ile O₂ miktarı daha düşük değerlere çekilebilir. Ortamı atmosferden kısmen izole etmek için tandište sıvı çelik üzerine çeltik kabuğu dökülür. Sıvı metal üzerinde yanan kabuklar bir tabaka oluşturarak kısmi izolasyon sağlarlar. Bu yöntem Kardemir çelikhanesinde rayda gazsızlaştırma için kullanılan bir yöntemdir [65,28].

Birçok çelik üreticisi halen oksijen giderme işlemi için alüminyum kullanmaktadır. Bu element çok küçük fakat çok sert ve kırılgan olan alümina oluşturmakta bu da ray çeliğinde kırılmalara karşı zayıf noktalara sebep olmaktadır. Bunun tek çözümü düşük alüminyum (%0.004 Al gibi) değerleri veren özel yöntemler kullanmaktır. Potadaki O₂ giderme işlemi mangan, silis, kalsiyum ve V, Zr, Ti, Mo'dan herhangi birini içeren alaşımlar ile yapılır. Fakat deoksidasyon için kullanılan bütün alaşımlarda alüminyum bulunduğundan inklüzyon oluşumunu ve döküm esnasında nozulların tıkanmasını engellemek için daha özel alaşımlar kullanılmalıdır. Oksijen

giderme işleminin fırında ferromangan ve potada ferrosilis ve silikomangan ile yapılması sayesinde oksijen giderme süresi azaltılmıştır ve ray çeliği kalitesinde de gelişmeler kaydedilmiştir [32].

Ray çeliklerinde vanadyum içeren konverter cürufu kullanılarak alaşımlama işlemi sayesinde kalitenin arttığı görülmüştür. Ferrovanadyum yerine cüruf kullanılması vanadyum kayıplarını ve mikro alaşımlama maliyetlerini azaltmıştır. Vanadyum içeren alaşımlarla gerçekleştirilen deoksidasyonla üretilen rayların ömürleri ferrosilis veya alüminyum kullanılarak oksijeni alınan raylardan 2 kat daha fazladır.

SiVCa Alaşımı ile oksijeni alınan ray çeliklerinin çarpma mukavemet değerlerinin düşük olmasının sebebi yetersiz oksidasyon, ilk östenit tane büyümesi, az miktarda karbonitrür ve vanadyum ve metal dışı inklüzyonların yapısında, dağılımında ve miktarındaki değişikliklerdir [31].

Sonuç olarak daha homojen dağılımlı ve daha küçük boyutlardaki inklüzyonlar ray üretimi için tavsiye edilmektedir. Diğer taraftan inklüzyonların oluşumunu kolaylaştıran bir husus, sıvı metalin bir yerden başka bir yere aktarılırken reoksidasyona maruz kalmasıdır. Bu risk potadan tandişe ve tandişten kalıba sıvı metal aktarımı esnasında atmosferik reoksidasyonu refrakter tübü sistemi, grafitli alumüna tübü ile birlikte zirkon takviyeli cüruf ve seramik lifli gasket kullanılarak azaltılır [45].

Tandış şarj edilmeden önce 900 °C ye kadar ısıtılmalı ve kalıp tozu yağlaması ile blum yüzeyi kalitesinin arttırılması yoluna gidilmelidir. 1986'da oksitlerin nozüllerde birikmeden sıvı metalin içine dökülmesini sağlayabilecek döner durdurma valfi kullanılmaya başlanılmıştır. Bu önlemlerin alınması sayesinde kükürt ve oksit miktarında değişimler kaydedilmiştir.

• **H₂ giderme:** H₂ sıvı metalde atomik H₂ olarak absorbe edilir. Ostenit fazındaki H₂ halen çözünebilir durumda iken soğudukça ve perlit oluşumu esnasında çözünürlük azalır. Bundan başka düşük sıcaklıklarda hidrojenler birleşerek moleküller oluştururlar. Atomların birleşerek moleküler oluşturduğu alanların etrafındaki H₂

miktarı azalır. Buradaki atomik hidrojen miktarını eşitleyebilmek için difüzyon başlar. Fakat bunun sonucunda sadece molekül H_2 miktarı artar. Moleküller H_2 oluşumu bu şekilde devam ederek moleküller rayın dışına difüzyon ile atılamayacak kadar büyür ve sonuçta moleküller hidrojenlerin oluşturduğu gazların basıncı çatlak oluşturabilecek dereceye kadar çıkar. Daha sonra bu çatlaklar rayın kullanılmaz hale gelmesine sebep olur. Kardemir’de yakında kurulacak olan H_2 giderme ve desülfirizasyon tesisi raylarda kalitenin artırılması amacıyla matuf olacaktır.

Yavaş soğutma hızlarında ray içindeki bütün halindeki O_2 , H_2 ’nin çeriden dışarıya herhangi bir mikro çatlak meydana getirmeden yayılmasını sağlar. Eğer soğutma hızı yüksek ise metal içinde serbest kalan H_2 mikro çatlaklar oluşturur.

Bu serbest hidrojen metalin en çok tok olduğu yerde büyük miktarda inklüzyon olan yerlerde veya C, Mn, Cr ile P segregasyon bantlarının olduğu yerde oluşur [62].

Mikro çatlakların soğuma periyodunda oluşmasının gerekmediği vurgulanmalıdır. Çelik tipine ve içindeki hidrojen miktarına bağlı olarak belli bir kuluçka devresinden sonra çevre sıcaklığında mikro çatlaklar oluşabilir. Bir çok üretim metodu için aşağıda önerilen noktalar yerine getirildiği takdirde H_2 miktarında azalma görülebilir:

- Zayıf hidrojenleyici kireç veya ısıtılmış kireç taşı kullanmak,
- Paslanmamış hurda kullanmak,
- Dekarbürizasyon bitimi ile potayı doldurma arasındaki zamanın azaltılması,
- İlavelerin kuru potada yapılması. Bu özellikle; grafit karburizasyonu için çok önemlidir.

• **Azot** : Çeliğin içindeki % 0.007-0009 oranındaki azot rayın soğuğa karşı direncini artırır. Örneğin, Kuznetsky Çelik fabrikasında üretilen çeliklerde azot miktarının % 0.0003’ten % 0.0008’e çıkması ile $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de tokluk değerinin 2.5 kat arttığı tespit edilmiştir [43].

7.3. Ray Sertliğinin Önemi

Rayların tamamında yüzey aşınmasına karşılık perlitik yapı kullanılır. Rayın aşınması perlitik yapının sertliğine bağlıdır. Perlitik yapıdaki sertlik değeri de lameller arasındaki uzaklık ile orantılıdır (Şekil 4.17). Rayın kimyasal yapısında yapılacak değişiklikler ile maksimum 340-355 BHN sertlik değerine ulaşılabildiği halde ısıtılma işlemi 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 verecek kadar düşük olmalıdır [19,20,21]. Elde ettiğimiz sonuçlara göre hızlı soğuma sonucunda sertlik artmaktadır. Şekil 6.27'ye göre sertlik hızlı soğumayla artarken, Şekil 6.23'göre hızlı soğumayla kopma uzaması % 45'lere varan değerlerde azalmaktadır. Şekil 6.17'de de çentik darbe mukavemetinin hızlı soğuyan 2 ve 3. numunelerde oldukça düşük değerler verdiği belirlenmiştir. Şekil 4.19'da yüksek sertlik değerlerinin hangi fazlarda elde edildiği gösterilmektedir .

- **Düz Raylarda** : Sade karbon rayları düz raylar için genellikle uygundur. Akis yükleri 20 ile 25 ton arası BS11 normu ile 20 milyon gross ton/yıl ifade edilmektedir. Bundan 50 Mgt'a (Megaton; ton.10⁶) kadar A sınıfı 280 BHN verimlidir. Biraz daha ağır yükler için 300 BHN gereklidir. Eğer 100 Mgt söz konusu ise 320 BHN gereklidir. Bu durumda bu ray mevcut kompozisyonla elde edilemez. Bunun için % 0.3 Cr ve % 0.05 Mo ilavesi gerekir ve bu tip ray bir takım kaynaklama problemlerine sebebiyet vermektedir [58].

- **Virajlarda Ray Seçimi** :Virajlar için yan kesmeleri önlemek ve daha uzun kullanım ömrü için daha sert raylar kullanılmalıdır. Normal raylar sadece sığ yerler ve düşük yükler için uygundur. Akis yükü 25 tonu bulduğunda "A" sınıfı seçimi yapılmalıdır. Sert virajlar için 350 BHN sertlik gerekmektedir.Bu sertliği elde etmek için ısıtılma işlemi yapılmalıdır. Normal durumlarda 280 BHN'den 350 BHN'ye çıktığında aşınma direnci 1.5 ile 3 kat artmaktadır. Bu yüzden aşınma direncinin önemli olduğu yerlerde bu sistemin kullanılması maliyeti telafi edecektir.

Yan kesme de sertlik ile aynı geliştirme safhalarını gösterir. Bununla birlikte daha düşük akis yüklerinde aşınma tipinin değişimiyle istenmeyen gelişmeler olabilmektedir. Bu durumda ray ömrünün artırılması çok çeşitli tekerlek sıkıntılarına sebebiyet vermektedir. Bu yüzden daha ufak derecedeki hatalar kabul edilmekte ve önemsenmemektedir.

Raylarda sıkça rastlanan yüzey hataları da yine sertliğin artırılması ile azaltılabilir. Fakat bu hatayı düzeltmek için sadece sertliği artırmak yeterli olmayabilir. Daha önce aşınma kriterlerinden bahsedilmişti. Burada tavsiye edilen malzemenin aşınmayacak kadar sert ve yüzey hatalarından kırılma ve çatlak ilerletmeyecek kadar yumuşak olması gerekir [43,44]. Bu şartlara Şekil 4.19'da gösterildiği gibi IT eğrisinin burun kısmında yaklaşık 550 °C'de uzun zaman aralığında yavaş soğutma yapılarak ulaşılabilir. Bu şekilde elde edilen perlit fazının mekanik özellikleri nasıl etkilediği Şekil 4.20'de verilmiştir. Uzama ve çekme dayanımı en iyi şartlara perlit fazında ulaşmaktadır. Şekil 6.29 ile Şekil 6.15-16 arasında görülen farklar perlitik mikroyapıya soğutma hızının etkisini anlatmaktadır.

Standart raylardan daha sert rayların kullanımının çok yüksek getirilerinin ve faydalarının olduğunu belirtilmişti. Bununla birlikte eğer uygun şartlarda kullanılmazsa sadece hesapta olmayan harcamalar yapılmış olmaz, aynı zamanla çok kısa servis ömrü tehlikesiyle karşılaşılır. Bu yüzden ray sertliğinde en fazla 300-400 BHN aralığı kullanılmalıdır [66]. Eğer yoğun trafik ve hesap edilenden daha yüksek akis yükleri söz konusu ise daha sert raylar ray ömrünü artıracaktır. Bu tür rayların üretimi için bahsedilen sistemde daha yeni çelik üretim tesisleri ve haddehaneler kullanılmalıdır [59,35]. Bu tür raylarda iç hata bulunması zorlaşmaktadır. Böylece sertlik sayesinde aşınma ve yan kesme sıkıntısı hemen hemen önlenmektedir [67]. Yüzey hataları ray metalurjisinin izin vereceği minimum seviyelerde ve potansiyel hatalar sadece yüzeysel olacaktır. Yüzey hataları ise sadece mantar aşınma ve öğütülme şeklinde olacaktır [32,44].

Yapılan hesaplamalar sonunda eğer rayda oluşacak trafik 30-50 Mgt yükselecekse rayda bütün iç gerilmeler ve hatalar giderilmiş olmalıdır [53].

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda faydalı sonuçlar elde edilmiştir. Yeni dünya düzeninde layık olduğu yere gelmeyi amaçlayan Türkiye sanayi devrimini yapmak zorundadır. Bu amaçla yeni yatırımlar yapılmalı ve mevcut tesislerini en son yeniliklere göre modernize etmelidir.

Nerdeyse Cumhuriyetimizle yaşıt olan Kardemir son dönemlerde attığı adımlarla göz kamaştırmaktadır. Kok bataryalarından başlayan yatırım süreci Haddehanelerle devam etmektedir. Bütün Karabük ve Türkiye'nin alkışladığı bu yatırım ve modernizasyon hamlesi ülkemiz adına övünülecek bir durumdur. Bu adımlar içinde ülkemiz için hayati bir öneme haiz olan ray üretimi konusunda Kardemir gerekli yatırımları başlatmış olup, mevcut Trio haddehanesini de optimize ederek şu an TCDD kalite normlarında ray üretebilmektedir.

Raylarda geçtiğimiz dönem yaşadığımız doğrultma ünitesinde kırılma problemi üretimi durma noktasında getirmişti. Fire oranları % 40 'lara ulaşmıştı. O dönemde rayların daha yavaş soğutulması sonucunda rayların kırılmayacağı düşünülmüştü.

Yapılan bu çalışmada:

- Rayın kırılmaya karşı ilk çalışmasının çelikhane başladığı tespit edildi. Raylarda H₂ oranı 2 ppm altına düşürülmelidir. Kardemir'in vakumlama tesisi proje aşamasındadır. Ayrıca blum içindeki segregasyon ve inklüzyonların giderilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Özellikle S ve P max. 400 ppm değerlerini aşmamalıdır.

- Üretim sırasında mastarla ölçü toleranslarına dikkat edilmelidir. Dikkat edilmeyen asimetri veya radius hataları kırılmaya karşı zayıf noktalar oluşturmakta ve çentik etkisi yapmaktadır.
- Üretim nispeten daha sıcak veya ılık mevsimlerde yapılmalıdır. Bu konuda gerekli dikkati Kardemir yönetimi göstermektedirler.
- İdeal tav sıcaklığını sağlama adına bütün şartlar yerine getirilmelidir. Ray üretiminde tav son derece önemlidir.
- Rayı haddeleme sırasında soğutma suyunun haddeleme sıcaklığını aşırı düşürmesine imkan verilmemelidir.
- Hol giriş ve çıkışı kontrol altına alınmalı ve holde hava akışına müsaade edilmemelidir.
- Rayların soğutulduğu ızgaranın çevresi muhafazalarla çevrilmeli ve rayların soğuduğu zeminin yerle teması mümkün olduğu kadar az olmalı ve ısı transferine müsaade edilmemelidir. Perlitik yapı oluşumu adına gerekli bütün imkanlar seferber edilmelidir.
- Raylar soğutulurken daha geç soğuyan mantar daha öndeki daha erken soğuyan ayaklara temas ettirilerek daha yavaş bir soğuma sağlanmalıdır. Bu şekilde rayların soğurken en az miktarda burulması sağlanmalıdır. Bu çalışma, soğuma şartlarının ray kırılma eğilimini birinci dereceden etkilediğini göstermiştir.
- Raylar soğuma ünitesinden doğrultma ünitesine dikkatli sevk edilmeli ve deformasyon sonucunda rayın sertleşmesine sebebiyet verilmemelidir. Doğrultma ünitesinde gerekli bobin ayarları tam yapılarak gerekli miktardan fazla ezme verilerek deformasyon sertleşmesine neden olunmamalıdır.
- Soğuma periyodunu doldurmamış rayları sevk etmede aceleci davranan personel uyarılmalı ve muhtemel ray kırılmalarına karşı bilgilendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] İNCE, Y., “Türkiye’de Demir Çelik Endüstrisi Deneyimi ve Bir Sanayi Kenti Karabük”, 1980.
- [2] 1990-1995, Türkiye Demir Çelik İşletmeleri, Karabük Müessese Müdürlüğü Faaliyet Raporları.
- [3] 1995 - 2000 Yılı Kardemir A.Ş Faaliyet Raporları.
- [4] TİRYAKİ, S., "Kuruluşundan Bugüne Kardemir A.Ş.", Kardemir Aylık Haber Bülteni, Sayı 1, 1996.
- [5] TUNCER, E., "Türkiye Demir Çelik Sektörü Yapısı ve Geleceği", Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 2001, s : 10-11.
- [6] Dünya Gazetesi, Demir- Çelik İlavesi, 2001.
- [7] KILAVUZ, O., KARDEMİR A.Ş. Yönetim Kurulu Üyesi ve Genel Müdür, “Özel Değerlendirme”, 2004.
- [8] www.kardemir.com, 25 Mart 2006, 15:00.
- [9] YILMAZ, M., “Metallerin Haddelenmesi”, TDÇİ, İskenderun, 1988.
- [10] WUSATOWSKI, Z., “Fundamentals of Rolling”, Katowice, Derleyen : A. Fuat ERKAL, Demir –Çelik Dergisi Haziran sayısı, s:168-178, 1974.
- [11] POLUHIN, FEDOSOV, KOROLYOV ve MATVEYEV, “Rolling Mills Practice”, Peace Publishers., 1969. Demir-Çelik Dergisi Karabük Ağır Sanayi Mühendisleri Derneği Yayın Organı Sayı :12 s: 185-187, 1981.
- [12] “The Making Shaping and Treating of Steel”, 4. Bölüm, U.S.S. Corporation, Çeviren : Erkan GÜLERGÜN, 2000.
- [13] BLAND, R., and FORD, H., The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tension, 1975, pp: 117-120.

- [14] “Haddehaneler Müdürlüğü Hizmet İçi Eğitim Notları”, KARDEMİR A.Ş., 2000.
- [15] “Kalite Yönetim Müdürlüğü Hizmet İçi Eğitim Notları”, KARDEMİR A.Ş., 2000.
- [16] MARTENS, J. H., and WIRICK, D.P., “Premium Rail Steels for the 21st. Century” Pennsylvania Steel Technologies, Inc.1994.
- [17] INCHINOSE, H., TAKAHARA, J., “An Investigation on Contact Fatigue and Wear Resistance Behaviour in Rail Steel”, Proc 1st. Int. Heavy Haul Conf., Perth Australia, 1978, Session 307, Paper 1.3, pp 1-10.
- [18] KALOUSEK, J., FEGREDO, D., and LAUFER E., Proc. Int. Conf. on Wear of Materials, Vancouver, B.C., pp. 212-231, 1985.
- [19] WU J., SHIH P., “Dynamic Responses of Railway and Carriage Under High-Speed Moving Loads”, Journal of Sound and Vibration, 236, 61-78, 2004.
- [20] ECONOMOPOLOUS, M., 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, pp.143-152. ISS,1990
- [21] 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, Inc,1994.
- [22] PAN, A.V, and SHUMILIN E. N., “ Production of Wear –Resistans Rail at the NTMK,” Tagil Iron and Steel Plant, 1994.
- [23] STEELE, R. K, JOERMS M.W., and MOYAR G. J., “Plastic Deformation of Railroad Rail”, AAR Report R-833, June, 1993.
- [24] TORUN A., Ray Haddeleri Gelişim Süreci ve Teknolojisi, Araştırma Raporu KARDEMİR, 2003.
- [25] BOER, H. (1), MASUMOTO, H. (2), “Niobium in Rail Steel” (1) Dinslaken, Germany, (2) Wajiro, Higas Gafan, Japan, 2002.
- [26] PERLMAN, A. B., 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, 2001.

- [27] TÜVASAŞ, İTÜ, TÜBİTAK, “RAYTAŞ 89, Ulaşımında Raylı Taşıt Sempozyumu”, 1989, Sakarya.
- [28] LE, H., and CLAYTON, P., “ A Statistical Analysis of the Oxide Content of Rail stell” Oregon Graduate Institu of Science Technology Rail Steels Symposium Proceedings, 67-75, 1994.
- [29] OLOFSONN, U., TELLISKVI, T., “Wear and Plastic Deformation of Two Rail Steels – Full Scale Test and Laboratory Study” Department of Machine Design, kth, S-100 44 Stockholm, SWEDEN, 2004.
- [30] BERBER, Y., ÖZTUYAK, Ü., ÖRS, F., KALAYCIOĞLU, O.,”Kardemir’de Ray Üretimi” 3. Demir –Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, S: 15-18, 2005.
- [31] HODSON, W. H., B.Sc.,C. Eng. Paper 3-5, “Metallurgical Aspect of Rail Selection" Track Sector Course, 1989.
- [32] “Steels for Rails,” Encyclopedia of Materials Science and Technology, pp. 1-7, Elsevier Science, H. K. D. H. Bhadeshia, 2002.
- [33] İMER, C. S., “Kardemir Örneğinde Çelik üretim Metodları Arası bir Karşılaştırma” 1. Demir –Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı s: 973-985, 2001.
- [34] CAUSEVİC, M., Der Kalibreur, 17, 1972, Demir-Çelik Dergisi Karabük Ağır Sanayi Mühendisleri Derneği Yayın Organı Sayı : 17 s.155-165, 1983.
- [35] Nippon Steel Corporation, Tokyo “Rails”,1989.
- [36] BEYNON, RJE., "Roll Design and Mill Layout" AISE, Pittsburgh, Pa, 1956
2. Çeviri: Turan İNCEAYAN, Wusatowski, "Haddleme Tekniğinin Esasları", 1989.
- [37] SMS Schloemann-Siemag Aktiengesellschaft, Reference and Information Book, Germany, 2002,
- [38] FELDMAN, Dr. Hugo, Düsseldorf and Hichenbach, "New Possibilities of Modernizing Heavy Section Milis, Particularly in the Beam and Rail Rolling Field" SMS Schloemann-Siemag Aktiengesellschaft, Federal Republic of Germany, 2002.

- [39] TULUMTAŞ, H., “Demiryolları ve Demir Çelik sektörü”1. Demir –Çelik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, S: 89-97, 2001.
- [40] Celsa’s Medium Section Mill 72nd AIKW Conference In Barcelona Spain 2002.
- [41] ASKELAND, D. R., The Science and Engineering of Materials, 255-260, 1995.
- [42] FRANKLIN, F.J. KAPOOR, A., “Representing Microstructure in the Dynarat Wear Model” University of Sheffield, June, 2003.
- [43] ROGOVA, E., ALALKYN V., CHELYSEN, N. A., “Choice of Heat Treatment for Rail Steel to Ensure Cracking Resistance”,1989, pp:115-120.
- [44] DEROCHE, R.Y., “Rolling Contact Fatigue Cracks on S.C.N.F. Conventional Tracks” International Conference on Rail Quality and Maintenance for Modern Railways Operation, Ed: J.J Kalker, D. F. Cannon and O. Orringer Kluwer Academic Publishers,1993, pp, 435-448.
- [45] “High-Carbon Steels Fully Pearlitic Microstructures and Applications” International. Steels Processing, Structure, and Performance, Chapter 15, 2005, ASM, www.asminternational.org.
- [46] LUDGER, D., PROKSCH, M “Friction and Wear Testing of Rail and Wheel Material” Wear 258, 981–991, March, 2005.
- [47] CLAYTON, P., P. ALLERY, M. B., and BOLTON, P.J., “Surface Damage Phenomena in Rails” Proceeding of the International Symposium on Contact Mechanic and Wear of Rail /Wheel Systems, Ed: J. Kalousek R. V. Dukkipati, and G. M. L. Gladwell, University of Waterloo Pres, 1983, pp 419-443.
- [48] BERBER Y., Kardemir A.Ş. Haddehaneleri Müdürü, 2005 yılı Değerlendirme Raporu, S: 57-60.
- [49] “Feasibility Study For Universal Structural/Rail Mill”, Kardemir, Karabük, Turkey, 2002.
- [50] MAESTRUTTI, L., “ABD’de 750.000 ton/yıl Kapasiteli Nucor Berkeley Profil Haddesi,”1999.

- [51] “Ray Teknik Şartnamesi”, TCDD Genel Müdürlüğü Yol Daire Başkanlığı, 2001.
- [52] “AREMA” American Railway Engineering and Maintenance of Way Association, “Specifications for Steel Rails” 2003, pp :4.2.5-4.2.30.
- [53] RAO, K., D, BHARDWAY, A., “Track Maintenance Practices on Heavy Haul Routes of Foreign Railways and Suggestion for IR” E. Co, Rly, 2002.
- [54] Ray Üreticileri Ürün Kataloqları, Iscor, Unimetal, Le Material De Voie, 2001.
- [55] DYWER, R. S., JOYCE, R., LEWIS, N. “Wear and Fatigue of Railway Track Caused by Contamination, Sanding and Surface Damage” 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems The University of Sheffield, Department of Mechanical Engineering, Mappin Street, Sheffield, UK June, 10–13, 2003.
- [56] FENSKE, G. B., ALDAJAH, S., AJAYI, O, ALLEN, J., HILLER, C., “Laser Glazing of Railroad Rails to Reduce Friction” National Laboratory ,Chicago, Illinois, December, 2003.
- [57] WAARA, P., “Lubricants Influence on Wear in Sharp Rail Curves” Luleå University of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering Division of Machine Elements, Doctoral Thesis, 2006.
- [58] FATA R.G., JONES, J.A., PERLMAN, A.B., ORRINGER, O., “A Numerical Model For Estimation of Temperature-Time History and Residual Stress in Head-Hardened Rails” Mechanical Engineering Department, Tufts University, Medford, MA, 2003.
- [59] www.muchmorethanrail.com , “Rail Noise Reduction System”, 30 Mart 2006, 11.00
- [60] THAYER, P., BUTTLE, D., DALZELL W “Application of the Maps Stress Measurement Technology in the Rail Industry, Including a New Development for the Nondestructive Measurement of Stress-Free Temperature”, AEA Technology plc., E1 Culham, Abingdon, OX14 3ED., 2005.
- [61] “A Survey of Current Wheel and Rail Interface Design and Management Practices” International Union of Railways UIC World Executive Council Paris, August, 2005.

- [63] EDEN, K., “Rail Deterioration, Railway Vehicle and Track System Integration” The University of Birmingham and Manchester Metropolitan University, 2003.

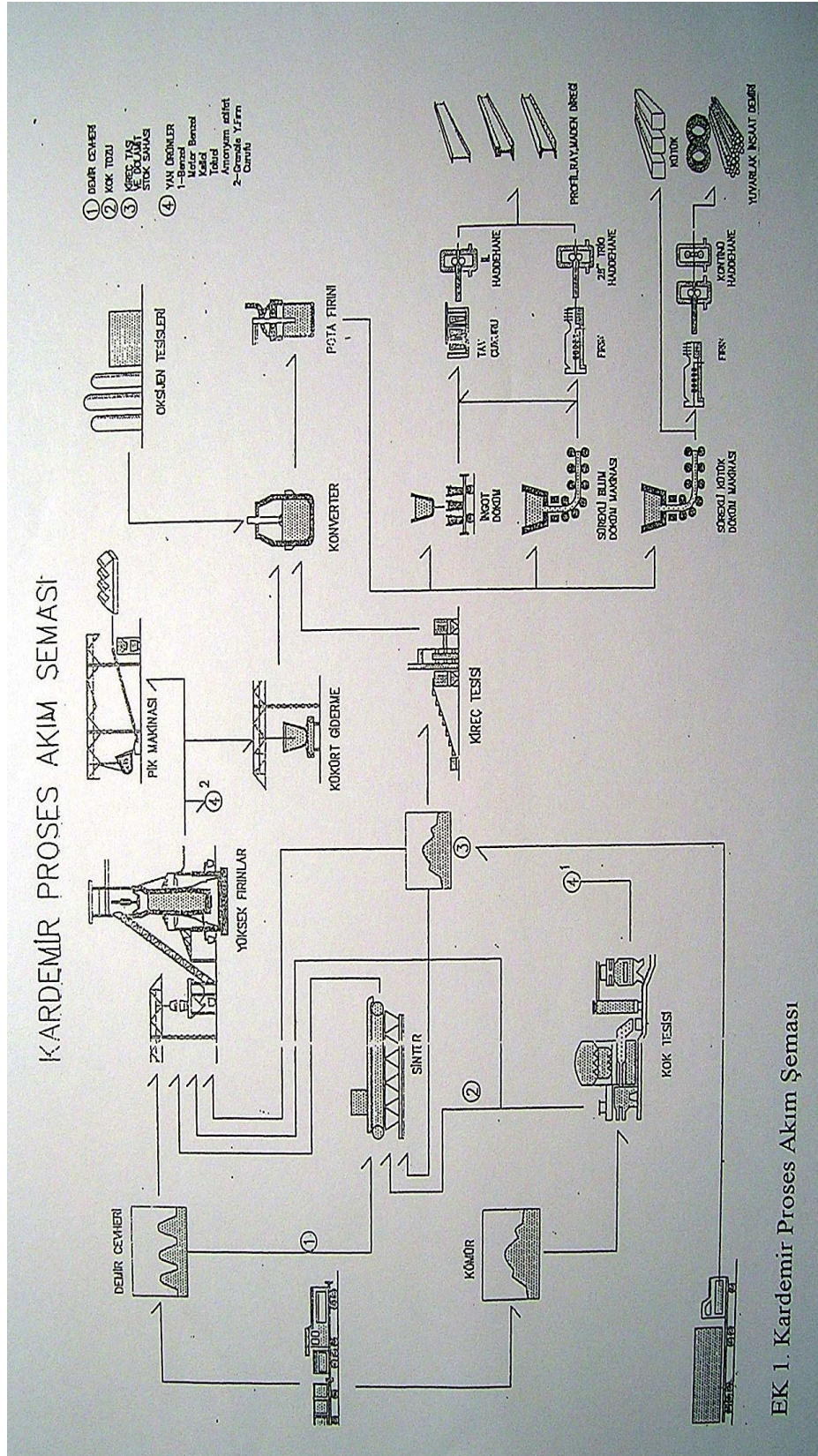
- [64] FLETCHER DI, KAPOOR, A, FRANKLIN FJ, SMITH, L., HYDE P., “Comparison of the Hatfield and Alternative UK Rails Using Models to Assess the Effect of Residual Stress on Crack Growth From Rolling Contact Fatigue” Prepared by University of Newcastle-Upon-Tyne for the Health and Safety Executive, 2006.

- [65] PRESTON, R. R., Rails and Sections, British Steel Technical, Swinden Laboratoires, Third R.I. A. "Paper 7.1 “Rail Research and Development Track Sector Course”, 1989.

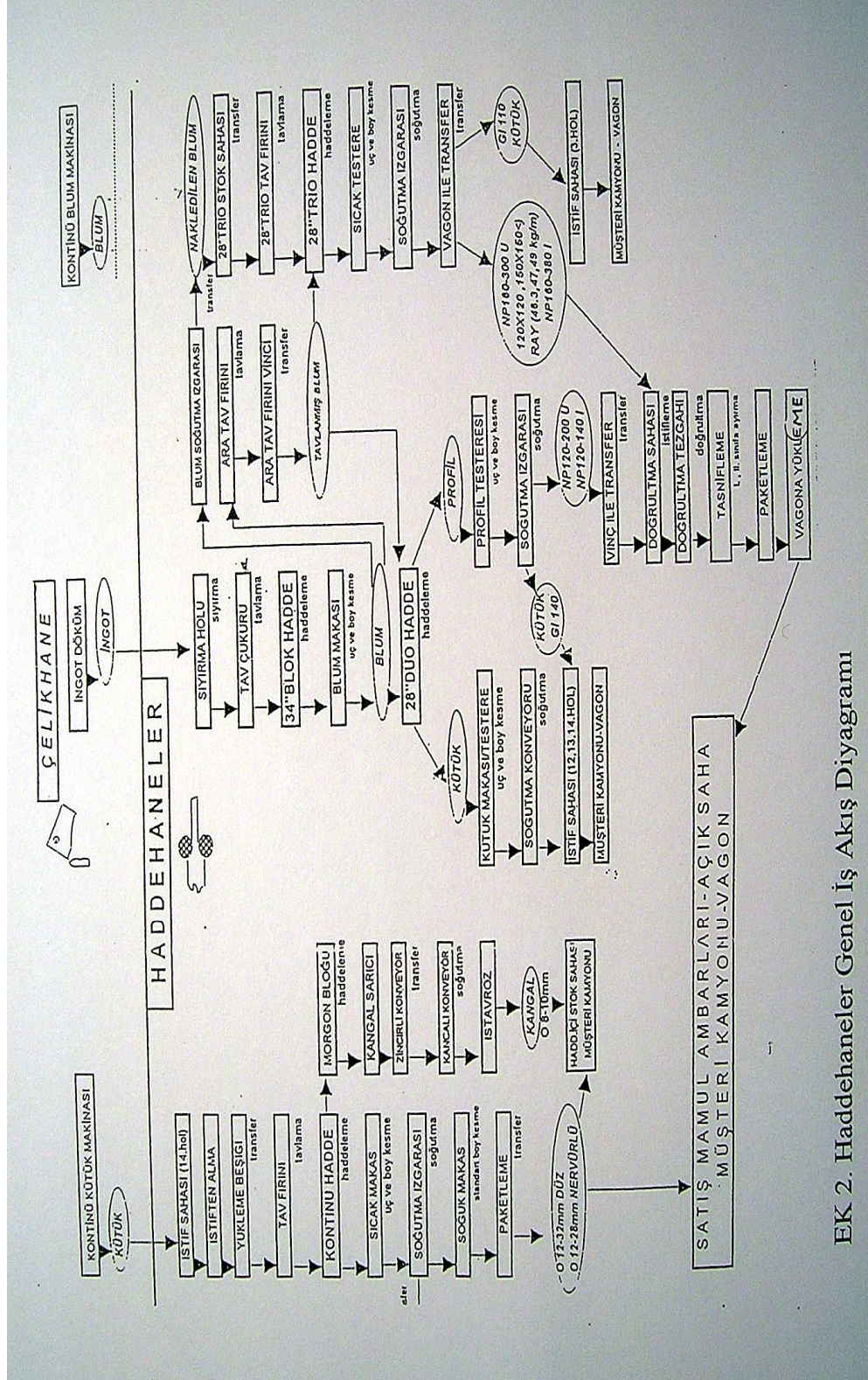
- [66] HOFFMAN, J., DONNAY, B., “TMCP Applications in Sections, Bars and Rails”, Profilarbéd Research – Luxembourg, 2004.

- [67] ZHANG, Y. J., MURRAY, M. H. and FERRIERA, L. “Modelling Rail Track Performance: An Integrated Approach”. , Transport Journal, 187-194. 2000.

EKLER

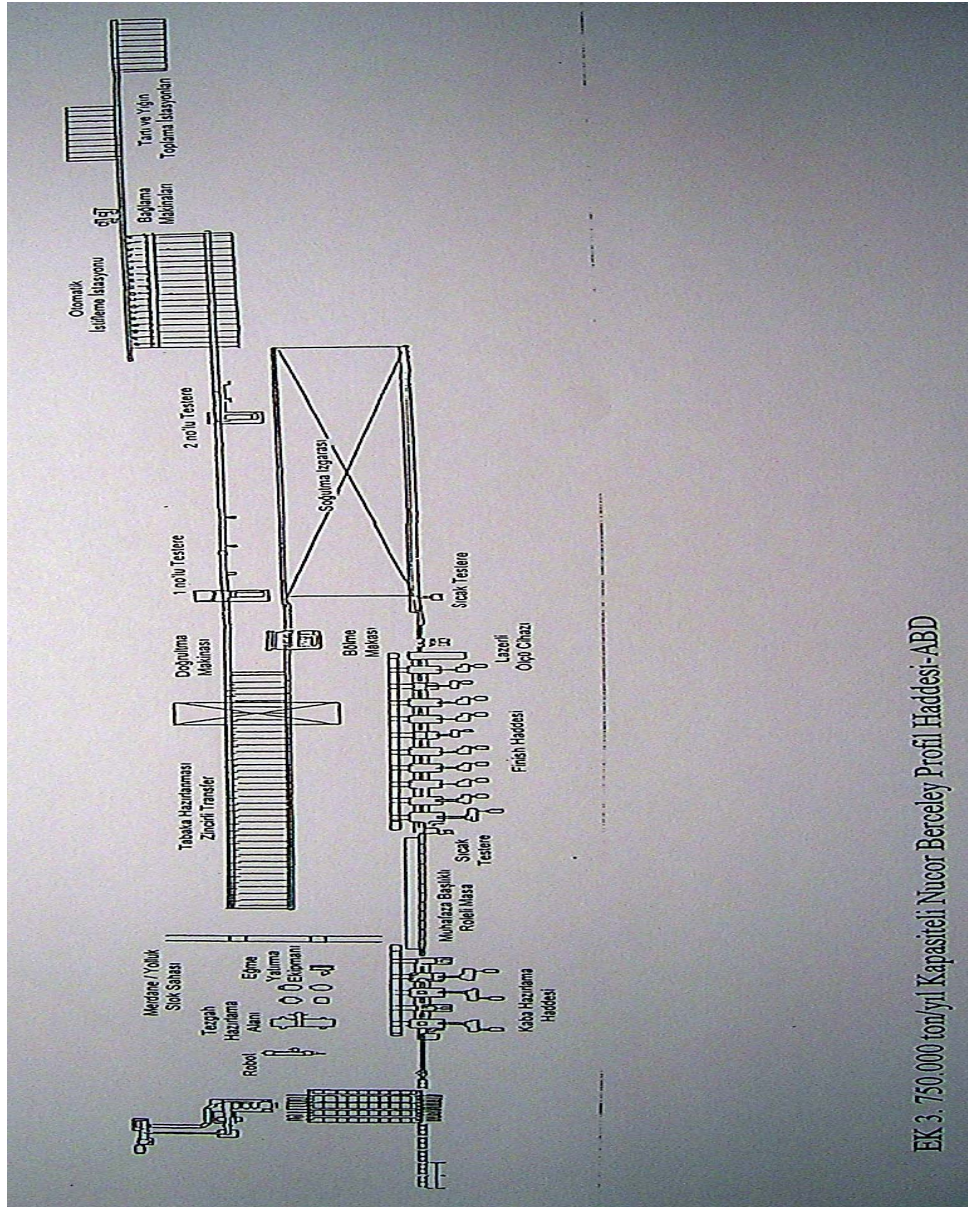


Ek 1. Kardemir proses akım şeması [15]



EK 2. Haddehaneler Genel İş Akış Diyagramı

Ek.2. Haddehaneler Genel Akış Diyagramı[15]



Ek 3 750.000 ton/yıl kapasiteli Nucor Berceley Profik Haddesi[50]

ÖZGEÇMİŞ

Osman KALAYCIOĞLU 1974 yılında Çankırı’da dünyaya geldi. İlk orta ve lise öğrenimini İstanbul Küçükyalı’da tamamladıktan sonra 1992 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Sakarya Mühendislik Fakültesi Metalurji Mühendisliği bölümünden 1996 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesinde Yüksek Lisans öğrenimine başlayıp Ünal Conta A.Ş ’de imalat mühendisi olarak iş hayatına atıldı. 1997-1998 yıllarında askerlik görevini yerine getirdikten sonra 1999-2004 yılları arasında sektörde satış ve teknik servis müdürü olarak çalıştı.

2004 yılından beri Kardemir.A.Ş’de Haddehane İşletme Mühendisi olarak çalışmakta olan Osman KALAYCIOĞLU, evli ve üç kız çocuğu babasıdır.