

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLASTİK DEFORMASYONA MARUZ KALMIŞ S49 TİPİ RAYLARIN
DÜZELTİLMESİ VE YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Ali SABAN

HAZİRAN 2016

Makine Anabilim Dalında Ali SABAN tarafından hazırlanan **PLASTİK DEFORMASYONA MARUZ KALMIŞ S49 TİPİ RAYLARIN DÜZELTİLMESİ VE YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ** adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

Üye (Danışman): Prof. Dr. Recep ÇALIN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ER

.../.../....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

PLASTİK DEFORMASYONA MARUZ KALMIŞ S49 TİPİ RAYLARIN DÜZELTİLMESİ VE YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

SABAN, Ali

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Prof. Dr. Recep ÇALIN

Mart 2016, 97 sayfa

Bu çalışmanın amacı, hatta serili halde bulunan ve her hangi bir nedenle eğilmiş rayların, EN13674-1 ray standartlarındaki ray doğruluk kriterlerine uyacak şekilde hat değişimine gerek kalmadan doğrultulmasıdır. Çalışma kapsamında incelenmek üzere S49 tipi ray seçilmiştir. Öncelikle deneyde kullanılacak rayın kimyasal yapısının EN 13674-1'e göre uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ray bükme makinesinin özelliklerine bağlı olarak belirlenen uzunlukta raylar kesilmiştir. Bu numunelere bükme cihazı yardımıyla oda sıcaklığında eğme işlemi uygulanmıştır. Yapılan eğme işleminde rayın elastik ve plastik deformasyona uğradığı ölçüm aralıkları belirlenmiştir. Eğme işlemi uygulanan numunelerin bir kısmı ray ısıtıcı cihaz yardımıyla 200°C ve 300°C sıcaklığa ısıtılmıştır. Numuneler oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C'de bükme işlemi yapılan cihaz yardımıyla doğrultulmuştur. Doğrultma işlemi yapılan numunelerin belirlenen sıcaklıklar altında mekanik özelliklerindeki değişimi belirlemek amacıyla optik mikroskop incelemesi, kalıntı gerilme ölçümü, sertlik ölçümü, çekme testi ve SEM analizi yapılmıştır. Yapılan mikro yapı incelemesinde sıcaklık artışına bağlı olarak yapının tamamen perlitik olduğu gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığı, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda işlem gören ray malzemesinde perlit lamelleri arasındaki mesafede kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Yapılan kalıntı gerilme ölçümü deneyinde soğuk deformasyonla kalıntı gerilme değerlerinin arttığı, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda işlem gören ray numunelerinde kalıntı gerilme değerlerinin azaldığı

gözlemlenmiştir. Yapılan sertlik deneyinde soğuk deformasyona maruz kalmış numunelerde sertlik değerlerinde artış gözlemlenirken, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda işlem gören ray numunelerinde sertlik değerlerinde kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Yapılan çekme deneyinde ray numunelerinin çekme dayanımında sıcaklık artışına bağlı olarak çok az miktarda azalma gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak mikro yapı, sertlik ve çekme dayanımındaki değişimlerin istenilen standart aralığında olduğu gözlemlenmiş, belirlenen sıcaklık aralıklarında rayın mekanik özelliklerinde herhangi bir değişim olmadan doğrultma işleminin yapılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ray doğrultma, mikro yapı, SEM, çekme, kalıntı gerilme



ABSTRACT

AN EXAMINATION OF THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTICALLY DEFORMED S49 TYPE RAILS

SABAN, Ali

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine, Master's thesis

Supervisor: Prof. Dr. Recep ÇALIN

January 2016, 97 pages

The purpose of this study is straightening the rails according to the rail standards of EN13674-1 without changing the line. The type of S49 rails elected to be analyzed in the study. Primarily, it was determined whether the chemical structure of the rails is appropriate to be used in the experiment according to EN 13674-1. Specified length rails were cut depending on the properties of the rail bending machine. The bending was performed to these samples through the bending device at the room temperature. Elastic and plastic deformation ranges were determined by bending tests. Some of the samples that bended are heated to the 200°C and 300°C with the help of the rail heating device. The samples were straightened by bending device at the room temperature. Optical microscopy, residual stress and hardness measurements, tensile test and the SEM analysis was performed to determine the changes in mechanical properties of the samples that straightened under specified temperature. Microstructure was observed to be completely pearlitic depending on the temperature rise according to the microstructural analysis. Significant change was not observed at the distance between pearlite lamellae of rail material which treated at room temperature, 200°C and 300°C. Besides an increase of residual stress values with cold deformation, also a decrease in the residual stresses in the rail samples treated at temperatures of 200°C and 300°C during the residual stress measurement test was observed. Major change was not observed in the hardness values of the rail samples treated at tempe-

ratures of 200°C and 300°C during the hardness test while an increase was observed in the hardness values of the samples exposed to cold deformation. A few decrease in the tensile strength of the rail samples was noted depending on the temperature increase. The changes of microstructure, hardness and tensile strength was observed to be in the desired Standard range depending on the temperature increase and it has been identified that rectification can be made in the specified temperature range without any changes in mechanical properties of the rail.

Keywords: Rail straightening, microstructure, tensile strength, residual stresses



TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmam kapsamında incelediğim 0038.STZ.2013-1 numaralı “Demiryolu Hatındaki Eğilmiş Rayların Yapısal ve Mekanik Özelliklerini Koruyarak Ray Doğrultma Yönteminin Geliştirilmesi” adlı projeye desteklerinden dolayı Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na, tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam Sayın Prof. Dr. Recep ÇALIN’a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Muharrem PUL’a ve Sayın Doç. Dr. Osman BİCAN’a, deneysel çalışmalarda hiçbir yardımı esirgemeyen TCDD DATEM işletme müdürlüğü personelleri Sayın Atilla KESKİN’e, Sayın Özgür USTAOĞLU’na, Sayın Hülya YALÇIN’na, Sayın Önder AKGÜNLÜ’ye, Sayın Merve TUĞYANOĞLU’na, Sayın Songül TORTUK’a, Sayın Çetin TEKİN’e, her zaman desteğini hissettiğim kıymetli eşim Kübra SABAN’a ve benim için her şeyden daha kıymetli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	1
ABSTRACT	3
TEŞEKKÜRLER	5
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	6
ÇİZELGELER DİZİNİ	8
ŞEKİLLER DİZİNİ	9
SİMGELER DİZİNİ	12
KISALTMALAR	13
1. GİRİŞ	15
1.1 Literatür Çalışması.....	16
2. RAY	31
2.1 Rayların Görevleri ve Özellikleri.....	32
2.2 Rayların Profilleri.....	32
2.3 Rayların Bölümleri.....	34
2.4 Rayın Kimyasal Bileşenleri.....	35
2.5 Rayların Mekanik Özellikleri.....	36
2.6 Ray Ebatları.....	37
2.7 S49 Ve UIC60 Ray Seçimini Etkileyen Diğer Faktörler.....	37
2.8 Demiryolu Hattında Meydana Gelen Bozulmalar.....	39
2.9 Ray Doğrultma.....	41
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
3.1 Malzeme ve Metod.....	42
3.2 Kimyasal analiz.....	48
3.3 Metalografik İnceleme.....	49
3.4 Kalıntı gerilme deneyi.....	51
3.5 Çekme deneyi.....	54
3.6 Sertlik deneyi.....	56
4. BULGULAR	58
4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları.....	58

4.2 Ray Eğme, Isıtma ve Doğrultma	59
4.3 Metalografik İnceleme Sonuçları	60
4.4 Kalıntı Gerilme Deney Sonuçları	69
4.5 Çekme Deney Sonuçları	72
4.6 Sertlik Deney Sonuçları	78
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	80
5.1 Sonuçlar	80
5.2 Öneriler	82
KAYNAKLAR	84
EKLER	89
EK-1 Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray numunelerinin sertlik grafikleri	89
EK-2 200°C düzeltilmiş ray numunelerinin sertlik grafikleri	91
EK-3 300°C düzeltilmiş ray numunelerinin sertlik grafiği	93
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Ray ebatları.....	37
2.2. Günlük Trafik Yükleri için Seçilecek Ray Tipleri	38
3.1. R260 kalite ray çeliğinin mukavemet değerleri.....	43
3.2. S49 ray çeliğinin kimyasal bileşimi.....	43
3.3. S49 ray çeliğinde kalıntı elementlerinin izin verilen maksimum miktarları	44
3.4. S49 tipi ray numunelerinin düzeltilmeden önce ve düzeltildikten sonraki sıcaklık değerleri.....	46
4.1. Ray mantarından alınan numunelerin kimyasal bileşimlerinin ortalama değerleri (EN 13764-1).....	58
4.2. Ray mantarından alınan numunelerin içinde bulunan kalıntı elementlerin ortalama değerleri (EN 13764-1).....	58
4.3. Ray numunelerin deformasyona uğradığı ölçüm aralıkları	59
4.4. İşlem görmemiş, oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultulmuş ray numunelerinin mantar ve taban bölgesindeki perlit lamelleri arası mesafe.	66
4.5. S49 rayın kalıntı gerilme ölçüm sonuçları.....	69
4.6. Herhangi bir işlem görmemiş, Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de doğrultulmuş ray numunelerinin mukavemet değerleri.....	76
4.7. Herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında, 200 °C ve 300 °C’de doğrultulmuş ray numunelerinin mantar, taban1, taban 2 bölgesindeki sertlik değerleri	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. UIC 60 ve S49 ray	31
2.2. Oluklu ray kesiti	33
2.3. Çift mantarlı ray kesiti	33
2.4. Vinyol ray kesiti	34
2.5. Ray Kısımları.....	35
2.6. Hidrolik presle ray doğrultma.....	41
3.1. S49 ray profili ve ölçüleri.....	42
3.2. Ray numuneleri.....	44
3.3. Ray eğme işlemi	45
3.4. Yatay ray bükme makinası	45
3.5. Ray ısıtıcı cihaz.....	47
3.6. Ray ısıtma işlemi	47
3.7. Laboratuvar Tipi Optik Emisyon Spektrometre Cihazı.....	48
3.8. Rayın mantar bölgesinden alınan numune örnekleri	49
3.9. Optik mikroskop	49
3.10. Quanta 450 Feg Taramalı Elektron Mikroskobu.....	50
3.11. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	51
3.12. Metalografik inceleme için hazırlanmış deney numuneleri.....	51
3.13. Kalıntı gerilme ölçüm cihazı	52
3.14. Gerinim ölçerlerin bağlanması	53
3.15. Gerinim ölçerlerin yapıştırma noktalarının şematik gösterimi.....	53
3.16. Ray numunesinin kesilmesi	54
3.17. 250 KN Üniversal Elektromekanik Test Sistemi	54
3.18. Çekme numunesi şematik gösterimi	55
3.19. Çekme numunelerinin kopma bölgeleri	56
3.20. Tam otomatik üniversal sertlik ölçme cihazı.....	56
3.21. Sertlik ölçümü için rayın taban ve mantar bölgesinden alınan numuneler...	57
3.22. Sertlik ölçümü alınmış noktalar.....	57
4.1. Hiçbir işleme tabi tutulmamış ray numunesinde perlitik içyapı.....	60

4.2. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinde perlitik içyapı	61
4.3. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinde perlitik içyapı	61
4.4. 300°C’de doğrultulmuş ray numunesinde perlitik içyapı	62
4.5. Herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)	62
4.6. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X).....	63
4.7. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin taban bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X).....	63
4.8. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X).....	64
4.9. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinin taban bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X).....	64
4.10. 300°C’de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X).....	65
4.11. 300°C’de doğrultulmuş ray numunesinin taban bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)	65
4.12. Herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında doğrultulmuş, 200°C ve 300°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultulmuş ray numunelerinin mantar ve taban bölgesindeki perlitik katmanlar arası mesafe grafiği	67
4.13. Herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın kalıntı gelim dağılım grafiği	70
4.14. Oda sıcaklığında eğilip düzeltilmiş rayın kalıntı gerilme ölçüm grafiği	70
4.15. 200°C’ye ısıtılıp düzeltilmiş rayın kalıntı gerilme ölçüm grafiği	71
4.16. 300°C’ye ısıtılıp düzeltilmiş rayın kalıntı gerilme ölçüm grafiği	71
4.17. Herhangi bir işleme tabi tutmamış ray çekme grafiği	73
4.18. Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray çekme grafiği (1 nolu numune).....	73
4.19. Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray çekme grafiği (2 nolu numune).....	74
4.20. 200°C ‘de düzeltilmiş ray çekme grafiği (1 nolu numune).....	74
4.21. 200°C ‘de düzeltilmiş ray çekme grafiği (2 nolu numune).....	75
4.22. 300°C ‘de düzeltilmiş ray çekme grafiği (1 nolu numune).....	75
4.23. 300°C ‘de düzeltilmiş ray çekme grafiği (2 nolu numune).....	76
4.24. Herhangi bir işlem görmemiş, Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de doğrultulmuş ray numunelerinin çekme dayanımı grafiği	77

4.25. Herhangi bir işlem görmemiş, Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C'de
doğrultulmuş ray numunelerinin sertlik dağılım grafiği..... 79



SİMGELER DİZİNİ

N	Newton
m μ	Mikron metre
mm	Milimetre
R	Yarıçap
mm ²	Milimetrekare
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Mangan
P	Fosfor
S	Kükürt
Cr	Krom
Al	Alüminyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
Mo	Molibden
Nb	Niobyum
Ti	Titanyum
Sn	Kalay
V	Vanadyum
FeO	Demir II Oksit
Fe ₂ O ₃	Demir III Oksit
MPa	Mega paskal
S	Saniye
St	Çelik
W	Mukavemet momenti
I	Atalet momenti
γ	Kesme faktörü
EI	Eğilme rijitliği
KN	Kilo newton
P	Plastik deformasyon

E	Elastik deformasyon
Cu	Bakır
Fe	Demir
Ni	Nikel
Ω	Ohm
m_E	Gerilme - yüzde uzama eğrisinin elastik kısmının eğimi
$R_{p0.2}$	Deneme dayanımı, plastik uzama
R_m	Çekme dayanımı
F_m	Azami yük
L_0	İlk ölçü uzunluğu
S_0	İlk kesit alanı
A	Kopmadan sonraki yüzde uzama

KISALTMALAR

TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
SEM	Scanning Electron Microscope
EN	European Norm
XRD	X-Işını Kırınım yöntemi
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
UTS	Unified Thread Standard
A.Ş.	Anonim Şirketi
UIC	International Union of Railways
BHN	Brinell Sertlik Sayısı
TRS	Time Resolved Spectroscopy
ISO	International Organization for Standardization
TS	Türk Standardları

ADC

Analog Sayısal Dönüştürücüsü

BSD

Brinell ölçęine göre sertlik



1. GİRİŞ

Türkiye’de kullanılmaya başlanan demiryolları, uzun geçmişine rağmen beklenen gelişimi gösterememiştir. Ray doğrultma konusunda dünyada herhangi bir standart bulunmamakla birlikte her demiryolu şirketi kendi geliştirdiği doğrultma yöntemini kullanmakta ve bu yöntemi diğer demiryolları ile paylaşmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, hatta serili halde bulunan ve her hangi bir nedenle eğilmiş rayların EN13674-1 ray standartlarındaki ray doğruluk kriterlerine uyacak şekilde hat değişimine gerek kalmadan doğrultulmasıdır. Doğrultma işlemi gerçekleştirilirken metalürjik yapısının değişmemesi, kısa sürede yapılması işletme/bakım maliyetleri açısından önem arz etmektedir. TCDD’de yapılan ray doğrultma işlemleri göz önüne alındığında bu çalışmanın ülke ekonomisine katısı azımsanmayacak düzeydedir. Bu hususta TCDD’de alevle doğrultma yöntemiyle ray doğrultma çalışmaları yapılmaktayken, TCDD’de yapılan inceleme sonucu bu işlemin raya zarar verdiği ve uygun olmadığı tespit edilmiştir. TCDD’nin yol yenileme ve bakım programı her geçen yıl artarak devam etmekte olduğundan uygun ray doğrultma yönteminin bulunması Türkiye için hem ekonomik ve hem de teknolojik açıdan olarak büyük kazanç sağlayacaktır. Bu çalışmada herhangi bir nedenle eğilmiş S49 tipi rayların doğrultma işlemi uygulandıktan sonra içyapısında ve mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Deneysel sonuçlar ışığında doğrultma işlemi yapılmadan önce rayın ısıtılacağı en uygun sıcaklığın belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında oda sıcaklığında eğme işlemi uygulanan rayların bir kısmı 200°C ve 300°C’ye ısıtılmıştır. Daha sonra bu ray numuneleri oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de doğrultulmuştur. Doğrultma işlemi uygulanan ray numunelerinin yapısal ve mekanik özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla kimyasal analiz, kalıntı gerilme deneyi, mikro yapı incelemesi, çekme deneyi ve sertlik deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ray numunelerinin belirlenen sıcaklıklarda yapısal ve mekanik özelliklerinde belirgin bir değişim olmadığı ve belirlenen standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

1.1 Literatür Çalışması

Özden, M., demiryolu raylarının mekanik özelliklerini incelediği çalışmasında demiryolu raylarının ve kaynak bölgelerinin incelemesi yapılmış, kaynak bölgesi ile ray malzemesi karşılaştırılmıştır. Alüminotermite kaynağı ile rayların birleştirilmesi işlemi kaynak öncesi ve kaynak sonrası yapılan işlemlerle devam edilmiştir. Hazırlanan alüminotermite kaynaklı ray numuneleri ile yorulma deneyi, eğilme deneyi, sertlik testi, aşınma testi, kimyasal analiz ve metalografik inceleme işlemleri yapılmıştır. Yorulma testinin sonucu olarak kaynaklı numunenin yüksek yorulma dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerin EN 14730-1'e göre statik eğilme dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinin sertlik özellikleri incelendiğinde ana ray malzemesi ile arasında 20 BSD ye yakın bir fark olduğu ölçülmüştür. Ayrıca ısıtılma işlemi uygulanan ray bölgesinde aşınma oranının düştüğü belirlenmiştir [1].

Kalaycıoğlu, O., Kardemir'de ray üretiminde iyileştirmeler üzerine yaptığı çalışmasında ilk safha olarak rayın iç yapısında bulunan inklüzyon, hava boşlukları ve oksitlerin rayın mekanik özelliklerine etkisini görmek için çelikhanedeki blumlar testlere tabi tutulmuştur. 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 soğutulmuştur. Sonuçları görmek için sertlik ölçümü, çekme mukavemetleri ve % uzama tespiti, SEM ve optik mikroskop ile mikro yapı incelemeleri, ağırlık düşürme testi, kükürt baskı deneyi, çentik darbe mukavemeti ölçümü ile XRD analizleri yapılmıştır. Deneyler sonunda 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 görülmüştür. 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 görülmüştür. 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 belirlenmiştir [2].

Başkonus, M. ve Tekin, E., yüksek hızlı tren olgusu, mantarı sertleştirilmiş ve beynitik ray çelikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında dünyada aşınma sorununa bir çözüm olarak mantarı sertleştirilmiş EN 13674-2 standardı R350HT raylar ve dünyada yeni gündeme gelen beynitik raylar hakkında bilgi vermişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda TCDD' den alınan R260 standardı raylardan çıkarılan numunelere (10x10x25mm boyutlarındaki) TTT çizgesi göz önüne alınarak kaba perlit ve sıkı dizili perlit oluşturmak amacıyla ısıtma işlemleri uygulanmıştır. Uygulanan ısıtma işlemleri sonucunda havada soğutulmuş rayda kaba perlit içyapısı gözlemlenirken, 6000'de izotermal dönüşüm uygulanmış rayda sıkı dizili perlit içyapısı elde edilmiştir. Ayrıca, 3500'de izotermal dönüşüm uygulanmış raylarda ~%90-95 alt beynit %5-10 martenzit elde edilmiştir. Martenzit oluşumu östenit-beynit dönüşümünün tamamlanmamış olmasından ve dönüşmemiş östenitin soğuma sonrası martenzite dönüşmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmayla sıkı dizili perlit iç yapılı R350HT standardı rayın ve ayrıca beynitik rayların da Türkiye'de üretilebileceği bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Isıtma işlemi olarak östenitleme işlemi uygulanmıştır. Metalografi numuneleri, olağan metalografi yöntemleri kullanılarak hazırlanmış ve dağılayıcı olarak %2'lik ve %5'lik Nital çözeltileri kullanılmıştır. Metalografik incelemeler ise Nikon ECLIPSE L150 marka optik mikroskop ve Zeiss, EVO LS 15 marka elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır [3].

Meriç, C. ve Engez, T., termit kaynağı işlemi gerçekleştirilen rayın kaynak bölgelerinin mekanik ve metalurjik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında S49 SAE/AISI 1050 raylara kısa bir ön ısıtmadan sonra termit kaynağı yapılmıştır. Üst yüzeyin sertlik dağılımları ve kaynak bölgesinin mikro yapısı incelenmiştir. Buna ek olarak üst kısım (baş) ve kaynak bölgesi baz alınan numuneler çentik ve darbe testine tabi tutulmuştur. Bu örneklerde yüksek sertlik değerleri kaynak bölgelerinin kenarlarında gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri, eritme bölgesi ve ısıdan etkilenen bölge arasındaki ara yüzeyde 109 BSD, eritme bölgesinde 108 BSD ve kaynaklı ray bölgelerinde 104 BSD ölçülmüştür. Mikro inceleme sonucunda proötektoidferrit ve perlit yapı oluşurken, martenzit yapı oluşmamıştır [4].

Kuziak, R. ve Zygmunt, T., ray mantarının sertleştirilmesinde yeni bir yöntem, aşınma ve hasar direnci için standart ray ölçerlerin geliştirilmesi konusunda yaptıkları çalışmalarında ray mantarlarının perlit bölgelerinin periyodik olarak hızlandırılmış soğutma yöntemi ile kullanım ömrünü arttırma amaçlanmıştır. Bu çalışmanın esası, ray mantarlarının sulu polimer çözeltisi içine daldırma yöntemine dayanmaktadır. Bilinen yöntemlerden farklı olarak ray mantarının daldırılması sürecinde hızlı ve yavaş soğutma aşamalarının tüm sürece dağıtılarak, soğutma çözelti düzeyi yükselti- lerek ve alçaltılarak yapılmıştır. Hızlı ve yavaş soğutma zaman aralıkları düzgün tanımlandığında martenzit ve beynit oluşumunu önlemek için zaman kontrolüne ge- rek olmadığı gözlemlenmiştir. Periyodik soğutmanın en önemli özelliğinin, ray man- tarının enine kesitinde ince perlitik yapı oluşumunun ayarlanabilir olduğu gözlem- lenmiştir. Bu teknoloji uygulanarak HutaKrólewska S.A. daki mantarı serleştirilmiş rayların kullanım ömrünün arttığı gözlemlenmiştir. Zaman kontrolüne gerek kalma- dan martenzit ve beynit oluşumu önlenmiştir [5].

Çakmak, İ., Yalçın, Y., ray çeliğinin kuruyuvatlanma-kayma aşınma davranışını in- celedikleri çalışmalarında krupp firması tarafından imal edilmiş ve TCDD tarafından kullanılan ray çeliğinin kuru yuvarlanma-kayma aşınma davranışı incelenmiştir. 40 mm çapında ve 10 mm genişliğinde, rayın mantar kısmından hazırlanan numune pas- lanmaz çelik rulmana karşı 50N ve 75N yükler altında 0,55 m/s hızda aşınma dene- yine tabi tutulmuştur. Her 50 000 çevrimde aşınma kaybı ölçülerek aşınma hızı he- saplanmış ve aşınma hızı-çevrim sayısı grafiği elde edilmiştir. Aşınma numuneleri- nin aşınma yüzeyi, yuvarlanma yönüne paralel kesitlerdeki SEM incelemeleri yapıla- rak aşınma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda, düşük çevrimlerde, yükün düşük olması aşınma hızını artırırken, belirli bir çevrim sayısından sonra yükün aşınma hızına çok bariz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiş- tir. İki silindir arasında oluşan ara yüzey basıncı ve yuvarlanmanın etkisiyle plastik deformasyonun olduğu ve aşınmanın adhezyon türünde gerçekleştiği sonucuna ula- şılmıştır [6].

Yiğit, O., Dilmeç M., Halkacı S., tabaka kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilme ölçümü yaptıkları ve diğer yöntemlerle karşılaştırdıkları çalışmada kalıntı gerilmeler hakkın- da bilgi vererek, bu gerilmelerin nasıl ve hangi işlemler sonucu oluştuğu, parçanın

performansı üzerinde etkileri ve neden ölçülmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Daha sonra kalıntı gerilme ölçme yöntemleri tahribatlı ve tahribatsız yöntemler olarak sınıflandırılmış ve bu yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir. Kalıntı gerilme ölçme yöntemleri malzeme türüne, geometrisine ve ölçülecek olan bölgeye ve nüfuziyete bağlı olarak daha fazla kullanışlı olabildiği görülmüştür. Yöntemler karşılaştırıldığında, kalıntı gerilme ölçümü için en iyi tek bir yöntem olmadığı belirtilmiştir. Tabaka kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilme ölçümünün diğer yöntemler üzerinde pek çok avantajı olduğu iddia edilmiştir. Yöntem diğerlerine göre daha hızlı olduğu ve sadece basit hesaplamalar gerektirdiği belirtilmiştir. Ayrıca deneysel uygulamasının basit olduğu, maliyeti uygun olduğu ve yeterince hassas olduğu belirtilmiştir. Bu avantajlarına rağmen sadece düz numunelere uygulanabilmesi yöntemin en büyük dezavantajlarından birisi olduğu gözlemlenmiştir. Yöntemin tanımlaması ve hassasiyeti, eğrilğin sürekli olarak ölçülerek sapmaların kaydedilmesi ile geliştirilebileceği belirtilmiştir [7].

Ağlan, H.A., Hassan, M.F., Fateh, M., Liu, Z.Y., beynitik ray çeliklerinin mekanik özellikleri ve kırılma davranışlarını inceledikleri çalışmalarında J6 beynitik ray çeliğinin mikro yapı analizleri yapılmış ve sonuçlar birinci sınıf perlitli ray çeliklerinin mikro yapısı ile karşılaştırılmıştır. J6 beynitik ray çeliğinin mekanik özellikleri, kırılma davranışı, kırılma tokluğu birinci sınıf perlitik ray çeliği ile karşılaştırılmıştır. J6 beynitik ray çeliklerinin diğer perlitik ray çeliklerine göre tokluk ve mukavemet değerlerinin yüksek olduğu mikro yapısal özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. J6 beynitik ray çeliği diğer perlitik ray çelikleri ile karşılaştırıldığında üstün mekanik özelliklere ve kırılma dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir [8].

Sahay, S., Mohapatra, G., Totten, E., perlitli ray çeliklerine genel bakış; hızlandırılmış soğutma, su verme, mikro yapı ve mekanik özelliklerin incelendiği çalışmalarında tren hızı, maliyet, güvenilirlik ve güvenlik artışı gibi özelliklerin iyileştirilmesi için demiryolu çeliklerinin aşınma ve deformasyon direnci, yorulma ömrü gibi mekanik özellikleri önem arz ettiği görülmüştür. Bu hedefler ray üreticileri tarafından başarıyla karşılanmıştır. Mümkün olan en düşük sıcaklıkta perlitik dönüşüm gerçekleştirilerek ince lamelli perlitik yapı elde edilmiştir. Perlitli ray çeliklerinin mekanik

özelliklerinin ve aşınma direncinin demiryolu için istenilen özellikte olduğu belirlenmiştir [9].

Thakur, R.C., Topno, R., , Krishna, B., Roy, B., Murty, G.M.D., raylarda kalıntı gerilmelerinin ölçüldüğü çalışmalarında parça tasarımcıları için raylarda kalıntı gerilme ölçümünün büyük öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bunun nedenin artan trafik yükü ve trenlerin daha hızlı olmasından kaynaklı yüksek dingil yükünün olduğu belirlenmiştir. Kullanılan test yöntemine bağlı olarak kalıntı gerilme ölçümü; bazıları x-ray yöntemi, Barkhausen gürültü yöntemi, Akustik emisyon yöntemi ve gerinim ölçer yöntemi yöntemleriyle raylarda düzenli olarak kalıntı gerilme ölçümü Ranchi'deki RDCIS, SAIL gerilme ölçüm laboratuvarlarında ölçülmüştür. Gerinim ölçer tabanlı şablon kesme ve kör delik delme yöntemi bu ölçüm için kabul edilmiştir. Laboratuvar ölçekli bir çalışmada çapraz şablon kesim yöntemi 52 ve 60 kg rayların kalıntı gerilmelerinin belirlenmesi için LD-CC yoluyla üretilen 90 UTS ray kullanılmıştır. Her iki ray içinde benzer kalıntı stres gerilmeleri gözlemlenmiştir. En yüksek gerilme düzeyi rayın taban merkezinde gözlemlenmiştir [10].

Schleinker, G. ve Fischer, F.D., demiryolu raylarında doğrultma sonucunda oluşan kalıntı gerilmelerin ölçüldüğü çalışmalarında, demiryolu raylarında doğrultma esnasında oluşan kalıntı gerilmeleri rayların satın alma sürecinde önemli bir yer teşkil etmeye başladığı tespit edilmiştir. Geçmişte yapılan deneyler boyuna oluşan artık gerilmelerin ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Tipik bir c kesiti baz alınarak gerilme dağılımı net bir şekilde gözlemlenememiştir. Bu çalışmada rayların doğrultma esnasında oluşan gerilmeleri daha doğru ve gerçekçi bir simülasyon sunulmuştur. Model aynı zamanda rayın uzunlamasına hareketini de dikkate almıştır. Çok bileşenli doğrusal olmayan kinematik sertleşme modeli ray çeliklerinin plastik davranışını hesaba katmak için kullanılmıştır. Boyuna oluşan kalıntı gerilmeler ile c kesitinden alınan gerilmeler karşılaştırılmış, sonuçların uyum içerisinde olduğu gözlemlenmiştir [11].

Arslan, M., rayların aşınma analizi ve aşınmayla ilgili formülasyon çalışması yapmıştır. Raylar üzerlerinden geçen dinamik tesirler altında bulduklarından, sonunda kullanılma özelliklerini yitirdikleri ve bu nedenle değiştirilmeleri gerektiği belirtilmiştir. Bu zararlı etkiler gittikçe rayların yuvarlanma yüzeylerini aşındırmaya başla-

dığı ve rayların mukavemet ve geometrik karakteristiklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Rayların mukavemeti de düşmüştür. Rayların mukavemetleri devamlı aşınmadan dolayı değişeceğinden kontrol altında tutulması gerektiği ve sınır mukavemet değerini aşmaması gerektiği belirlenmiştir. Rayların aşınma analizi yapılmış ve aşınan rayların tekrar kullanılıp kullanılamayacağı konusunda bir yaklaşım getirilmiştir. Bu yaklaşımın esası ise geometrik yapılarının kompleks olması nedeniyle mukavemet karakteristikleri kolayca hesaplanamayan rayların, başka temsili ray kesitleri tarafından temsil edilebilmesine dayandırıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, standart rayları temsil edecek ray kesitleri oluşturulmuş ve daha sonra bu temsili ray kesitleri üzerinde aşınma analizi yapılmıştır. Raylarda oluşan düşey, yanal ve her iki aşınma şeklinin olduğu aşınma durumları ayrı ayrı ele alınmış ve aşınma miktarlarına göre mukavemet karakteristiklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Daha önce düşey aşınma ile ilgili olarak SHRAMM tarafından geliştirilen aşınma formülü ile yapılan çalışmada ele alınan yaklaşım sonuçları karşılaştırılmış ve yapılan çalışma sonunda bulunan değerlerle SHRAMM'ın aşınma formülüyle hesaplanan değerlerin birbirine yakın değerler verdiği görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada ele alınan standart ray tiplerinin yanal ve düşey aşınma miktarlarına göre mukavemet momentindeki değişimi gösteren abaklar oluşturulmuştur. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan abakların, abakları oluşturulan standart ray tiplerinin geometrik karakteristiklerine yakın değerlerde olan ray tipleri için de kullanılabilmesi belirlenmiştir [12].

Akpınar, B., ray hattı geometrik değişimlerinin belirlenmesine yönelik ölçme sistemi geliştirildiği çalışmada raylı sistemlerde kullanılan jeodezik ölçme yöntemlerine alternatif olması amaçlanmıştır. Ray hattı üzerinde hareket halindeyken, ray hattı geometrik parametrelerinin belirlenmesini sağlayacak bir ölçme sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan ölçme sistemi ile raylı sistemlerde üstyapı kontrolü amacıyla uygulanmakta olan ölçme işlemlerine güvenilirlik, hız ve otomasyon sağlanması amaçlanmıştır. Ölçme sisteminde, ray açıklığını belirleyebilmek için endüstride boyutsal kontrolün yapıldığı alanlarda kullanılan LVDT (Linear Variable Differential Transformers) yer değişim algılayıcısı kullanılmıştır. Değer ve ray hattı eğim miktarlarının belirlenebilmesi için ise çift eksenli eğim ölçer ölçme sistemine dahil edilmiştir. Ray hattı yatay ve düşey geometrisinin belirlenebilmesi için konum belirleme sistemi olarak RTK (Real Time Kinematic) GPS alıcısı ve ATR (reflektörü otomatik takip

etme) sistemli total station kullanılmıştır. Hareket halinde ölçüm yapılırken, total station (elektronik uzaklık ölçer) tarafından ölçülen büyüklüklerin ray üzerindeki ölçme sistemine aktarılabilmesi için iki adet kablosuz radyo modem sisteme eklenmiştir. Ölçme sistemi bileşenlerinden alınan verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve gerekli işlemlerden sonra ölçülen ray hattına ait geometrik parametrelerin belirlenerek, bu parametrelere ait deformasyon miktarlarının hesaplanabilmesi için, ölçme sistemi ile entegre çalışacak bir yazılım hazırlanmıştır. Bir güzergah üzerinde hareket halinde olan bir sistemde MAD (kaba hata araştırması) filtreleme yöntemi ile yapılmıştır. Ray hattı üzerinde hareket halinde olan ölçme sistemi ile toplanan veriler için en uygun durum tespiti yapılabilmesi amacıyla ölçme sistemi için bir kinematik model oluşturulmuş ve bu model Kalman filtreleme tekniğinde uygulanmıştır. Bu çalışmada ray hattı yatay ve düşey konumu hem RTK GPS yöntemi ile hem de total station ile belirlenmiş, bu sayede iki sistemin kullanılmasının zaman, maliyet ve doğruluk analizlerinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Konum belirleme sistemi olarak GPS'in kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, RTK GPS yönteminin yatay ve düşey hat geometrisinin belirlenmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Konum belirleme sistemi olarak total station kullanılması durumunda elde edilen değerler incelendiğinde yatay ve düşey hat geometrisinin belirlenmesinde total station kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Total station ile yapılan ölçümler sonucunda yatay ve düşey konum bileşenlerinde GPS 'e göre daha yüksek doğrulukla sonuç elde edilmiştir. Ekartman ve deyer değerleri ile ilgili maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri incelendiğinde ölçme sisteminin raylı sistem hatlarında ekartman ve deyer değerlerinin belirlenmesinde kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür [13].

Koymatçık, H., R260 kalite rayların optimum mantar sertleştirme parametrelerinin belirlenmesi ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmada, R260 kalite raylardan mantarı sertleştirilmiş R 350 HT kalite rayların laboratuvar ortamında üretilirliğinin test parametreleri belirlenmesi amaçlanmıştır. Rayın sıcaklığı hadde çıkışında 900°C'de olduğundan, laboratuvar koşullarında gerçek koşulların simülasyonu yapılabilmesi için östenitleme sıcaklıkları 900°C, 850°C ve 800°C olarak belirlenmiştir. Soğutma yöntemi olarak daldırma ve püskürtme yöntemleri seçilmiştir. Yağ, % 3 bor yağı katkılı su ve basınçlı su ve su + hava karışımı, kullanılan soğutucular

olarak belirlenmiştir. Soğutma süresi olarak 10, 15, 20, 30 ve 60 saniye belirlenmiştir. 900°C’de 60 saniye için yağda, % 3 bor yağı katkılı suda daldırma ve su püskürtme ısıtma işlemi uygulanmış rayların sertlik ve mikro yapı incelemeleri, yağda daldırmadan su püskürtmeye doğru sertlikte artış ve mikro yapıda inceleme ile sonuçlanmıştır. 800°C, 850°C ve 900°C’de 10-30 saniye için su ve su + hava püskürtme ısıtma işlemi uygulanmış rayların, belirli sıcaklıkta ısıtma işlem süresinin artması ve belirli bir süre için östenitleme sıcaklığının artması ile sertliğinde artış meydana gelmiştir. Su + hava karışımının kullanılması ile bu artış belirginleşmiştir [14].

Onat, Ö., mantarı sertleştirilmiş R260 kalite rayların aşınma özelliklerinin incelendiği çalışmada laboratuvar ortamında mantarı sertleştirilmiş R260 kalite (EN 13674-1) rayların aşınma özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda, farklı sıcaklıklarda östenitlenen raylara laboratuvar ortamında yalnızca su ya da su ve hava karışımı verilerek (püskürtülerek) uygun sertlik ve iç yapının belirlenmesi sağlanmıştır. Standartlara uygun sertlik değerleri ve iç yapının belirlendiği raylar, aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Östenitleme sıcaklığı olarak 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklar ve her bir östenitleme sıcaklığında yalnızca su ve su + hava karışımı püskürtme için 10, 15, 20 ve 30 saniye süreler denenmiştir. Isıtma işlem sonrasında EN 13674-1 standardına uygun olarak yüzeyde 370 BSD ve merkezde 320 BSD değerlerinin elde edildiği ısıtma işlem koşulları uygun değer olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda mantarı sertleştirilmiş raylara aşınma testleri uygulanmıştır. Aşınma testleri farklı yüklerde (20N ve 40N) ve farklı kayma mesafelerinde (2000m, 4000m ve 6000m) gerçekleştirilmiştir. Standartlara en uygun sertlik değerleri farklı sıcaklıklarda östenitlenen ve 20 saniye sürede su ve hava+su karışımı ile soğutulan raylardan elde edilmiştir. Aşınma deneyleri bu koşullarda mantarı sertleştirilen raylara uygulanmıştır [15].

Lee, M. K. and Polycarpou, A. A., geleneksel perlitik ve geliştirilmiş beynitik ray çeliklerinin aşınması adlı çalışmada perlitik ray çeliğinin mikro yapısındaki sementit lamellerinin ince olmasından dolayı sertlik değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Yapılan aşınma deneylerinin sonucunda yumuşak yapıdaki perlitik çeliklerin sert yapıdaki beynitik çeliklere göre daha düşük aşınma gösterdiği görülmüştür [16].

Yokoyama H, Mitao S and Takemasa M., yüksek mukavemetli perlitik ray çeliklerinde yüksek aşınma ve hasar direnci ve perlitik ray çelikleri üzerinde yapılan deneylerde lameller arası mesafenin azalmasıyla ya da tane boyutunun küçültülmesiyle sertliğin, aşınmaya ve hasara karşı dayanımın arttığını ifade etmiştir [17].

Herian J and Aniolek K., çalışmalarında %0,74C'lu R260 perlitik ray çeliğine, 800°C'de ostenitleme, 15°C/s soğuma hızı ile 620°C, 570°C, 550°C ve 520°C sıcaklıklara soğutma, bu sıcaklıklarda 300 saniye fırında bekletme ve oda sıcaklığına soğutma uygulamıştır. SEM incelemelerinde, 32 perlit kolonisi saptanmıştır. Yapılan çalışmada, sıcak haddeleme sonrası mikro yapının perlitik ve ortalama lameller arası mesafenin 0,278 µm, sertliğin 274 BSD olduğu ifade edilmiştir. Isıl işlem sonrası lameller arası mesafenin daha az ve sementit lamellerinin daha ince olduğu belirtilmiştir. 620°C için ortalama lameller arası mesafe 0,173 µm iken sertlik 301 BSD'e yükselmiştir. 570°C için 0,141 µm ve 325 BSD; 550°C için 0,131 µm ve 338 BSD; 520°C için 0,119 µm ve 350 BSD değerleri ölçülmüştür. En yüksek sertlik ve en küçük lameller arası mesafe 520°C sıcaklığı için saptanmıştır. Sonuç olarak, perlitik mikro yapıda, 0,12-0,13 µm lameller arası mesafenin 340-350 BSD sertliği verdiği ve bunun sıcak haddeleme sonrası yapılan sabit sıcaklıkta soğutma ile sağlandığı ifade edilmiştir. Böyle bir yapının 800°C'de ostenitleme, 20-30°C/s soğuma hızı ile 520-550°C'de sabit sıcaklıkta soğutma ile elde edileceği ifade edilmiştir [18].

Baumann G., Knothe K. and Fecht H. J., düşük karbonlu perlitik çelik (UIC 860 V) üzerinde yaptıkları çalışmada raylarda sertliğin ve mekanik dayanımın, tane büyüklüğünün azalmasıyla arttığını gözlemlemiştir. Dayanımın ve sertliğin artmasıyla aşınmaya karşı dayanımın da arttığı görülmüştür [19].

Wetscher, F., Stock, R., Pippan, R., Liu, büyük kesme deformasyonu nedeniyle perlitik çeliklerinin mekanik özelliklerinin değişmesi adlı çalışmasında tam perlitik R260 ray çeliği oda sıcaklığında eş kanallı açısız presleme ile deforme edilmiştir. Mekanik özelliklerde ve mikro yapıda değişiklikler gözlemlenmiştir. Gerilme dayanımında artan ön deformasyon değişiklikleri, yorulma çatlak yayılma hızı ve kırılma tokluğu oluşmuştur. Bunun yanında sementit lamellerinin uyumu nedeniyle belirgin anizotropi gelişmiştir [20].

Singh, U.P., Roy, B., Jha, S., Bhattacharyya, S.K., haddelenmiş yüksek dayanımlı ray çeliklerinin mikro yapısı ve mekanik özellikleri adlı çalışmada beynitik çelikler demiryollarında uzun ömürlü kullanım elde etmek için ötektoid çeliklerin yerine kullanılmıştır. 13m'lik beynitik çelik imal edilmiş ve işlenmiştir. Bu rayın özellikleri yavaş soğutulmuş halde incelenmiştir. Beynitik demiryolu çeliklerinin sonuçları birinci sınıf perlitik ray çeliği ile karşılaştırılmıştır. Haddelenmiş ve yavaş soğutulmuş beynitik ray çeliğinin kırılma tokluğu, charpy darbe enerjisi ve dayanıklılık sınırı birinci sınıf ray çeliğinden daha üstün olduğu görülmüştür [21].

Sunwoo, H., Fine, M.E., Meshii, M., Stone, D.H., perlitik ötektoid ray çeliklerinin döngüsel deformasyonu adlı çalışmada perlitik ötektoid çeliklerde döngüsel deformasyon davranışı ince perlit içerisindeki döngüsel yumuşama ile lameller arasındaki güçlü bağa, kaba perlit içerisindeki döngüsel sertleşmeye ve orta perlit içerisindeki gerilim genliğinin döngüsel sertleşmesine ve yumuşamasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Döngüsel sertleşme işleminde periyodik olarak sertliği alınmış numunelerde dislokasyon hücrelerinin eşit olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Hücre boyutu azaldıkça gerilim genliği artmıştır. En küçük hücre oluşumu için gerekli olan lameller arasındaki oran ölçülmüştür. dislokasyon yapısındaki gözlemlere dayanarak döngüsel sertleşme ve yumuşama mekanizmaları önerilmiştir. Yorulmaya bağlı olarak yüzeyde meydana gelen mikro çatlaklar genellikle ferrit matris içerisinde oluşan ekstrüzyon ve intrüzyonlar ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Mikro çatlakların neredeyse tamamı sementit lamellerinin paralelinde ve çekme eksenine göre 30 ve 90 derece arasında yönlenmiştir. Mikro çatlakların başlangıç yüzeylerinde az miktarda MnS etkisi fark edilmiştir [22].

Kesti, E., "Ç - 4140 Çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerini araştırdıkları çalışmasında soğutma ortamı olarak yağ ve su üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanında normalizasyon işlemi yapılmış ve işlem görmemiş malzeme ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; su ortamında soğutularak sertleştirilen Ç-4140 çeliğinde çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir. Yağ ortamında soğutularak sertleştirilen çeliklerde ise böyle bir problemle karşılaşılmamıştır. Bu yüzden bu konuda yapılan çalışmalarda tercih edilen soğutma ortamı yağ olmuştur. Yapılan çalışmada yağ ortamında sertleştirilen malzemeye ait

çekme ve akma dayanımları, temperleme sıcaklığı artışıyla düşme göstermiştir. En yüksek çekme ve akma dayanımları 150°C'de görülmüştür. Çekme dayanım değerlerinde 300°C'de çok az bir düşüş, 450°C ve 600°C 'de ise ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. Akma dayanımlarında da çekme dayanımlarında olduğu gibi yüksek temperleme sıcaklığıyla beraber düşüş görülmüştür. Yağda sertleştirilen malzeme, 300°C'de temperlendiğinde darbe dayanımında düşüş olmuş yani temperleme gevrekliği etkisi görülmüştür. Suda sertleştirilmiş malzemedeki bu etki görülmemiştir. Suda, malzeme çok hızlı soğuduğundan karbür oluşumunun önüne geçilmiştir. 300°C üzerindeki temperlemelerde darbe dayanımında hızlı bir artış gözlemlenmiştir. Kopma uzaması ve kesit daralması temperleme sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Sertlik ise sıcaklık artışıyla beraber düşüş göstermiştir. En yüksek kopma uzaması ve kesit daralması değerlerine 600°C'de temperleme işlemi sonucunda ulaşılmıştır. Normalizasyon işlemi ile malzemenin mekanik özelliklerinde artış gözlemlenmiştir. Çekme ve akma dayanımlarında, mikro yapıdaki perlit yapısının incelmesi nedeniyle artış gözlemlenmiştir. Buna karşın darbe dayanımı, tane yapısındaki incelmeden dolayı düşüş göstermiştir [23].

Yılmaz, H., Ultrasonik muayene yöntemi kullanılarak Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı'ndaki ray kusurları tespit edilmiş, kusurların özellikleri belirlenmiş ve hatta meydana gelmesi beklenen ray gerilmeleri hesaplanarak, ray gerilme seviyesi ile ray kusurları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Ray kusurları 3 ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar; ray imalatı aşamasında oluşan kusurlar, uygun olmayan nakliye, montaj ve kullanım koşullarının neden olduğu kusurlar ve ray yorulması kusurları olarak belirlenmiştir. Bu kusurlar içindeki en tehlikeli tür, ray yorulması kusurları olduğu belirtilmiştir. Tekerlek-ray temas alanındaki yüksek gerilmelerin bir sonucu olarak ortaya çıkan yorulma kusurlarının, zaman içinde ray çeliğinin dayanımının düşmesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Genellikle ray yüzeyinde başlayan yorulma kusurları; trafik yükleri altında, ray kesitinde derinlere doğru ilerler ve ray kırılmalarına yol açtığı, bu kusurların, ortaya çıktığı bölgede hemen hemen sürekli bir form aldığı ve rayın daha fazla kırılmasına-ayrışmasına yol açtığı için oldukça tehlikeli olduğu belirlenmiştir. Raydaki yüzeysel ve içsel kusurları tespit etmek için tahribatsız muayene yöntemi olarak ultrasonik yöntem kullanılmıştır. Hat genelinde tespit edilen kusurların %83,95'i ray kaynaklarında, %16,05'i ise rayda ortaya çık-

mıştır. Alüminotermite kaynaklardaki kusur oranının, yakma alın kaynaklarındaki kusur oranından yüksek olması alüminotermite kaynakların, yakma alın kaynaklarına göre daha kötü bir performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile gelecekte yapılmasında fayda görülen, aynı hattın farklı trafik yüküne sahip kesimlerindeki raya etkiyen farklı dingil yükleri nedeniyle meydana gelmesi beklenen ray gerilmelerindeki değişimin, ray kusurlarına etkisinin incelenmesi konusuna ışık tutulması amaçlanmıştır. Bunun yanında, hattın farklı zamanlarda hizmete açılan kesimleri için, bu hat kesimlerindeki rayların kullanım ömrü, bakım koşulları, raylarda herhangi bir değişim veya bakım olup olmadığı gibi parametreler dikkate alınarak, hattaki ray kusurlarının incelenmesi ve değerlendirilmesi konusuna zemin oluşturulması amaçlanmıştır [24].

Osmanoğlu, T., AISI 304 kalite östenitik ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliklerin orijinal hallerinin ve soğuk deformasyona uğratılmış hallerinin mikro yapı, sertlik incelemeleri ve korozyon deneyleri yapıldığı çalışmalarında soğuk deformasyonlar basma ve çekme işlemleri ile yapılmıştır. Paslanmaz çelikler satın alındıkları durumda ve tavlama ısı işlemi yapılmış durumda kullanılmıştır. Böylece soğuk deformasyon oranının malzemelerdeki etkileri incelenmiştir. Tavlama ısı işleminin ve soğuk deformasyon oranlarının özelliklere etkileri her iki kalite paslanmaz çelik için kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Son olarak korozyon testi yapılmıştır. Korozyon dayanımı testi, hızlı korozyon testi olarak, 1 M HCl asit içerisinde farklı sürelerde bekletilerek yapılmıştır. Yapılan çalışmada her iki kalite paslanmaz çeliklerde deformasyon oranı arttıkça sertlik değerleri artmıştır. Artan deformasyon oranıyla AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin sertlik değerleri daha fazla artmıştır. Bu sonuç AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mukavemet değerlerinin deformasyonla daha etkili şekilde geliştirilebileceğini göstermiştir. Paslanmaz çeliklerin çekme dayanımı / akma gerilmesi oranı, soğuk deformasyon oranı arttıkça azalmıştır. Paslanmaz çeliklerin sertlik değerlerindeki artış oranı, deformasyon oranı arttıkça düşmüştür. Soğuk deformasyona uğratılmış paslanmaz çeliklerin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerdeki sertlik değerleri merkezlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon oranlarının artmasıyla mikro yapıdaki taneler daha fazla şekil değiştirmiştir. Yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde taneler deforma-

yon yönünde daha fazla uzamıştır. Tavlama ısı işleminden sonra paslanmaz çeliklerin sertlikleri azalmıştır [25].

Palabıyık, O., bileşiminde nikel alaşım elementi bulunan AISI 304 kalite ve bileşiminde manganez ve bakır alaşım elementi bulunan AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin çeşitli özellikleri karşılıklı olarak incelemiştir. İlk olarak ticari halleri ve normalleştirme ısı işlemi uygulanmış hallerinin mikro yapıları incelenmiş, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklerin normalleştirme ısı işlemi uygulanmış halleri ile ısı işlem sonrasında çeşitli oranlarda deforme edilmiş hallerinin, mikro yapı incelemeleri yapılmış, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş, sertlik değerleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar kapsamında AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler 1100°C'ye ısıtılan fırında 1 saat bekletilerek, suda soğutulmuştur. Ticari haldeki ve normalleştirme ısı işlemi uygulanmış haldeki paslanmaz çeliklerin mikro yapıları, mekanik özellikleri ve sertlik değerleri incelenmiştir. Normalleştirme ısı işlemi yapılmış çeliklere, çekme testi cihazında homojen şekil değiştirme bölgesinde, çeşitli oranlarda soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır. Çeşitli oranlarda soğuk deforme edilmiş haldeki ve normalleştirme ısı işlemi uygulanmış haldeki AISI 304 ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapı incelemesi yapılmış, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş, deformasyon ile sertlik değişimleri ölçülmüştür. Mikro yapı incelemesinde, normalleştirme ısı işlemi sonrasında yapının östenit tanelerden oluştuğu görülmüş, %34 ve %76 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerde, soğuk deformasyon ile, yapıda martenzit fazlarının arttığı ve anizotropik tane yapısının oluştuğu görülmüştür. Çekme testlerinde AISI 204Cu kalite ve AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerde artan deformasyon oranı ile akma mukavemeti ve çekme mukavemetinin arttığı, sünekliğin azaldığı belirlenmiştir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon ile mekanik özelliklerindeki artış, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerden yüksektir. Mikro yapı incelemesinde gözlemlenen, soğuk deformasyon ile oluşan martenzit fazları, AISI 204Cu kalite ve AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerin sertliğini 2 kat arttırmıştır [26].

Motameni Tabatabaei, A., R350 HT ve R260 kalite rayların mantar, gövde ve tabanlarında yorulma çatlak ilerleme davranışı incelenmiştir. Bu üç bölgedeki çatlak ilerlemeler dikey yönünde karşılaştırılmıştır. Ayrıca, R260 ve R350 HT rayların üç bölgesinin kırılma toklukları dikey yönünde (KIC) hesaplanmıştır. Rayın gövdesinden uzunlamasına kompakt kesme numuneleri KIIC kırılma tokluğunun yapılması için işlenmiş ve KIIC testi için özel yükleme aparatı imal edilmiştir. Kırılma tokluğu testi numuneleri ile yorulma çatlak ilerleme testi numunelerinin kırılma yüzeyleri fraktografik analize tabi tutulmuştur. R260 kalite ray çeliği için KIC değerleri gövdenin uzunlamasına yönünde, KIC değerlerinin 1.5 katı ölçülmüştür. Yorulma çatlak ilerlemesine karşı en yüksek direnci iki ray içinde rayın mantarı dikey yönünde göstermiştir [27].

Turan, M.E., R260 kalite tren raylarında kalıntı gerilmenin belirlendiği ve bunun mekanik özelliklere etkisinin incelediği çalışmasında EN 13674-1 standardına göre aynı döküm numarasına sahip altı adet R260 kalite raylarda kalıntı gerilme ölçümleri yapılmış, değerlerde farklılık gösteren raylardan numuneler alınarak mekanik özellikleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Kalıntı gerilme ölçümünün ardından bütün numunelere Brinell sertlik testi yapılmış, kalıntı gerilme ile sertlik arasında ilişki kurulmuştur. Ray mantarının RS (kalıntı gerilme ölçüm noktaları) ve merkez bölgesine özellikle dikkat edilmiştir. Kalıntı gerilme değeri en yüksek olan, kalıntı gerilme değeri en düşük olan ve ortalama değerlerde olan, toplam üç adet numune mikro yapı incelemelerine tabi tutulmuştur. Sertlik dağılımı yapılan bölgelerden optik mikroskop ile mikro yapı görüntüleri elde edilmiş, mantar bölgelerinin RS kısımlarından numuneler alınarak, gerekli metalografik prosedürler uygulandıktan sonra XRD ile faz incelemeleri, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Lameller arası mesafe ölçülerek, kalıntı gerilme ve mikro yapı arasında ilişkiler kurulmuştur. Tahribatlı yöntemle yapılan kalıntı gerilme ölçümüne ek olarak, tahribatsız yöntemlerden XRD yöntemi kullanılarak seçilen bu üç ray numunesine kalıntı gerilme ölçümü yapılmıştır. Böylelikle bu iki yöntem kendi aralarında kıyaslanmıştır. Kalıntı gerilme ölçümlerinin ve yapılan mikro yapı analizlerinin ardından bu üç ray numunesine çekme testleri yapılmıştır. Akma, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri kaydedilmiş kalıntı gerilme değerleriyle ilişki kurulmuştur. Kalıntı gerilme değeri en yüksek olan rayda sertlik değerleri en fazla çıkmıştır. RS bölgelerinde yapılan incelemeler neticesinde,

kalıntı gerilme değeri en yüksek olan rayın lameller arası mesafe değeri en düşük çıkmıştır. Bu bölgede optik mikroskop görüntülerine bakıldığında ferrit yapının en az olduğu görülmüştür. Kalıntı gerilmesi en düşük olan rayın akma ve çekme mukavemeti en düşük, kalıntı gerilme değeri en yüksek olan rayın akma ve çekme mukavemeti en yüksek çıkmıştır [28].

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde hatlarda kullanılan S49 tipi rayların plastik deformasyona uğradıktan sonra tekrar doğrultulmaları ve kalıntı gerilmelerinin tespiti ile ilgili kısıtlı çalışmalar olmakla birlikte ray deformasyonu sonucu rayda oluşan kalıntı gerilmelerin ne yönde değiştiği ve tekrar bir plastik deformasyon ile doğrultma yapıldığında oluşan kalıntı gerilmeleri sonrasında tren raylarının kullanılabilirliğine bir bakış sunan deneysel çalışmaların olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında plastik deformasyona uğramış S49 tipi rayların doğrultulması için kontrollü ısıtma yapabilen bir cihaz yardımıyla kabul edilebilir kalıntı gerilmelerinin belirlenmesi için çalışma yapılmıştır. Literatürde bahsedildiği gibi çelik malzemelerde perlitik dönüşüm 723°C sıcaklığın üzerinde gerçekleşmektedir [14]. Bu çalışmada 200°C ve 300°C doğrultma sıcaklıkları kullanılmıştır. Bu sıcaklıklar, doğrultma maliyetleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Zira raylarda istenen perlitik yapının muhafaza edilmesi sağlanarak artan doğrultma sıcaklıklarıyla malzeme özellikleri değiştirilmeden kalıntı gerilmelerinin standart değerlerin altında kalması sağlanmıştır.

2. RAY

Demiryolu: Adına tren dediğimiz çeken ve çekilen araçlardan meydana gelen taşıt dizisinin üzerinde hareket ettiği, bir çift ray dizisi ile, bu diziyi meydana getiren tesislerin tümüne denir [29].

Ray: Şekil 2.1’de görüldüğü gibi araçlarının tekerleklerine en az direnimi gösterecek bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan ve tekerlekleri kılavuzlayan, ayrıca dingillerden aktarılan kuvvetleri traverslere aktaran dökme çelikten yapılmış üstyapı malzemesidir [30].

1840’lardan sonra tüm dünyada demiryolu kullanımında artış gözlemlenmiştir. Demiryolu, yük ve yolcu taşımacılığında önemli bir ulaşım aracı haline gelmiştir [31]. Demiryolunun önem kazanmasıyla birlikte ray üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Performans artışını sağlamak için raylarda ihtiyaç duyulan ana özellikler; aşınma, yorulma ve plastik deformasyon direnci, kalıntı gerilmelerin giderilmesi ve kolay kaynaklanabilmedir. Yüksek aşınma direnci perlitik ray çeliklerinin sertlik değerlerinin arttırılması ve metalurjik yapılarındaki gelişmeler ile mümkündür [32].



Şekil 2.1. UIC 60 ve S49 ray

2.1 Rayların Görevleri ve Özellikleri

Rayların görevi: Demiryolu araçlarında, yuvarlanma yüzeyinde sürtünmeyi en aza indirmek, demiryolu tekerleklerini kılavuzlamak, demiryolu araçlarından intikal eden kuvvetleri traverse aktarmaktır [33].

Rayların özellikleri: Raylar aşınmaya, basınca, yorulmaya ve gevrek kırılmaya karşı yüksek dayanım özelliğine sahiptirler. R260 kalite çelik olan ray çeliklerinin akma dayanımı ve gerilme mukavemeti yüksektir. Kolay kaynaklanabilme özelliğine sahiptirler. Yüksek saflıktadırlar. Yüzey kalitesi bakımından çok iyidirler. Üretim sonrası ray içerisinde kalıntı gerilme az miktardadır [33].

2.2 Rayların Profilleri

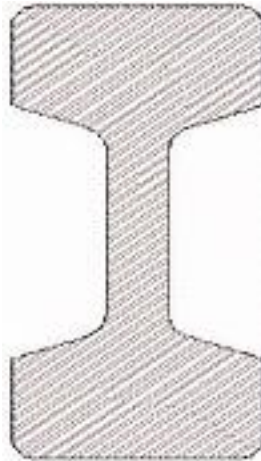
Demiryolu taşımacılığının gelişmesi ile birlikte yolcu ve seyir konforu açısından rayların şekil ve özelliklerinde önemli değişimler olmuştur. Günümüzde en çok oluklu raylar ve tek mantarlı raylar (vinyol) kullanılmaktadır [33].

Oluklu Raylar: Şekil 2.2’de görülen oluklu raylar tramvay hatlarında kullanılır. Ayrıca demir yolu ve kara yolunun aynı seviyede kesiştiği yerlerde (hemzemin geçit), kara yolu, yaya yolu, demir yolunun aynı güzergâh içinde bulunması durumunda ve özellikle rıhtım hatlarında kullanılır [33].



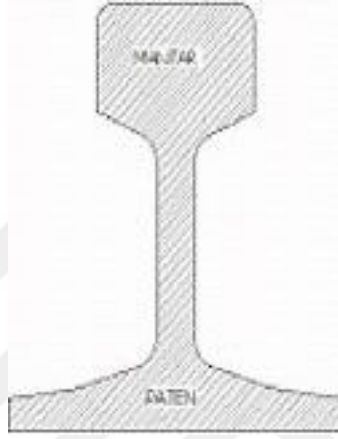
Şekil 2.2. Oluklu ray kesiti [34]

Çift Mantarlı Raylar: Şekil 2.3’de görülen çift mantarlı raylar simetrik bir şekil arz edip bir alt bir de üst mantardan meydana gelir. Bu rayın ortaya atılışındaki fikir üst mantarın aşınmasından sonra rayın çevrilmesiyle alt mantarın kullanılmasıydı. Ne var ki üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler nedeniyle aşınmasından ötürü kullanılmasının imkansız olduğu anlaşıldı. En son bu rayı kullanan İngilizler de 1938 yılında bundan vazgeçtiler. Şimdi sadece Fransa'nın bazı bölgelerinde ikinci derecede hatlarda kullanılmaktadır [33].



Şekil 2.3. Çift mantarlı ray kesiti [34]

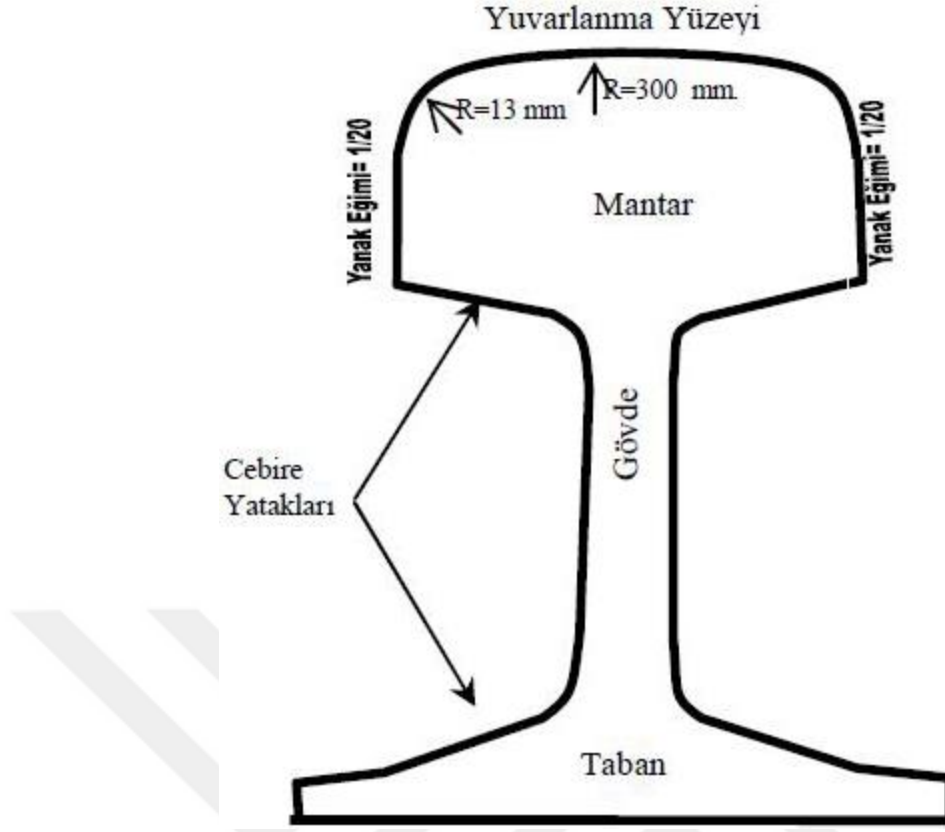
Vinyol Raylar: Şekil 2.4’de görülen patentli ray, traverse bağlantısını sağlayan ve genişlemiş bir dayanma tablası ile tek yuvarlanma yüzeyinden oluşur. Bunu bulan İngiliz mühendis Vinyol’ün ismi verilmiştir. Çift mantarlı rayların birçok sakıncasını ortadan kaldırmaktadır. Kolaylıkla traversler üzerine monte edilebilir. Demir traverslerde doğrudan traverse oturur ahşap ve betonarme traverslere seletler yardımıyla oturtulur.



Şekil 2.4. Vinyol ray kesiti [34]

2.3 Rayların Bölümleri

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi raylar; mantar, gövde ve taban olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Tekerlekle doğrudan doğruya temasta bulunan mantar, yuvarlanma yüzeyinin bombeliği, yüksekliği ve yanaklarının eğimi ile belirtilir. Bombelik yarıçapı 200-500 mm arasında ve mantar yanakları eğimi 1/20 olmalıdır. Ray mantarı üst köşelerinin yarıçapı bandaj boğaz yarıçapı ile eşit olup $R=13$ mm’dir. Mantar ile taban arasında, rayların birbirine cebire ile bağlanmasına imkan veren kısım gövde kısmıdır. Rayların traverse basmasını ve tespitini sağlayan taban kısmıdır. Ray tabanının geniş olması rayın selete sağlamca oturmasını ve devrilmemesini sağlar. Geniş tabanda traverse gelen gerilmeler azalacağından travers daha az yorulur. Raylar daha önceleri kullandıkları hat bölgesine göre isimlendirilmiştir. Günümüzde UIC standartlarına uyularak, bir metresinin ağırlığına göre isimlendirilmektedir [35].



Şekil 2.5. Ray Kısımları [34]

2.4 Rayın Kimyasal Bileşenleri

Ray çeliğinin bileşiminde demirden başka karbon, silis, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan karbon, silis ve manganezin belli miktarlarda bulunması, rayı daha mukavemetli hale getirmesi açısından faydalıdır. Fosfor ve kükürt ise çelik bünyesinden tamamen çıkarılamayan zararlı elementlerdir.

Karbon: Çeliğin mukavemetini artırır, ancak malzemenin daha gevrek olmasına neden olur. Ray çeliği içindeki karbon miktarı % 0,4-% 0,6 arasında olmalıdır.

Silis: Çeliğin oksidasyonunu zorlaştıran bir element olup ayrıca malzemenin daha akıcı, yoğun ve ince zerreli, homojen olmasına neden olur. Ray çeliği içindeki silis miktarı % 0,35-% 0,5 arasında olmalıdır.

Manganez: Çeliği sert ve mukavemetli yapar. Ray çeliği içindeki manganez miktarı karbonun 2-3 katı, % 0,8-% 2,1 arasında olmalıdır.

Fosfor: Çeliğin daha sert olmasını sağlamasına rağmen, elastikiyetin azalmasında karbondan daha çok etkilidir. Bu nedenle ray çeliği içindeki fosfor miktarı on binde % 0,03-% 0,08'den fazla olmamalıdır.

Kükürt: Ray çeliğinin içinde kükürt bulunması istenmez. Ancak tamamen çıkarılmasıdaki zorluklar nedeniyle, % 0,06'ya kadar kabul edilir [36].

2.5 Rayların Mekanik Özellikleri

Günümüzde taşıma gücünü artırarak daha fazla dingil basıncı ile yüksek hızlarda işletmecilik yapmak ihtiyacı ray kesitinin büyütülmesi ile sağlanabilmektedir. UIC standartlarına göre ray çeliğinin çekme mukavemeti $70-85 \text{ kg/mm}^2$ olarak tayin edilmiştir. Ray aşınmayacak kadar sert fakat kırılmayacak kadar esnek yapıda olmalıdır. Mantar kısmı sertleştirilen raylar % 0,78 oranında karbon ve % 0,9 oranında manganez içermektedir. Rayların mantar kısmı elektrik veya gaz kullanılarak $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ 'a kadar ısıtılır ve daha sonra sıcaklık saniyede $3-4 \text{ }^\circ\text{C}$ oranında azaltılarak $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'a düşürülür. Bu şekilde sertlik oranı 280 BSD'den 360 BSD (Brinell sertlik değeri) değerine yükseltilir. Sertlik değerleri 300-400 BSD arasında değişir. Ray uçlarında ve mantarında bu şekilde yapılan sertleştirmeler genellikle 14 mm ile 40 mm arasında bir derinlik bölgesi elde edilir. Kimyasal birleşimlerinde değişiklik yapılarak rayın mukavemet gücü artırılabilirse de bu durumda rayın yüksek mukavemetli olması tren tekerleğinin rayla temas eden kısmı olan tekerlek bandajının daha çabuk aşınmasına neden olur. Karbon ve manganez miktarının artırılması rayı daha gevrek hâle getireceğinden kırılmalara neden olur [37].

2.6 Ray Ebatları

TCDD'de kullanılan rayların ebatları aşağıdaki çizelge 2.1'de verilmiş olup demir yollarında konvansiyonel hatlarda metre başına ağırlığı 49 kg olan S49 tipi ray kullanılmaktadır. Demir yollarının hızlı tren hatlarında ise metre başına ağırlığı 60 kg olan UIC60 tipi ray kullanılmaktadır. Hafif raylı sistemlerde ise farklı ve daha küçük kesitte raylar kullanılmaktadır [33].

Çizelge 2.1. Ray ebatları [33].

Rayın cinsi (kg/m)	Taban genişliği (mm)	Yüksekliği (mm)	Mantar genişliği (mm)	Gövde kalınlığı (mm)
60.340	150	172	72	16,5
49.050	125	148	67	14
49.430	125	149	67	14
46.303	134	145	64	15
39.520	120	138	62	12

2.7 S49 Ve UIC60 Ray Seçimini Etkileyen Diğer Faktörler

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 ile % 40 arası azalma olduğu gözlemlenmiştir. 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 [2].

Çizelge 2.2'de günlük trafik yükleri için seçilecek ray tipleri gösterilmiştir. Ray kesitinin seçiminde trafik yükü ve seyir hızları birinci etkindir.

Trafik Yüğü: Standart açıklıklı hatlarda, hafif trafik yüğü için S49 ve UIC54, orta ve ağır trafik yükleri için ise UIC60 ray profilleri tercih edilir.

Yoğun trafik, daha fazla dingil yüğü, 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 [2].

Çizelge 2.2. Günlük Trafik Yükleri için Seçilecek Ray Tipleri [38].

Günlük Trafik	Ray tipi
<25000 ton	49 kg/m-54 kg/m
25000-35000 ton	Ahşap traversler 49kg/m-54 kg/m Beton traversler 60 kg/m
>35000 ton	60 kg/m

Yani ağır rayların kullanımı, ağır yük durumunda taşımacılık için tasarlanmıştır. Ayrıca “UIC-724 Balastlı yollarda 25 ton (250kN) dingil basıncı için yol ekipmanı” adlı teknik şartnamesindeki R260 kalite UIC60 raylarının alıyman ve büyük yarıçapa sahip kurplarda (yolun eğri gelen kısmı) 25 ton aks yükünde çalışmasında dahi bir sorun olmayacağı belirtilmektedir.

Seyir Hızları: 100 km/h hızı geçildiğinde ve yüksek hızlı tren raylarında 60 kg/m ve üstü raylar tercih edilmelidir. Raylarla ilgili genel bir bilgi olarak; raylar bandajla devamlı temas halinde bulduklarından dolayı birbirlerini aşındırırlar. Rayın yüksek mukavemetli olması bandajın raydan fazla aşınmasına, bandajın yüksek mukavemetli olması rayın fazla aşınmasına sebep olur. Asıl amaç, ray ve bandajın beraberce aşınmasının en düşük düzeyde olmasını sağlamaktadır. Yani tekerleğin ve rayın sertliği aynı değerlerde olmalarıdır. Böylece kullanım ömrü artacaktır. Ayrıca rayların yorulma ve aşınması, ray ömrünün belirlenmesinde önemli iki mekanik davranış şeklidir. Yorulma, bir malzemede tekrarlı yüklerin etkisi ile oluşan gerilmenin yorulma

limitine ulaştığı zaman malzemenin mekanik dayanımının kademeli olarak azalmasıdır. Yorulma test edilirken, ray veya kaynak en az 2 milyon defa yorulma gerilmesine kadar sürekli yüklenir ve hiçbir çatlak olması istenmez. Aşınma ise düşey ve yanal aşınma olarak kendini göstermektedir. Bu bilgilere dayanarak “UIC 715-2 Ray değerlendirilmesi için tavsiyeler” teknik şartnamesinin 1.1.2. nolu maddesinde de belirtildiği üzere; yorulma dayanımına bağlı nedenlerle UIC60 rayının, ağır yük taşımacılığı yapılan konvansiyonel hatlarda ve hızlı tren yollarında tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

2.8 Demiryolu Hattında Meydana Gelen Bozulmalar

Güvenlik, hız ve konfor her demiryolunda göz önüne alınan önemli parametrelerdir. Tecrübelerle belirlenmiş olan bu ekonomik tasarım diğer teknik gelişmelere karşın neredeyse değişmeden kalmıştır. Yaklaşık 100 yıldır demiryolu hattı için yeni tasarımlar araştırılmasına karşın geleneksel demiryolu hattından daha iyi bir sistem bulunamamıştır [39].

Demiryolu hattının yatayda ve düşeydeki konumuna demiryolu hattı geometrisi denir. Hattın, olması gereken geometrik konumdan sapmasına hat geometrisinin bozulması adı verilmektedir. Hat geometrisi başlıca iki grupta incelenir. İlki yatay geometri diğeri ise düşey geometridir. Demiryolu hat geometrisinde meydana gelen bozulmaları düşey geometrinin ve yatay geometrinin bozulması şeklinde sınıflandırılabilir. Demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar; burulma, hat genişliğinin bozulması, demiryolu hattının ekseninden sapmasıdır. Her bir rayın yatay ve düşey doğrultuda iki serbestlik derecesi vardır. Bu sebepten dolayı demiryolu hattında meydana gelen bozulmalar her bir ray için değişiklik gösterebilir. Demiryollarında güvenliği ve konforu sağlamak için, dinamik yükleri, gürültüyü ve titreşimleri azaltmak için, hat bozukluğu ve ray ondülasyonlarının kontrolü ile ilgili hedefler belirlenmeli ve hat düzenli aralıklarla kontrol edilmelidir [39].

Düşey geometrinin bozulması: Demiryolu hattında aynı özellikleri taşıyan hat kesimlerinin bozulma oranları arasında önemli farklılıklar olabilmektedir. Bu farklılığın

sebebi hattın yaşı, inşaat şekli gibi çeşitli sebepler olabilir. Bu sebeple hattın bozulmasıyla ilgili bir değerlendirmeye gidileceği zaman hattın bozulmasını etkileyen tüm parametrelerin göz önüne alınması gerekir. Özellikle gelecekle ilgi iş planlarının hazırlanmasında, hat geometrisini ve bozulma oranını etkileyen faktörlerin incelenmesi çok önemlidir. Bozulmaların belirlenmesi için yapılan incelemelerde; hattın rijitliği ve geometrinin spektral kompozisyonu, araçlardan kaynaklanan dinamik yükler üzerinde önemli bir etkiye sahip olan geometrideki, diğer faktörlerle birlikte ortaya konmalıdır. Demiryolu hattının düşey geometrisi, hattın belli bir uzunluğunda bulunan traverslerin farklı oturma yapılarından dolayı bozulur. Traverslerin farklı oturma yapması balast içindeki düzensizliklerden ve farklı yüklerle maruz kalmasından kaynaklanır. Balast; demiryolu platformu üzerine serilen, taşıdığı travers cinsine ve gelen yüke göre belli bir tabaka kalınlığı olan 30 mm ila 60 mm çapında köşeli ve yeterli sertlikteki taşların kırılması ile elde edilen dinamik ve statik etkileri daha yayılı şekilde raylar ve traversler vasıtası ile altyapı platformuna aktaran kırma taş tabakasıdır. Her bir traversin taşıdığı yük; araçların dinamik yüküne, ray doğrultusundaki bozukluklara, komşu traversler arasındaki mesafeye ve traversleri destekleyen elastik yatağa bağlı olarak değişir. Özet olarak demiryolu hattında düşey geometride meydana gelen bozulmalar 3 sebebe bağlanabilir. Bunlar; Taşıt yüklerindeki farklılıklar, farklı balast oturmaları ve rayın şeklindeki düzensizliklerdir [40].

Yatay geometrinin bozulması: Demiryolu hattında yatay geometride meydana gelen bozulmalar oldukça karmaşıktır. Düşey geometrinin aksine, yatay geometride ray ve tekerlek arasında sabit bir ilişki yoktur. Bu sebeple farklı hızlarda farklı araçlar, yatay geometride ters yönlerde meydana gelen kuvvetlere maruz kalırlar. Uzun kaynaklı raylarda meydana gelen termal kuvvetler ve büyük devalerde (eğim) yerçekimi etkisi yatay geometriyi bozabilir. Taşıtların yatay kuvvetlerinin matematik modelinin kurulması oldukça zordur. Çünkü yağmur gibi pek çok parametre olayı etkilemektedir. Araştırmalar yatay geometrinin düşey geometriye göre çok büyük bir problem olmadığını göstermiştir. Yatay geometrideki bozukluklar belirlendiği ve düzeltildiği zaman yeniden görülme sıklığı çok azdır. Yatay geometrideki bozulmalar düzeltilmelerine rağmen yeniden görülüyorsa muhtemelen hattın sürekliliğinde bir sorun vardır ve bunlar genellikle makaslarda ve çaprazlarda meydana gelirler [40].

2.9 Ray Doğrultma

Ray doğrultma işlemi şekil 2.6'da görüldüğü gibi bir hidrolik presle raya kuvvet uygulanması şeklinde gerçekleştirilmektedir.




Şekil 2.6. Hidrolik presle ray doğrultma

Daha önceden alevle ray doğrultma işlemi uygulanmış olup, bu yöntemde rayda martenzit oluşumu gözlemlendiği için vazgeçilmiştir. Rayı doğrultmak için raya hidrolik presle kuvvet uygulanacağından, rayda kalıntı gerilmeler oluşması kaçınılmazdır. EN13674-1 ray standardında izin verilen maksimum boyuna yönde kalıntı gerilmesi tabanda 250 MPa'dır. Kalıntı gerilmelerini minimum seviyede tutabilmek için ray ısıtılacaktır. Fakat çıkılacak sıcaklık ray mikro yapısında değişikliğe sebep olmayacak bir sıcaklık olmalıdır. Bu yüzden sıcaklıklar dönüşüm sıcaklığının (723°C) altında belirlenmiştir. Bu sıcaklıklar belirlenirken ray doğrultma maliyetleri göz önüne alınmıştır.

S49 ray çeliğinin numune kalitesi R260 'dır. R260 kalite çeliklerin hadde işareti, cinsi, asgari çekme mukavemeti, minimum uzama değeri Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. R260 kalite ray çeliğinin mukavemet değerleri [41].

Çelik türü	Sertlik aralığı BSD	Asgari Çekme Mukavemeti MPa	Minimum % uzama	Cinsi	Hadde işareti (Sembol)
R 260	260-300	880	10	Karbon-mangan çeliği (C-Mn)	

R260 kalitesindeki S49 ray çeliğinin kimyasal bileşimleri Çizelge3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. S49 ray çeliğinin kimyasal bileşimi [41].

Çelik kalite numunesi	% Ağırlık									
		C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}	Cr _{max}	Al _{max}	V _{max}	N _{max}
R260	Sıvı	0,62 0,80	0,15 0,58	0,70 1,20	0,025	0,008 0,025	0,15	0,004	0,030	0,009
	Katı	0,60 0,82	0,13 0,60	0,5 1,25	0,030	0,008 0,030	0,15	0,004	0,030	0,010

Kalıntı elementlerinin izin verilen maksimum miktarı ise % ağırlık oranıyla Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. S49 ray çeliğinde kalıntı elementlerinin izin verilen maksimum miktarları [41].

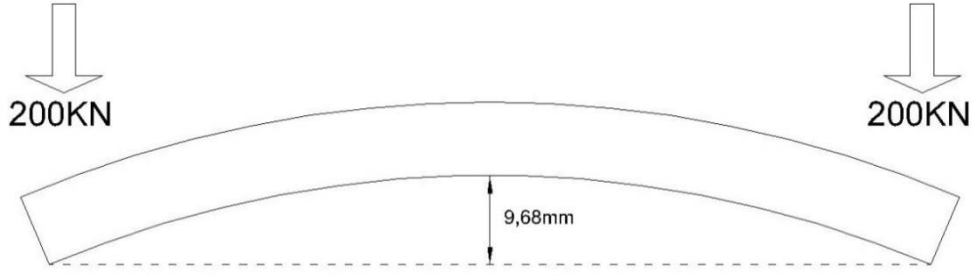
	Mo	Ni	Cu	Sn	Sb	Ti	Nb
R260	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,01

TCDD’ de hatta kullanılmış S49 ray’dan 3 ayrı deney düzeneği için 3’er adet ray numuneleri alınmıştır. Yatay ray bükme makinesinin özelliklerine bağlı olarak ray numuneleri 1500 mm uzunluğunda Şekil 3.2’deki gibi kesilmiştir.



Şekil 3.2. Ray numuneleri

Her bir numuneye oda sıcaklığında Şekil 3.3’deki gibi eğme işlemi uygulanmıştır. Yatay ray bükme cihazına yerleştirilen 1500 mm uzunluğundaki ray numunesinin her iki ucuna hidrolik pompa yardımıyla 200 KN kuvvet uygulanarak eğme işlemi uygulanmıştır. Ray bükme cihazının iki tarafında bulunan bükme kamaları yardımıyla bükme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bükme kamalarının üst kısmında ray mantarına basan çeneler, alt kısmında tabana basan çeneler bulunmaktadır. 1500 mm ray numunesi için elastik deformasyon sınırı belirlendikten sonra ray numuneleri ortalama 9,68 mm’lik plastik deformasyona uğratılmıştır.



Şekil 3.3. Ray eğme işlemi

Ray numunelerinin bükülmesi ve doğrultulması için TCDD’de kullanılan Şekil 3,4’deki GEİSMAR marka JB 40 model ray bükme makinesi ikiz kenar üçgen biçiminde birleştirilmiş bir şaseden oluşmaktadır. Üçgenin iki eşit tarafında bükme kamaları bulunmaktadır. İki kama arası mesafe 1000 mm’dir. Bu kamalar 6 mm çapında ray eğimi verebilmekte ve her bir kama 200 kN kuvvet uygulayabilmektedir. Bükme kamalarının strok mesafesi 110 mm’dir. Bükme kamalarının ucunda 2’şer adet sabit çene bulunmaktadır. Bu çeneler değiştirilebilir özelliktedir. Üst kısımdaki çeneler ray mantarına, alt kısımdaki çeneler ise ray tabanına basmaktadır. Ray tabanına basan çene kalınlıkları sabittir (5mm). Ray mantarına basan çeneler ise bükülecek olan ray tipine göre değişiklik göstermektedir. Bükme kamaları raya çift kademeli elle kumandalı pompa yardımıyla kuvvet uygulamaktadır.



Şekil 3.4. Yatay ray bükme makinesi

Oda sıcaklığındaki 3 adet ray numunesi herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmadan yatay ray bükme makinası ile doğrultulmuştur. Isıtma işlemi uygulanacak ray numuneleri TCDD’de kullanılan SH4 model ray ısıtma cihazı yardımıyla ısıtılmıştır. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda doğrultma işlemi uygulanması hedeflenen ray numunelerinin düzeltilmeden önce ve düzeltildikten sonraki sıcaklık değerleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Literatürde bahsedildiği gibi çelik malzemelerde perlitik dönüşüm 723°C sıcaklığın üzerinde gerçekleşmektedir [14]. Bu çalışmada 200°C ve 300°C doğrultma sıcaklıkları kullanılmıştır. Zira raylarda istenen perlitik yapının muhafaza edilmesi sağlanarak artan doğrultma sıcaklıklarıyla malzeme özellikleri değiştirilmeden kalıntı gerilmelerinin standart değerlerin altında kalması sağlanmıştır.

Çizelge 3.4. S49 tipi ray numunelerinin düzeltilmeden önce ve düzeltildikten sonraki sıcaklık değerleri

300°C sıcaklığa ısıtılan ray numuneleri			
Numune No	Düzeltilmeden önce (°C)	Düzeltildikten sonra (°C)	Ray Sıcaklığı (°C)
1	332	283	34.9
2	303	289	30
3	302	268	29
200°C sıcaklığa ısıtılan ray numuneleri			
Numune No	Düzeltilmeden önce (°C)	Düzeltildikten sonra (°C)	Ray Sıcaklığı (°C)
1	232	196	34.9
2	224	189	30
3	239	198	29

TCDD’de kullanılan Şekil 3.5’deki SH4 model ray ısıtmada kullanılan makine brülör altlığı ve silindir tutucu alt takımı ve paralel raylar boyunca ilerleyen silindir monte dengeleme çubuğu içermektedir. Brülör altlığı ve silindir tutucu alt takım boru şek-

linde bir gövdeyle diğer parçalara birleştirilmiştir. Gövdenin altında; yüksekliği ayarlanabilir 2 adet tekerlek, 1 adet ray ısıtma işlemi için gerekli aygıtları birleştiren dağıtım paneli, 4 adet brülör ve taşıyıcıları, 2 adet ayar kolu, 1 adet çıkarılabilir arka kapak (2 adet brülör için 1 adet bağlantı ve koruma plakası ve 1 adet sürgülü taşıma barı içerir).



Şekil 3.5. Ray ısıtıcı cihaz



Şekil 3.6. Ray ısıtma işlemi

Ray ısıtma cihazının üzerindeki tüpte bulunan propan gazı cihazın sağ ve sol kısmındaki 2'şer adet brülör vasıtasıyla yakılarak raya ısıtma işlemi uygulanmıştır. Brülör-

lerden çıkan alevler raya direk temas etmektedir. Isıtma süresi boyunca ray ısıtma cihazı ray üzerinde sürekli olarak hareket ettirilerek rayın homojen olarak ısınması amaçlanmıştır. Isıtma işlemi esnasında termal kamera yardımıyla rayın mantar, gövde ve taban kısmındaki sıcaklık değişimleri sürekli olarak ölçülmüştür. Bu işlemin alevle ray doğrultmadan farkı sıcaklığın kontrol edilebilir olmasıdır. 200°C sıcaklığa ortalama 10-11 dakikada çıkılırken, 300°C sıcaklığa 14-15 dakikada çıkmıştır. İstenilen sıcaklıklara çıkıldığı anda rayın soğumasına izin verilmeden doğrultma işlemi bir dakikanın altındaki sürelerde yapılmıştır. Doğrultma işlemi yapılan sıcaklıklar doğrultma maliyetleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Rayın yapısal ve mekanik özelliklerinde değişim olmaması için belirlenen sıcaklıklar dönüşüm sıcaklığının altındadır.

3.2 Kimyasal analiz

Kimyasal analiz için TCDD’de Şekil 3.7’de görülen SPECTROLAB marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Laboratuvar Tipi Optik Emisyon Spektrometre Cihazı

S49 rayların kimyasal bileşiminin istenilen değer aralıklarında olup olmadığını belirlemek amacıyla ray malzemesinden çıkarılan numunelerin kimyasal analizleri TCDD’de kullanılan optik emisyonlu spektrometre ile düşük alaşım programında 3 ayrı numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır. Şekil 3.8’deki gibi numuneler rayın

mantar bölgesinden alınmıştır. Numune yüzeyleri taşlama işlemine tabi tutulmuş, taşlanan yüzeyler zımparalanmış ve parlatılmıştır.



Şekil 3.8. Rayın mantar bölgesinden alınan numune örnekleri

3.3 Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme TCDD’de Şekil 3.9’da görülen Nikon ECLIPSE MA200 optik mikroskop ve Şekil 3.10’da görülen Quanta 450 Feg Taramalı Elektron Mikroskobu ile yapılmıştır.



Şekil 3.9. Optik mikroskop

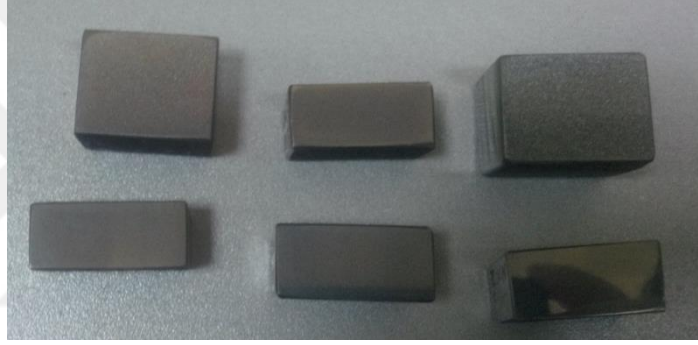


Şekil 3.10. Quanta 450 Feg Taramalı Elektron Mikroskobu

Eğme ve doğrultma işlemi uygulanmış ray numunelerinin içyapısındaki değişimleri belirlemek amacıyla mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Optik mikroskopta TS 3868 ISO 4967 Metot A'ya göre 100X büyütme taramalı elektron mikroskobunda 15000X büyütme yapılmıştır. Numuneler 25°C'de teste başlamadan 24 saat önce şartlandırılmıştır. 1 nolu numune mantar, 2 ve 3 nolu numuneler taban bölgesinden alınmıştır. İncelemeler TS EN 13674-1 standardına göre yapılmıştır. Yüzeydeki pürüzlülüğü ve deformasyon tabakasını gidermek amacıyla taşlama işlemine tabi tutulmuş ray numuneleri Şekil 3.11'deki TCDD'de bulunan zımparalama ve parlatma cihazı ile zımparalanmış ve parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler oksitlenmeyi önlemek amacıyla alkolle yıkanmıştır. Gerçek içyapı özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla yüzeyler %4 Nital ile dağlanmıştır. Metalografik incelmeye tabi tutulmuş ray numuneleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 3.12. Metalografik inceleme için hazırlanmış deney numuneleri

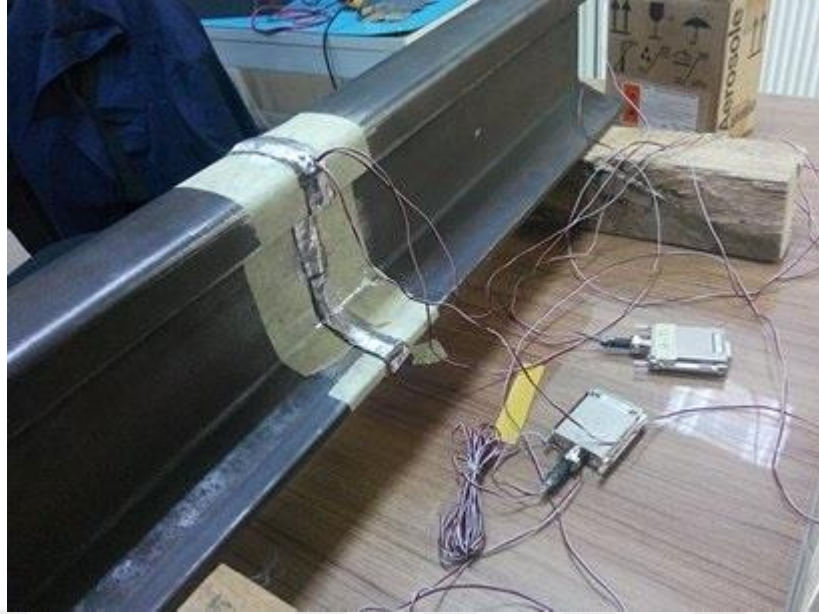
3.4 Kalıntı gerilme deneyi

Kalıntı gerilme deneyi TCDD’de Şekil 3.13’de gösterilen İmc Cronos Flex Veri Toplama ve Kontrol Sistemi cihazı ile yapılmıştır.

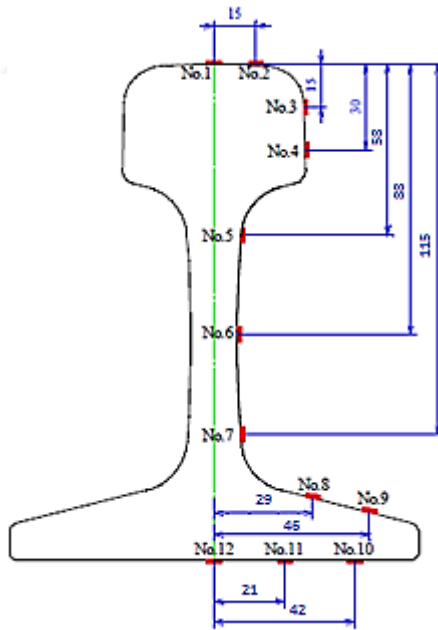


Şekil 3.13. Kalıntı gerilme ölçüm cihazı

Herhangi bir işlem görmeyen, oda sıcaklığında eğildikten sonra ısıtılmadan doğrultulan, 200°C ve 300°C sıcaklığa ısıtıldıkları anda doğrultulan ray numunelerinde kalıntı gerilme ölçümleri UIC/WEC yöntemine göre yapılmıştır. Rayın mantar, gövde ve taban bölgelerine gerinim ölçerler Şekil 3.14'deki gibi bağlanmıştır. Rayın orta noktası temizlenerek 16 adet gerinim ölçer Şekil 3.15'deki gibi 4 adet mantar, 3 adet gövde, 5 adet taban olmak üzere belirlenen ölçülerde yerleştirilmiştir. Raylarda elastisite modülü değeri 210GPa, gerinim faktörü 2.155 olarak girilmiştir. Gerinim ölçerler 350 Ω 'luktur. Gerinim ölçerler 5 volt ile beslenmektedir. Balans ayarında oluşan gerilmelerin kalıntı gerilme olarak algılanmaması için cihaza sıfırlama işlemi yapılmıştır. Eğme ve doğrultma işlemine tabi tutulan numunelerde sıcaklık artışına bağlı olarak kalıntı gerilmelerin değişimi belirlenmiştir.



Şekil 3.14. Gerinim ölçerlerin bağlanması



Şekil 3.15. Gerinim ölçerlerin yapıştırma noktalarının şematik gösterimi

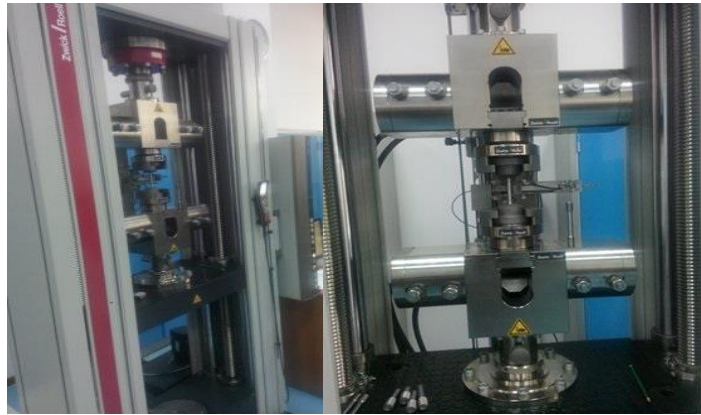
Gerinim ölçer bağlanmış numune 3.16'daki gibi orta noktasının sağından ve solundan 100'er mm genişliğinde temizlenmiş ve kesilmiştir. Herbir kesim esnasında ray numunesi içerisinde oluşan kalıntı gerilmeler ölçülmüştür.



Şekil 3.16. Ray numunesinin kesilmesi

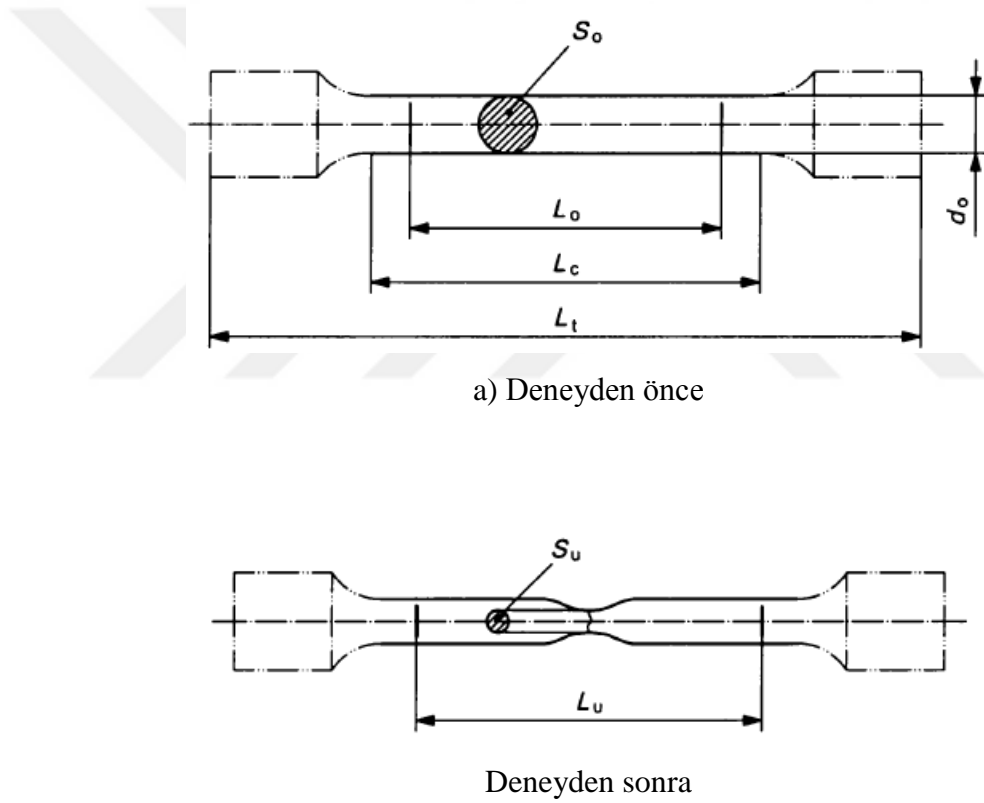
3.5 Çekme deneyi

Çekme deneyi TCDD'de Şekil 3.17'de gösterilen 250kN Üniversal Elektromekanik Test Sistemi cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.17. 250 KN Üniversal Elektromekanik Test Sistemi

Eğme ve doğrultma işlemi uygulanan ray numuneleri TS EN ISO 6892-1 EK D' ye göre Şekil 3.18'deki gibi işlenmiştir. İşlenen numuneler çekme cihazının çenelerine bağlanmıştır. Numune bağlandıktan sonra sağlıklı ölçüm alabilmek için cihaz sıfırlanmıştır. Çekme işlemi TCDD'de kullanılan 250 KN universal elektromekanik test sistemi ile TS EN ISO 6892-1(METOD B)' ye göre yapılmıştır. TS EN ISO 6892-1 ÇİZELGE 3' e göre malzemenin gerime hızı 30 MPa/s, ön yük 5 MPa, deney hızı 0,006 1/s olarak belirlenmiştir. Çekme deneyi sonucunda rayların sıcaklık artışına bağlı olarak elastik sınırı, yüzde uzama değeri, akma ve çekme mukavemetlerindeki değişimler belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Çekme numunesi şematik gösterimi

d_0 : ilk gövde çapı

L_c : gövde uzunluğu

L_o : ilk ölçü uzunluğu

L_t : deney parçasının toplam uzunluğu

L_u : kopmadan sonraki son ölçü uzunluğu

S_0 : gövdenin ilk kesit alanı

S_u : kopmadan sonraki en küçük kesit alanı

Çekme işleminden sonra numunelerin kopma bölgeleri Şekil3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Çekme numunelerinin kopma bölgeleri

3.6 Sertlik deneyi

Sertlik deneyi TCDD’de Şekil 3.20’de gösterilen Tam Otomatik Üiversal Sertlik Ölçme Cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.20. Tam otomatik üiversal sertlik ölçme cihazı

Eğme ve doğrultma işlemi uygulanmış ray numunelerinin sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan sertlik değişimleri ölçülmüştür. 1 adet mantar ve 2 adet taban bölgelerin-

den alınan numuneler taşlandıktan sonra sağlıklı ölçüm alınabilmek için yüzeyleri Şekil 3.21'deki gibi 80 ve 150'lik zımpara ile kaba zımparalama, 240, 320, 400 ve 600' lük zımparalarla ince zımparalama yapılarak yüzeydeki pürüzlükler giderilmiştir. Yüzey pürüzlükleri giderilen numuneler oksitlenme olmaması için alkolle yıkanmıştır. TS EN 6507-1 ve TS EN 14587-2 standardına göre 2mm aralıklarla noktalar işaretlenmiştir. Şekil 3.22'deki gibi HV30 yöntemiyle her bir numune için işaretlenen 100 ayrı noktadan sertlik ölçümü alınmıştır.



Şekil 3.21. Sertlik ölçümü için rayın taban ve mantar bölgesinden alınan numuneler



Şekil 3.22. Sertlik ölçümü alınmış noktalar

4. BULGULAR

4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

S49 rayın kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ray mantarından alınan numunelerin kimyasal bileşimlerinin ortalama değerleri (EN 13764-1)

Çelik kalite numunesi	% Ağırlık									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	N
R260										
	Katı	0.711	0.273	1.09	0.0189	0.0250	0.0410	0.0022	-	-

S49 ray içerisinde bulunan kalıntı element miktarları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Ray mantarından alınan numunelerin içinde bulunan kalıntı elementlerin ortalama değerleri (EN 13764-1)

R260	Mo	Ni	Cu	Sn	Sb	Ti	Nb
		0.0078	0.0183	0.0404	0.0032	-	0.0020

Yapılan kimyasal analiz sonucunda karbon miktarının 0,60-0,82, silisyum miktarının 0,13-0,60, mangan miktarının 0,5-1,25, kükürt miktarının 0,008-0,030 aralığında olduğu, fosfor miktarının 0,030’dan az, krom miktarının 0,15’den az, alüminyum miktarının 0,004’den az olduğu gözlemlenmiştir. Vanadyum ve azot ise hiç gözlemlenmemiştir.

S49 ray mantar numunesi içerisinde kalıntı elementlerinin % ağırlık olarak dağılımı; molibden miktarı 0,02'den az, nikel miktarı 0,10'dan az, bakır miktarı 0,15'den az, kalay miktarı 0,030'dan az, titanyum miktarı 0,025'den az, niobyum miktarı da 0,01'den az çıkmıştır. Antimon elementi ise hiç gözlemlenmemiştir.

EN 13764-1'e göre kimyasal kompozisyonlarının ve kalıntı element miktarlarının istenilen değer aralıklarında olduğu gözlemlenmiştir [44].

4.2 Ray Eğme, Isıtma ve Doğrultma

Oda sıcaklığında eğme işlemi uygulanmış ray numunelerinin plastik ve elastik deformasyona uğradığı ölçüm aralıkları, master kalınlığı ve ray numunelerinin sıcaklık değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

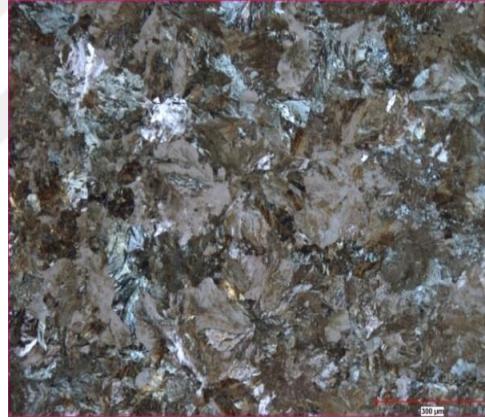
Çizelge 4.3. Ray numunelerin deformasyona uğradığı ölçüm aralıkları

Oda Sıcaklığında doğrultulacak ray numuneleri						
Numune no	P+E(mm)		E(mm)		Master Kalınlığı(mm)	Ray Sıcaklığı °C
	Sağ	Sol	Sağ	Sol		
1	37.00	37.00	19.99	19.80	7.70	25
2	37.6	37.1	19.5	19.1	7.70	26
3	35.91	36.03	18.00	18.13	7.70	25
200°C'de doğrultulacak ray numuneleri						
Numune no	P+E(mm)		E(mm)		Master Kalınlığı(mm)	Ray Sıcaklığı °C
	Sağ	Sol	Sağ	Sol		
1	36.5	36.5	18.8	18.8	7.70	25
2	37.1	37.3	19.07	19.5	7.70	26
3	37.4	37.6	19.6	19.7	7.70	25
300°C'de doğrultulacak ray numuneleri						
Numune no	P+E(mm)		E(mm)		Master Kalınlığı(mm)	Ray Sıcaklığı °C
	Sağ	Sol	Sağ	Sol		
1	36.12	36.37	18.17	18.45	7.70	25
2	36.43	36.57	20.58	20.53	7.70	26
3	35.80	35.66	19.6	19.76	7.70	25

Yapılan eğme işlemi sonucunda rayın elastik deformasyona uğradığı ölçüm aralığı maksimum 12.888mm, minimum 10.3mm ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda elastik deformasyona uğradığı ölçüm ortalama 11,58 mm olarak belirlenmiştir. Elastik deformasyon sınırı belirlenmiş numunelere ortalama 9.68 mm'lik plastik deformasyon uygulanmıştır.

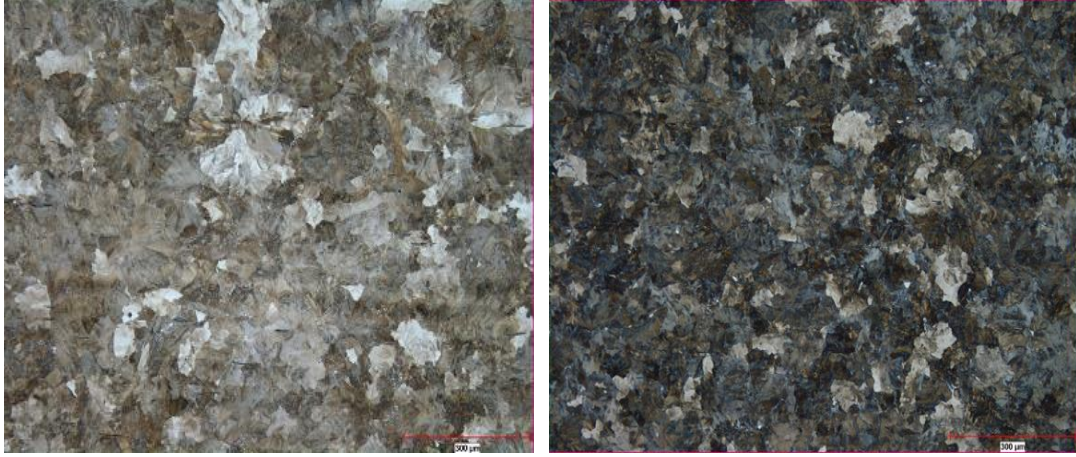
4.3 Metalografik İnceleme Sonuçları

Herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın mantar bölgesinden alınan numunenin mikro yapısı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Yapının tamamen perlitik olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1. Hiçbir işleme tabi tutulmamış ray numunesinin mantar bölgesinde perlitik içyapı (100X)

Oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan sonra herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmadan doğrultulan rayın mantar ve taban bölgelerinden alınan numunelerin mikro yapıları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Rayın mikro yapısında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

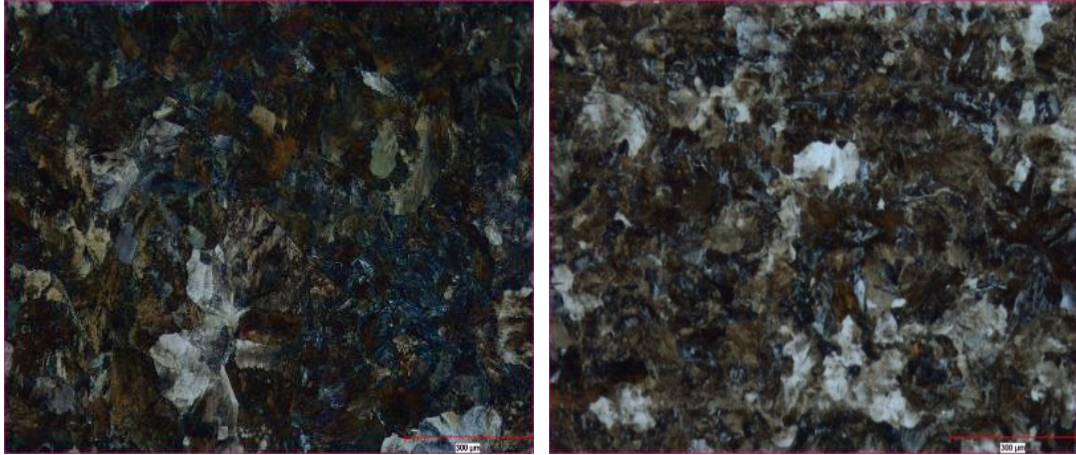


(a)

(b)

Şekil 4.2. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin (a)-mantar ve (b)-taban bölgelerinde perlitik içyapı (100X)

200°C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanan rayın mantar ve taban bölgesinden alınan numunelerin mikro yapıları Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Rayın mikro yapısında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

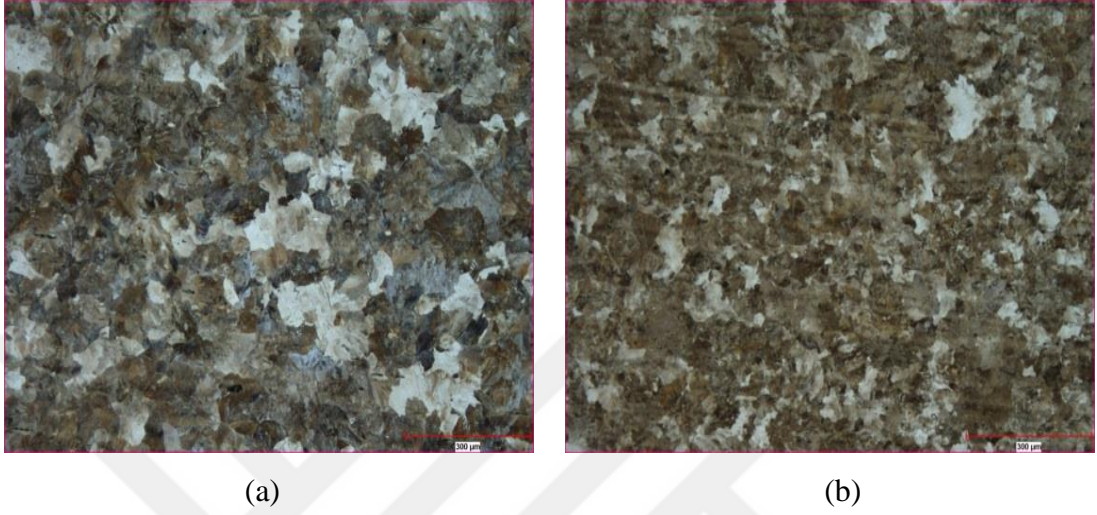


(a)

(b)

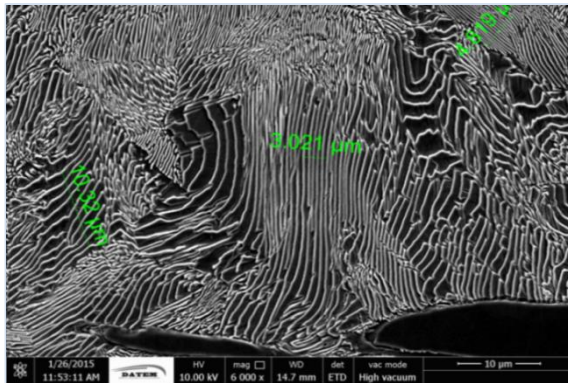
Şekil 4.3. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinin (a)-mantar ve (b)-taban bölgelerinde perlitik içyapı (100X)

300°C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanan rayın mantar ve taban bölgesinden alınan numunelerin mikro yapıları Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Rayın mikro yapısında herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.



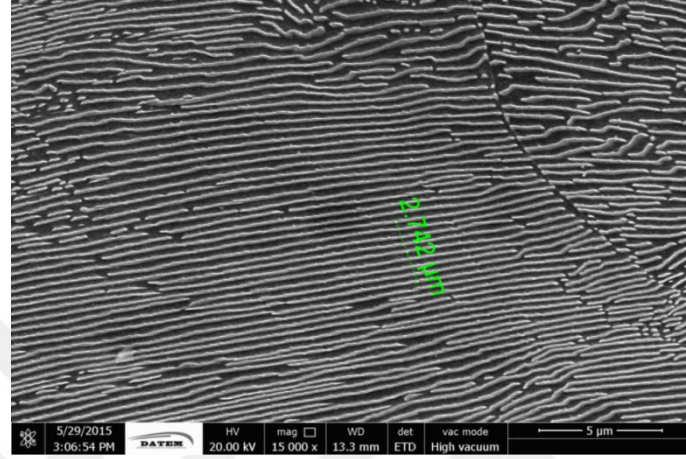
Şekil 4.4. 300°C’de doğrultulmuş ray numunesinin (a)-mantar ve (b)-taban bölgele-
rinde perlitik içyapı (100X)

Herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın mantar bölgesinden alınan numunenin mantar bölgesinde perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

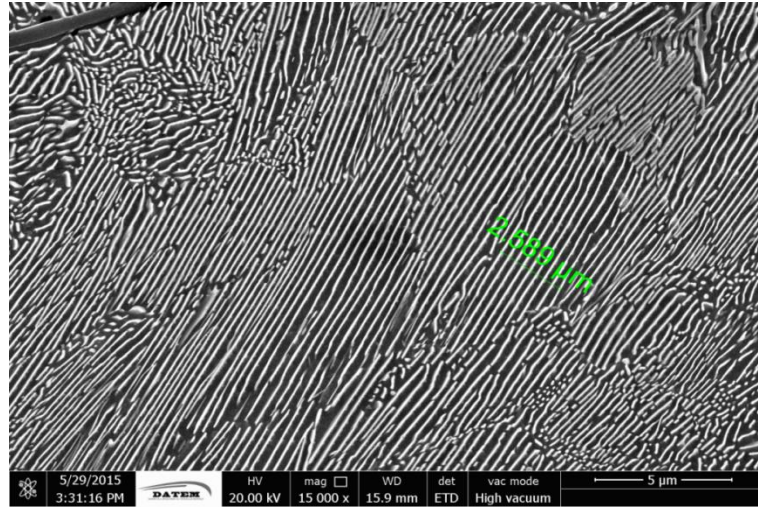


Şekil 4.5. Herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinin mantar bölgesinde
perlit lamelleri arası mesafe (15000X)

Oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan sonra herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmadan doğrultulan rayın mantar bölgesinden alınan numunelerin perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.6’da, taban bölgesinden alınan numunelerin perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

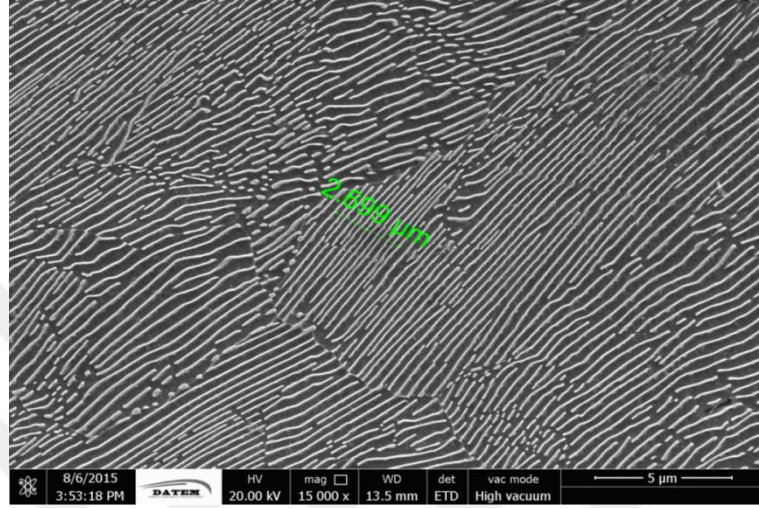


Şekil 4.6. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)

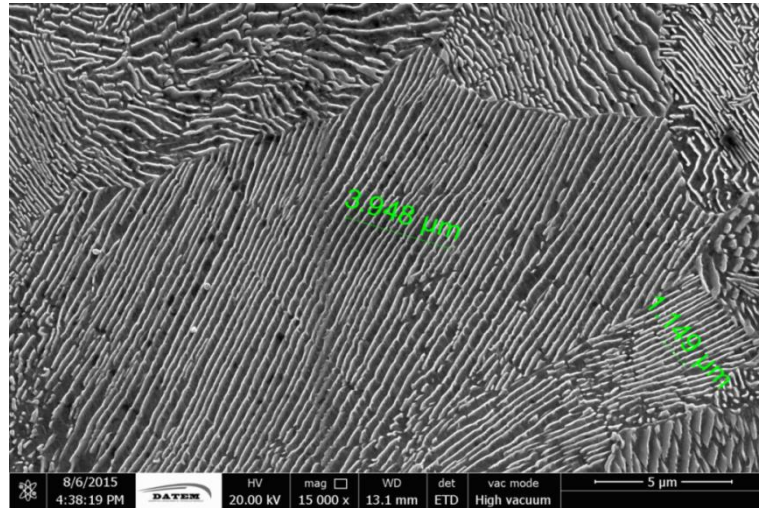


Şekil 4.7. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin taban bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)

200°C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanan rayın mantar bölgesinden alınan numunelerin perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.8’de, taban bölgesinden alınan numunelerin perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

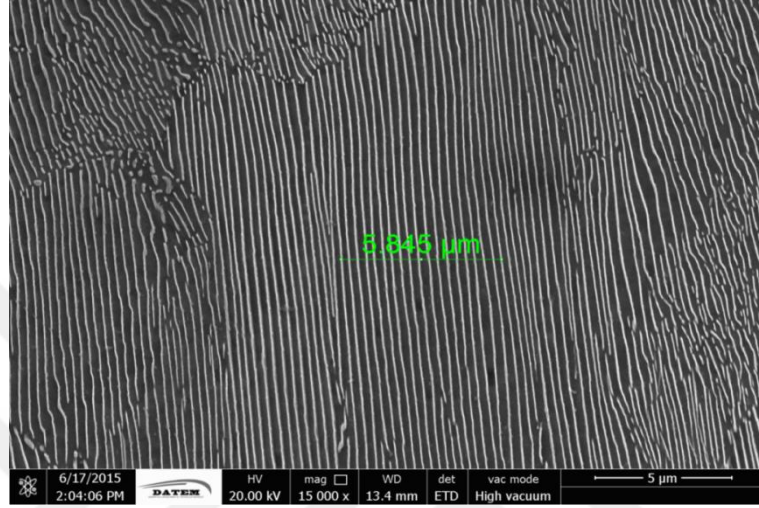


Şekil 4.8. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)

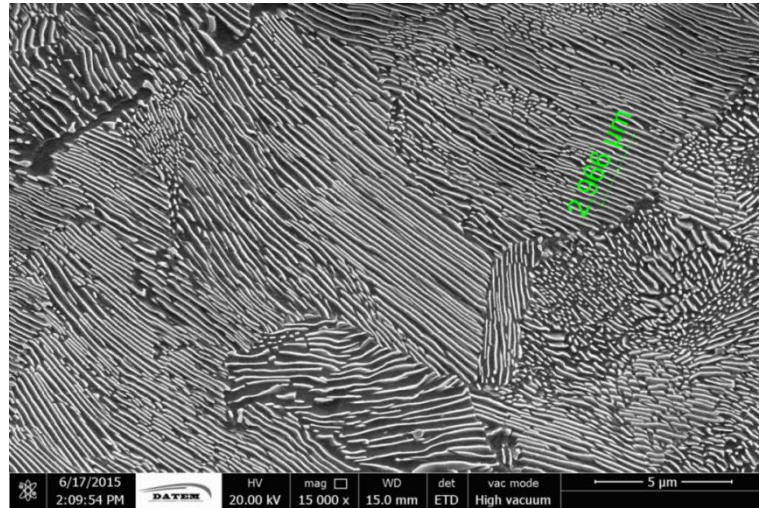


Şekil 4.9. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinin taban bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)

300°C sıcaklığa ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanan rayın mantar bölgesinden alınan numunelerin perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.10'da, taban bölgesinden alınan numunelerin perlit lamelleri arasındaki mesafe Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 300°C'de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)



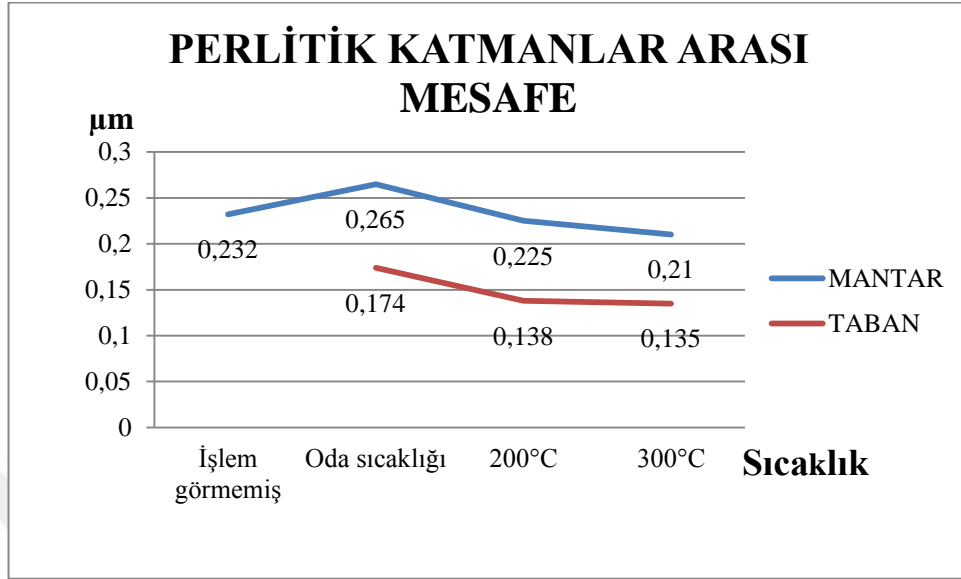
Şekil 4.11. 300°C'de doğrultulmuş ray numunesinin taban bölgesinde perlit lamelleri arası mesafe (15000X)

Herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C sıcaklıkta doğrultma işlemi uygulanan ray numunelerinin mantar ve taban bölgelerindeki perlit lamelleri arasındaki mesafeler Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. İşlem görmemiş, oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultulmuş ray numunelerinin mantar ve taban bölgesindeki perlit lamelleri arası mesafe.

Ray bölgesi	Sıcaklık (°C)	Perlitik katmanlar arası ort. mesafe (μm)
Mantar	İşlem görmemiş	0,232
Mantar	Oda sıcaklığı	0,265
Mantar	200	0,225
Mantar	300	0,210
Taban	Oda sıcaklığı	0,174
Taban	200°C	0,138
Taban	300°C	0,135

Sıcaklık değişimine bağlı olarak perlit lamelleri arasındaki mesafe dağılımı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında doğrultulmuş, 200°C ve 300°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultulmuş ray numunelerinin mantar ve taban bölgesindeki perlitik katmanlar arası mesafe grafiği

Yapılan optik mikroskop incelemesi sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinde, oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C sıcaklıkta doğrultulan ray numunelerinin mantar ve taban bölgelerinde yapının %100 perlitik olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklıklarda mikro yapıda herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

Yapılan SEM analizi sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın mantar bölgesindeki perlit lamelleri arasındaki mesafe 0,232 µm ölçülmüştür.

Oda sıcaklığında doğrultulan ray numunesinin perlit lamelleri arasındaki mesafe mantar bölgesinde 0,265 µm, taban bölgesinde 0,174 µm ölçülmüştür. Soğuk deformasyona uğrayan ray numunelerinde perlit lamelleri arasındaki mesafenin çok az miktarda arttığı gözlemlenmiştir.

200°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin perlit lamelleri arasındaki mesafe mantar bölgesinde 0,225 μm , taban bölgesinde 0,138 μm ölçülmüştür.

300°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin perlit lamelleri arasındaki mesafe mantar bölgesinde 0,210 μm , taban bölgesinde 0,135 μm ölçülmüştür.

200°C’de ve 300°C sıcaklıkta doğrultulan ray numunesinde sıcaklık artışına bağlı olarak perlit lamelleri arasındaki mesafede çok az miktarda azalma gözlemlenmiştir. Herian J ve arkadaşları çalışmalarında R260 ray eliğine 880°C sıcaklıkta ısıl işlem ve 15°C/s soğuma hızı ile 620°C, 570°C, 550°C ve 520°C sıcaklıklara soğutma, bu sıcaklıklarda 300 saniye fırında bekletme ve oda sıcaklığına soğutma uygulamıştır. Isıl işlem sonrası lameller arası mesafenin daha az ve sementit lamellerinin daha ince olduğunu gözlemlenmişlerdir [18]. Herian J ve arkadaşları yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklık kullandıklarından bu sonuca ulaşıldığı düşünölmektedir. Bu çalışmada ise oda sıcaklığı, 200°C ve 300°C gibi düşük sıcaklıklar kullanıldığından lameller arası mesafede kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Mantar ve taban bölgesi arasında lameller arası mesafenin farklı olması rayların üretilmesi sırasında mantar bölgesinin kalın kesitli olmasından dolayı yavaş soğumaya maruz kalmasındandır. Yavaş soğuma rayın mantar kısmında perlit lamelleri arasındaki mesafenin daha uzak olmasına (kaba perlit) neden olurken, ince kesitli taban kısmının hızlı soğumadan dolayı daha yakın olmasına (ince perlit) neden olmuştur. Oda sıcaklığı, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda işlem gören ray malzemesinde perlit lamelleri arasındaki çok küçük farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, 200°C ve 300°C gibi düşük sıcaklıklara çıkıldığı anda bu sıcaklıklarda bekletilmeden doğrultma işlemi yapıldığından perlit lamelleri arasındaki mesafelerde kayda değer bir değişim olmayacağı öngörölmektedir.

4.4 Kalıntı Gerilme Deney Sonuçları

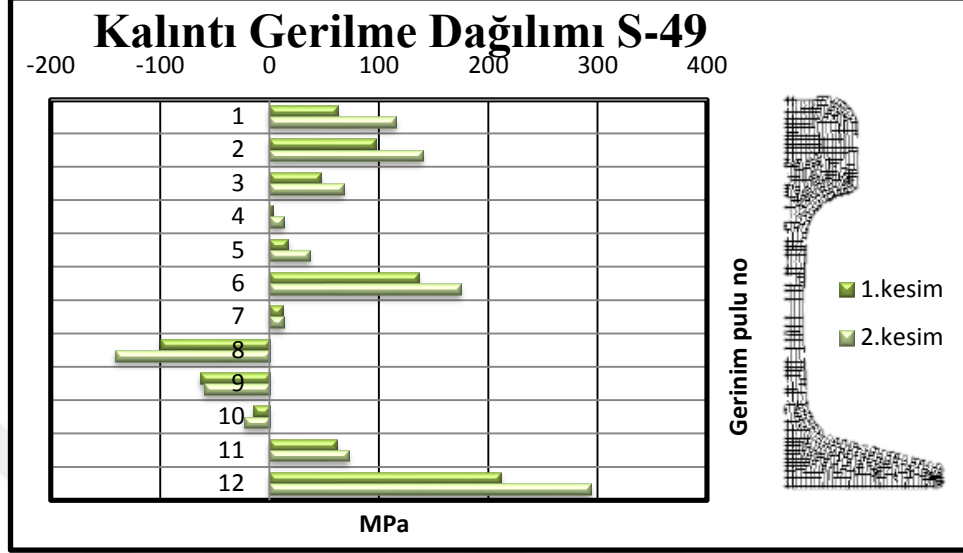
Kalıntı gerilme ölçümü sonucunda herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında eğme işlemi uygulandıktan sonra oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de doğrultmuş ray numunelerinin sıcaklık değişimine bağlı olarak rayın mantar, gövde, taban bölge-lerindeki kalıntı gerilme değerleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. S49 rayın kalıntı gerilme ölçüm sonuçları

Gerilme MPa								
Gerinim ölçer no	1. Kesim				2. Kesim			
	İşlem Gör- memiş	Oda Sı- caklığı	200°C	300°C	İşlem Gör- memiş	Oda Sı- caklığı	200°C	300°C
1	62,43	104,27	145,25	102,45	115,3	218,04	151,72	102,45
2	97,1	129,60	26,55	-54,95	140,2	247,75	16,81	-54,95
3	46,61	33,02	-	142,7	67,53	36,80	-	142,7
4	2,842	-19,38	-	114,00	12,8	-48,30	-	114,00
5	17	-10,77	-60,06	-117,3	36,79	-16,28	-83,46	-117,3
6	136,3	-28,62	3,14	90,45	174,9	-67,34	-0,67	90,45
7	12	-18,10	-30,22	-	12,8	2,65	-47,94	-
8	-99,47	16,66	-36,98	-137,1	-141,1	96,75	-59,55	-137,1
9	-63,41	17,32	103,68	101,7	-60,15	132,3	99,61	101,7
10	-14,98	-19,52	93,70	106,2	-23,28	-34,75	87,84	106,2
11	61,14	-	-28,66	-78,09	72,34	-	-50,01	-78,09
12	211	-	81,58	-11,25	293,7	-	80,08	-11,25

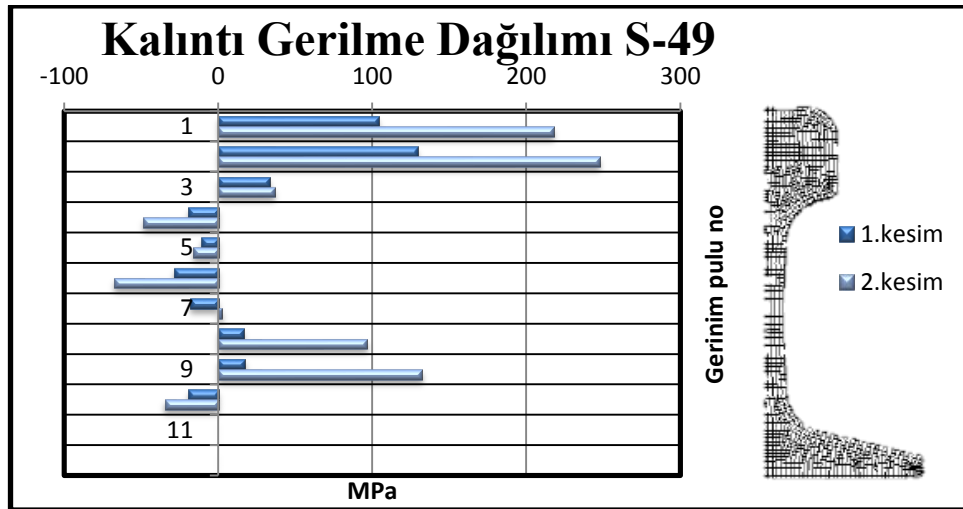
(+):basma, (-): gerilme

Herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinin kalıntı gerilme dağılımı Şekil 4.13'de verilmiştir.



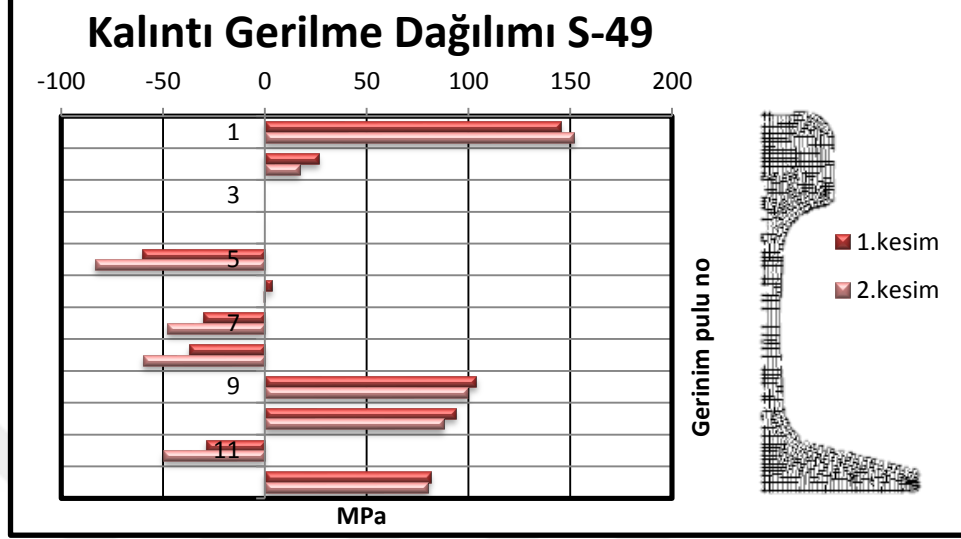
Şekil 4.13. Herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın kalıntı gerilme dağılım grafiği

Oda sıcaklığında eğilip düzeltilmiş ray numunesinin kalıntı gerilme dağılımı Şekil 4.14'de verilmiştir.



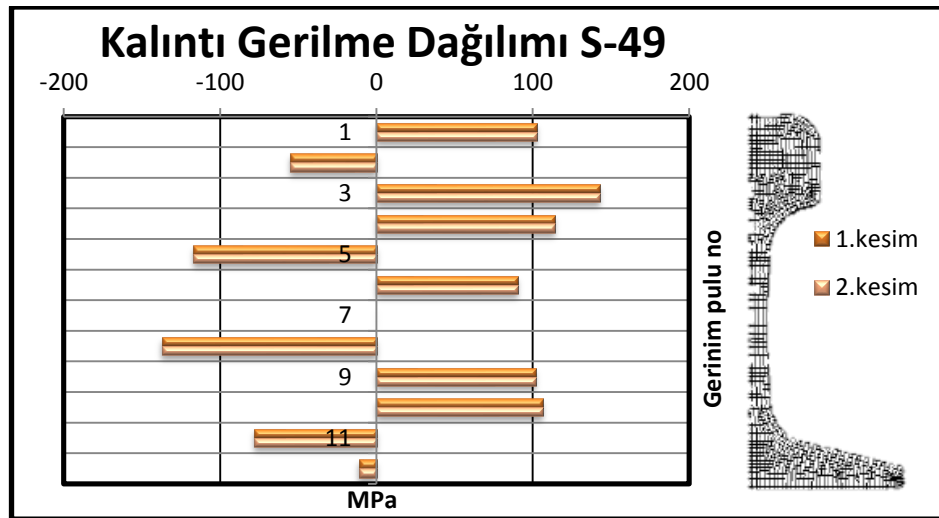
Şekil 4.14. Oda sıcaklığında eğilip düzeltilmiş rayın kalıntı gerilme ölçüm grafiği

200°C'ye ısıtılıp düzeltilmiş ray numunesinin kalıntı gerilme dağılımı Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15. 200°C'ye ısıtılıp düzeltilmiş rayın kalıntı gerilme ölçüm grafiği

300°C'ye ısıtılıp düzeltilmiş ray numunesinin kalıntı gerilme dağılımı Şekil 4.16'da verilmiştir.



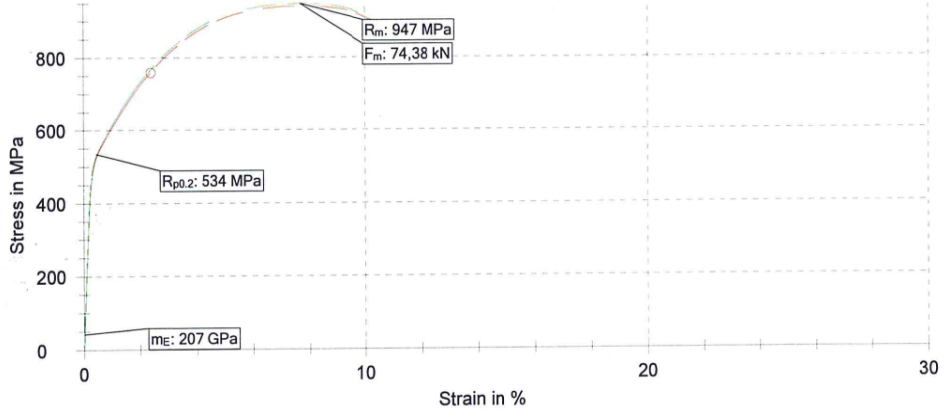
Şekil 4.16. 300°C'ye ısıtılıp düzeltilmiş rayın kalıntı gerilme ölçüm grafiği

Kalıntı gerilme ölçümü sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinde rayın taban bölgesinde 12 nolu gerinim ölçerinde maksimum kalıntı gerilme değeri 293,7MPa ölçülmüştür. EN13674-1 ray standardında izin verilen maksimum boyuna yönde kalıntı gerilim tabanda 250 MPa'dır. Yapılan ölçümler sonucunda herhangi bir işlem görmemiş ray numunesinin taban bölgesinde kalıntı gerilme değerinin izin verilen maksimum gerilmeden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Hatta kullanılmış ray numunesinde tabanda oluşan kalıntı gerilme değerinin zamanla standart dışına çıktığı tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray numunesinde rayın mantar bölgesinde 2 nolu gerinim ölçerinde 247,75MPa ölçülmüştür. Plastik deformasyondan dolayı kalıntı gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Kalıntı gerilmesinin en fazla olduğu bölge rayın taban bölgesi olarak gözlemlenmiştir. Thakur, R.C. ve arkadaşları çalışmalarında en yüksek kalıntı gerilmeleri rayın taban merkezinde gözlemlenmişlerdir [10]. 200°C'de düzeltme işlemi uygulanan ray numunesinde rayın mantar bölgesinde 1 nolu gerinim ölçerinde maksimum kalıntı gerilme değeri 151,72MPa ölçülmüştür. 300°C'de düzeltme işlemi uygulanan ray numunesinde rayın taban bölgesinde 8 nolu gerinim ölçerinde maksimum kalıntı gerilme değeri 142,7MPa ölçülmüştür. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda yapılan doğrultma işleminde sıcaklık artışına bağlı olarak ray içerisindeki kalıntı gerilmelerin azaldığı gözlemlenmiştir. Isıl işlemin ray içerisindeki kalıntı gerilme değerlerini düşürdüğü, kalıntı gerilme değerlerinin EN13674-1 standardına göre istenilen değer aralıklarında olduğu gözlemlenmiştir.

4.5 Çekme Deney Sonuçları

Herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinin çekme grafiği Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

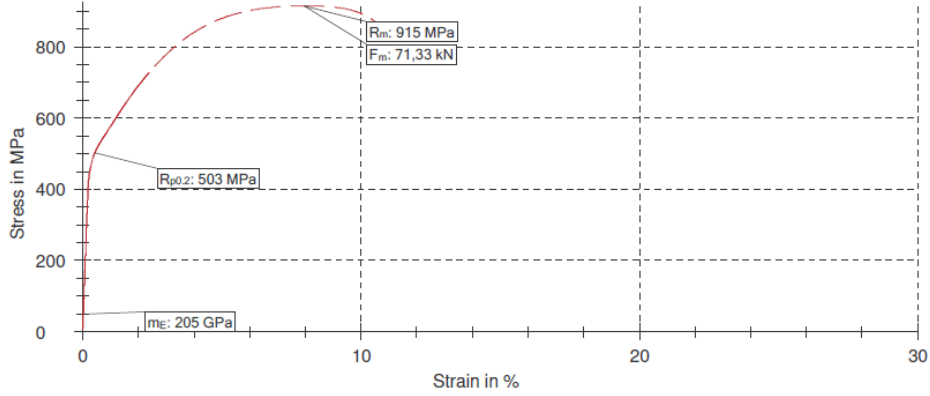
Series graph:



Şekil 4.17. Herhangi bir işleme tabi tutmamış ray çekme grafiği

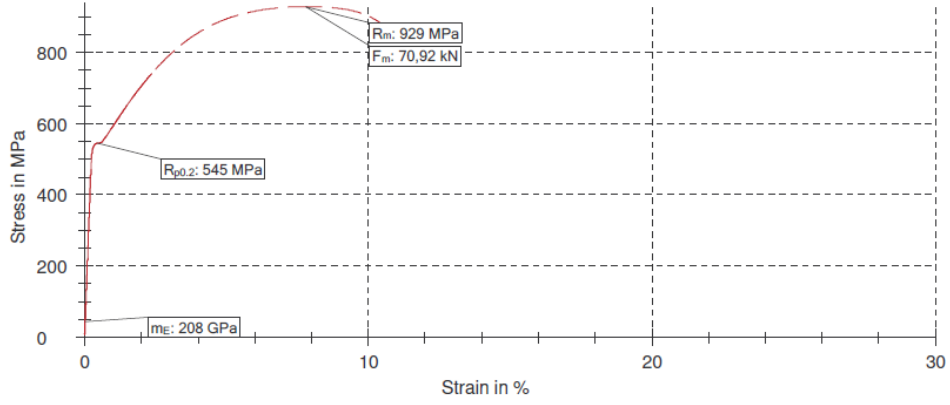
Oda sıcaklığında doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin çekme grafiği 1 nolu numune için Şekil 4.18’de, 2 nolu numune için Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

Series graph:



Şekil 4.18. Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray çekme grafiği (1 nolu numune)

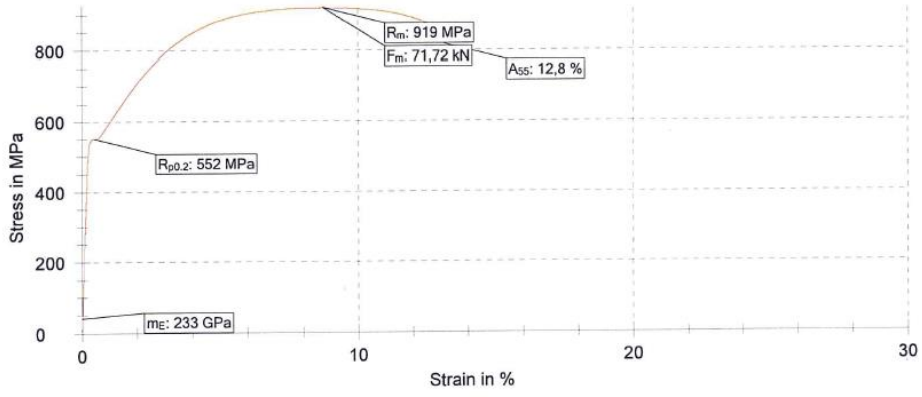
Series graph:



Şekil 4.19. Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray çekme grafiği (2 nolu numune)

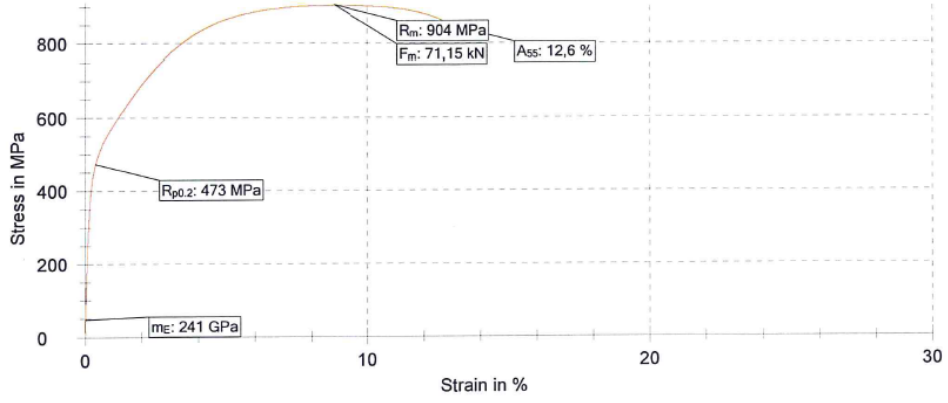
200°C’de doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin çekme grafiği 1 nolu numune için Şekil 4.20’de, 2 nolu numune için Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

Series graph:



Şekil 4.20. 200°C ‘de düzeltilmiş ray çekme grafiği (1 nolu numune)

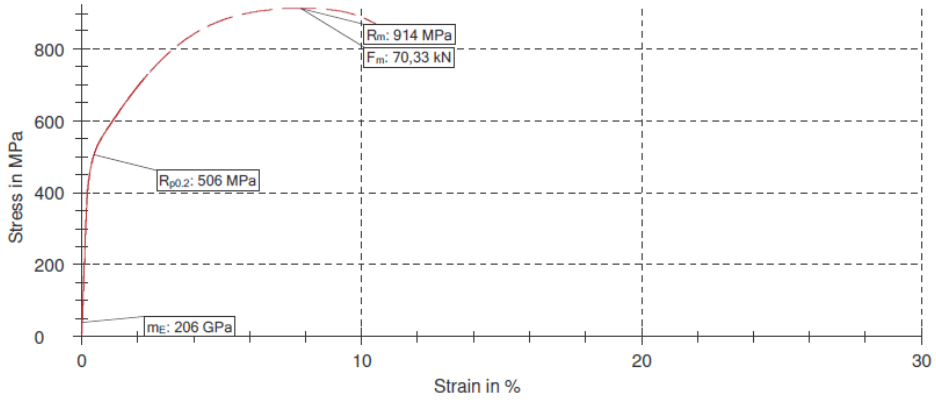
Series graph:



Şekil 4.21. 200°C 'de düzeltilmiş ray çekme grafiği (2 nolu numune)

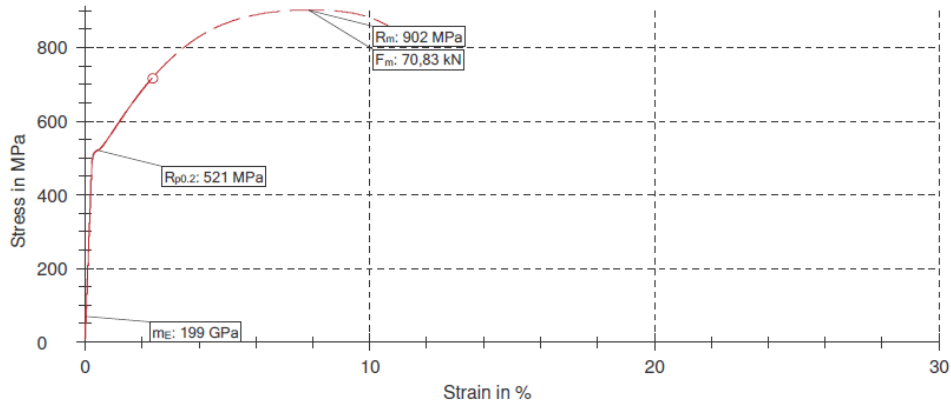
300°C'de doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin çekme grafiği 1 nolu numune için Şekil 4.22'de, 2 nolu numune için Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

Series graph:



Şekil 4.22. 300°C 'de düzeltilmiş ray çekme grafiği (1 nolu numune)

Series graph:



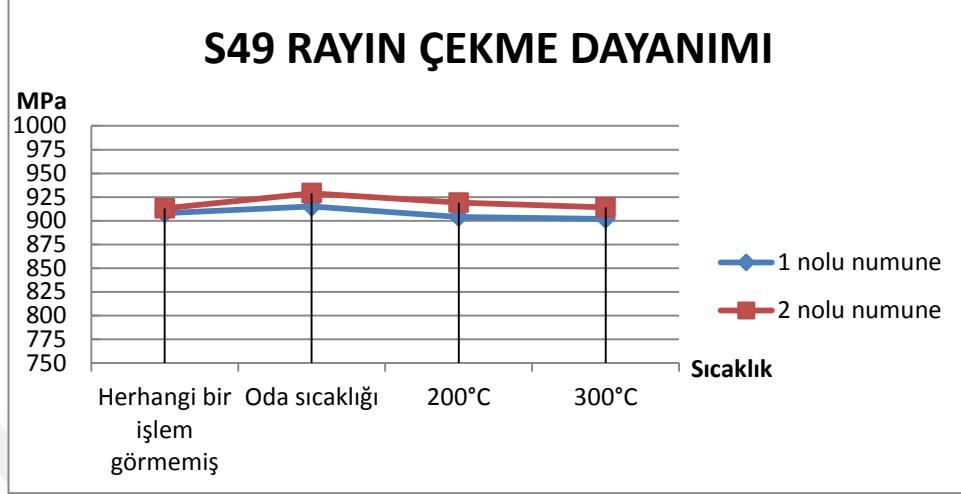
Şekil 4.23. 300°C 'de düzeltilmiş ray çekme grafiği (2 nolu numune)

Çizelge 4.6'da herhangi bir işleme tabi tutulmamış, oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C'de doğrultulmuş ray numunelerinin elastisite modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti maksimum yük ve yüzde uzama değerleri verilmiştir. Her bir deney düzeneği için alınan çekme numunelerinin tamamı rayın mantar bölgesinden alınmıştır.

Çizelge 4.6. Herhangi bir işlem görmemiş, Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C'de doğrultulmuş ray numunelerinin mukavemet değerleri

No	Sıcaklık °C	m _E GPa	R _{p0.2} MPa	R _m MPa	F _m kN	A ₄₀ %	L ₀ mm	S ₀ mm ²
1	Herhangi bir işlem görme- miş	230	521	908	71.33	-	40.00	78.54
2		214	518	913	71.13	-	40.00	78.54
1	Oda sıcaklığı	205	503	915	71.33	-	40.00	77.91
2		208	545	929	70.92	-	40.00	76.36
1	200	241	473	904	71.15	12.6	55.00	78.70
2		233	552	919	71.72	12.8	55.00	78.07
1	300	199	521	902	70.83	-	40.00	78.54
2		206	506	914	70.33	-	40.00	76.98

Sıcaklık değişimine bağlı olarak ray numunelerinde çekme dayanımı değişimi Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Herhangi bir işlem görmemiş, Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de doğrultulmuş ray numunelerinin çekme dayanımı grafiği

Yapılan çekme deneyi sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış ray numunesinde 1 nolu numune için çekme dayanımı 908 Mpa, 2 nolu numune için çekme dayanımı 913 MPa bulunmuştur. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinde 1 nolu numune için çekme dayanımı 915 MPa, 2 nolu numune için çekme dayanımı 929 MPa bulunmuştur. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinde 1 nolu numune için çekme dayanımı 904 MPa, 2 nolu numune için çekme dayanımı 919 MPa bulunmuştur. 300°C’de doğrultulmuş ray numunesinde 1 nolu numune için çekme dayanımı 902 MPa, 2 nolu numune için çekme dayanımı 914 MPa bulunmuştur.

Yapılan deney neticesinde gerilme mukavemetinin R260 çelik standardına göre minimum çekme dayanımı değeri olan 880 MPa’nın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Oda sıcaklığında deforme edilen ray numunesinde çekme dayanımında çok az miktarda artış gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak çekme dayanımının çok az miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Isıtma sıcaklıkları ve süreleri çok düşük olduğun-

dan çekme dayanımındaki değişim çok az miktardadır. Kesti, E., çalışmasında çelik numunelerine 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulamıştır. Temperlenen numuneler suda ve yağda soğutulmuştur. Sıcaklık artışına paralel olarak çekme dayanımının düştüğünü tespit etmiştir [23]. Bu çalışmada 200°C ve 300°C sıcaklığa çıkıldığı anda doğrultma işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Bütün çekme deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla doğrultma sıcaklığının etkisi çok fazla görülmemiştir. Fakat soğuk deformasyona uğrayan numunelerde çekme dayanımının hiç işlem görmeyen numunelere göre arttığı belirlenmiştir. Bu durum soğuk deformasyondan dolayı malzemenin pekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

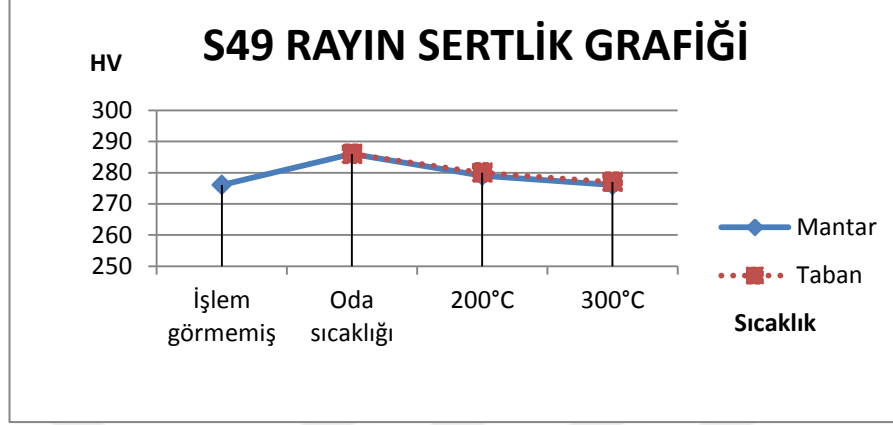
4.6 Sertlik Deney Sonuçları

Herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında, 200 °C ve 300 °C’de doğrultulmuş ray numunelerinin mantar ve taban bölgelerindeki sertlik dağılımı Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Herhangi bir işlem görmemiş, oda sıcaklığında, 200 °C ve 300 °C’de doğrultulmuş ray numunelerinin mantar, taban1, taban 2 bölgesindeki sertlik değerleri

Ray bölgesi	Sıcaklık (°C)	Ortalama Sertlik (VSD)
Mantar	İşlem görmemiş	276
Mantar	Oda sıcaklığı	286
Mantar	200	279
Mantar	300	276
Taban	Oda sıcaklığı	286
Taban	200	280
Taban	300	277

Sıcaklık değişimine bağlı olarak ray numunelerinde oluşan sertlik dağılımı Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Herhangi bir işlem görmemiş, Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C’de doğrultulmuş ray numunelerinin sertlik dağılım grafiği

Yapılan sertlik deneyleri sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın mantar bölgesinden alınan numunede ortalama sertlik değeri 276 VSD olarak ölçülmüştür. Oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin mantar ve taban bölgesinde ortalama sertlik 286 VSD olarak ölçülmüştür. 200°C’de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde ortalama sertlik 279 VSD, taban bölgesinde ortalama sertlik 280 VSD olarak ölçülmüştür. 300°C’de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde ortalama sertlik 276 VSD, taban bölgesinde ortalama sertlik 277 VSD olarak ölçülmüştür. R260 çelik standardına göre sertlik aralığı 274 VSD – 316 VSD’dir. Yapılan sertlik ölçüm değerlerinin istenilen aralıkta olduğu gözlemlenmiştir. Soğuk deformasyon sonrası sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durum soğuk halde deformasyonun pekleşme sertleşmesine neden olmasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklık artışına bağlı olarak 200°C’de ve 300°C’de kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni ısıtma işleminin düşük sıcaklıklarda ve kısa sürelerde yapılmasındandır. Yokoyama H., perlitik ray çelikleri üzerinde yapılan deneylerde lameller arası mesafenin azalmasıyla ya da tane boyutunun küçültülmesiyle sertliğin arttığını, aşınmaya ve hasara karşı dayanımın arttığını ifade etmiştir [17].

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, oda sıcaklığında eğme işlemi uyguladığımız ray numunelerine oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C sıcaklıkta doğrultulma işlemi uygulayarak rayın yapısal ve mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Doğrultma işlemi yapılan sıcaklıklar işletme ve bakım maliyetleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Yapısal ve mekanik özelliklerde değişim olmaması amaçlandığından seçilen sıcaklıklar dönüşüm sıcaklığının (723°C) altında belirlenmiştir. 1500 mm uzunluğunda hatta kullanılmış S49 tipi ray numuneleri oda sıcaklığında eğme işlemi uygulanmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda 1500 mm uzunluğundaki rayın ortalama 11,58 mm'ye kadar elastik deformasyona uğradığı belirlenmiştir. Elastik deformasyon sınırı belirlenmiş numunelere ortalama 9.68 mm plastik deformasyon uygulanmıştır. Bükme işlemi uygulanan ray numuneleri 200°C ve 300°C sıcaklıklarda ray ısıtıcı cihazla ısıtılmış ve tekrar ray bükme makinesi ile doğrultma işlemi yapılmıştır. Belirlenen sıcaklıklarda bükme ve doğrultma işlemi uygulanan ray numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli deneysel çalışmalara tabi tutulmuştur.

C= % 0.711, Si= % 0.273, Mn= %1.09, S= % 0.0250, P= % 0.0189, Cr= % 0.0410, Mo= % 0.0078, Ni= % 0.0183, Al= % 0.0022, Cu= % 0.0404, Nb= % 0.00024, Ti= % 0.0020, Sn= % 0.0032 olarak ölçülmüştür. Kimyasal analiz sonucunda numunelerin kimyasal yapısının EN 13764-1 Çizelge 4'e uygun olduğu belirlenmiştir.

Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C doğrultma işlemi uygulanmış rayların 1 adet mantar 2 adet taban bölgesinden alınan ray numuneleri optik mikroskop incelemesine tabi tutulmuştur. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda yapılan doğrultma işlemlerinde perlit lamelleri arası mesafelerde kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Yapının tamamen perlitik olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan SEM analizi sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın mantar bölgesindeki perlit lamelleri arasındaki mesafe 0,232 μm ölçülmüştür. Oda sıcaklığında doğrultulan ray numunesinin perlit lamelleri arasındaki mesafe mantar bölgesinde 0,265 μm , taban bölgesinde 0,174 μm ölçülmüştür. 200°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin perlit lamelleri arasındaki mesafe mantar bölgesinde 0,225 μm , taban bölgesinde 0,138 μm ölçülmüştür. 300°C’de ısıtıldıktan sonra doğrultma işlemi uygulanmış ray numunesinin perlit lamelleri arasındaki mesafe mantar bölgesinde 0,210 μm , taban bölgesinde 0,135 μm ölçülmüştür. Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C sıcaklıkta doğrultulan ray numunesinde sıcaklık artışına bağlı olarak perlit lamelleri arasındaki mesafede çok küçük farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durumunun işlem sıcaklıklarının etkisinden değil, ölçüm yapılan yerin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Perlit lamelleri arası mesafenin artması ve azalması malzemenin sertlik ve mekanik dayanımına etki etmektedir.

Hatta kullanılmış herhangi bir deformasyon işlemi uygulanmamış ray numunesinde rayın taban bölgesinde maksimum gerilme 293.7 MPa ölçülmüştür. EN13674-1 ray standardına göre izin verilen maksimum kalıntı gerilme değeri 250 MPa’nın üzerinde olduğu, hatta kullanılmış rayların taban bölgesinde kalıntı gerilme değerinin standart dışına çıktığı belirlenmiştir. Gerilim giderme tavlama yapılarak kalıntı gerilme değerlerinin azaltılabileceği tespit edilmiştir. 200°C de ısıtılıp düzeltilen ray numunelerinde maksimum kalıntı gerilme değeri 151.72 MPa, 300°C’de ısıtılıp düzeltilen ray numunelerinde maksimum kalıntı gerilme değeri 115.76 MPa olarak ölçülmüştür. Yapılan kalıntı gerilme ölçümü sonucunda oda sıcaklığında doğrultma işleminden sonra kalıntı gerilmelerin arttığı, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda sıcaklık artışına bağlı olarak ray içerisindeki kalıntı gerilmelerin azaldığı gözlemlenmiştir. Kalıntı gerilmesinin en fazla olduğu bölge rayın taban bölgesi olarak gözlemlenmiştir.

TS EN ISO 6892-1 (METOD B) standardına göre yapılan çekme deneyi sonucunda malzemeye eğme işlemi uygulanmadan önce 1 nolu numunede çekme dayanımı 908 MPa, 2 nolu numunede 913 MPa olarak ölçülmüştür. Oda sıcaklığında eğme işlemi uygulanmış rayda kalıntı gerilme değeri 1 nolu numunede 915 MPa, 2 nolu numunede 929 MPa olarak ölçülmüştür. 200°C’de ısıtılıp düzeltilmiş rayda 1 nolu numunede 904 MPa, 2 nolu numunede 919 MPa ölçülmüştür. 300°C’de ısıtılıp düzeltilmiş rayda

ise 1 nolu numunede 902 MPa, 2 nolu numunede 914 MPa ölçülmüştür. Yapılan deney neticesinde gerilme mukavemetinin R260 çelik standardına göre minimum çekme dayanımı değeri olan 880 MPa'nın üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında doğrultma işlemi uygulanan ray numunesinde çekme dayanımında çok az miktarda artış gözlemlenirken 200°C ve 300°C sıcaklıkta doğrultma işlemi yapılan ray numunelerinde çekme dayanımının çok az miktarda azaldığı tespit edilmiştir.

Yapılan sertlik deneyleri sonucunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış rayın mantar bölgesinden alınan numunede ortalama sertlik değeri 276 VSD olarak ölçülmüştür. EK-1'de görüldüğü gibi oda sıcaklığında doğrultulmuş ray numunesinin mantar ve taban bölgesinde ortalama sertlik 286 VSD olarak ölçülmüştür. EK-2'de görüldüğü gibi 200°C'de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde ortalama sertlik 279 VSD, taban bölgesinde ortalama sertlik 280 VSD olarak ölçülmüştür. EK-3'de görüldüğü gibi 300°C'de doğrultulmuş ray numunesinin mantar bölgesinde ortalama sertlik 276 VSD, taban bölgesinde ortalama sertlik 277 VSD olarak ölçülmüştür. R260 çelik standardına göre sertlik aralığı 274 VSD – 316 VSD'dir. Oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda sertlik değerlerinde kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Yapılan sertlik ölçüm değerlerinin istenilen aralıkta olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda herhangi bir nedenle eğilmiş rayların oda sıcaklığında, 200°C ve 300°C sıcaklıklarda yatay hidrolik presle doğrultma işleminin yapılabileceği, yapısal ve mekanik özelliklerinde standart dışı bir değişim gözlemlenmediği tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Oda sıcaklığında eğme işlemi uygulanan ray numuneleri farklı hava ve saha koşullarında eğilerek yapısal ve mekanik özelliklerindeki değişim incelenebilir.

Hatta serili halde iken herhangi bir nedenle eğilmiş raylardan numune alınarak yapısal ve mekanik özellikler incelenebilir.

X-Işını kırınım yöntemi (XRD) ile kalıntı gerilmeler belirlenebilir.

Sonlu elemanlar (FEM) yöntemiyle deneysel çalışmaların doğruluğu araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] M. Özden, Demiryolu Raylarının Mekanik Özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2011.
- [2] O. Kalaycıoğlu, Kardemir’de ray üretiminde iyileştirmeler. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2006.
- [3] Başkonuş, M. ve Tekin, E., Yüksek hızlı tren olgusu, mantarı sertleştirilmiş ve beynitli ray çelikleri. International Iron & Steel Symposium , Nisan 2012, Karabük, s. 234-240, 2012.
- [4] Meriç, C., Engez, T., Termit kaynağı ile birleştirilen bir rayın kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı ve metalurjik özellikleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 4(2): 649–654, 1998.
- [5] Kuziak, R., Zygmunt, T., Ray mantarının sertleştirilmesinde yeni bir yöntem, aşınma ve hasar direnci için standart ray ölçerlerin geliştirilmesi. Steel Research International. 84 (1): 13-19, 2013.
- [6] Çakmak, İ., Yalçın, Y., Ray çeliğinin kuru yuvarlanma-kayma aşınma davranışının incelenmesi. Teknolojik Araştırmalar Ve Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. 1, 17-23, 2005.
- [7] Yiğit, O., Dilmeç, M., Halkacı, S.H., Tabaka kaldırma yöntemiyle kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması. Mühendis ve Makine Dergisi. 49 (579): 20–27, 2008.
- [8] Ağlan, H.A., Hassan, M.F., Fateh, M., Liu, Z.Y., Beynitli ray çeliklerinin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları. Journal of Materials Processing Technology. 1(3): 268–274, 2004.

- [9] Sahay, S., Mohapatra, G., Totten, E., Perlitli ray çeliklerine genel bakış: hızlandırılmış soğutma, su verme, mikro yapı ve mekanik özellikler. *Journal of ASTM International*. 6(7): 1-26, 2009.
- [10] Thakur, R.C., Topno, R., Krishna, B., Roy, B., Murty, G.M.D., Raylarda kalıntı gerilmelerinin ölçülmesi. *Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation*, Aralık 2006, İndian, s. 7-9, 2006.
- [11] Schleinzler, G. ve Fischer, F.D., Demiryolu raylarında doğrultma sonucunda oluşan kalıntı gerilmeleri. *International Journal of Mechanical Sciences*, Mart 2000, Leoben-Austria s. 2281–2295, 2000.
- [12] M. Arslan, Rayların aşınma analizi ve aşınmayla ilgili formülasyon çalışması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1996.
- [13] B. Akpınar, Ray Hattı Geometrik Değişimlerinin Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [14] H. Koymatçık, R260 Kalite Rayların Optimum Mantar Sertleştirme Parametrelerinin Belirlenmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2012.
- [15] Ö. Onat, Mantarı sertleştirilmiş R260 kalite rayların aşınma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2012.
- [16] Lee, M. K., Polycarpou, A. A., Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels. *Wear*. 259, 391–399, 2005.
- [17] Yokoyama H., Mitao S., Takemasa M., Development of high strength pearlitic steel rail with excellent wear and damage resistance. *Wear*. 253, 60-66, 2002.

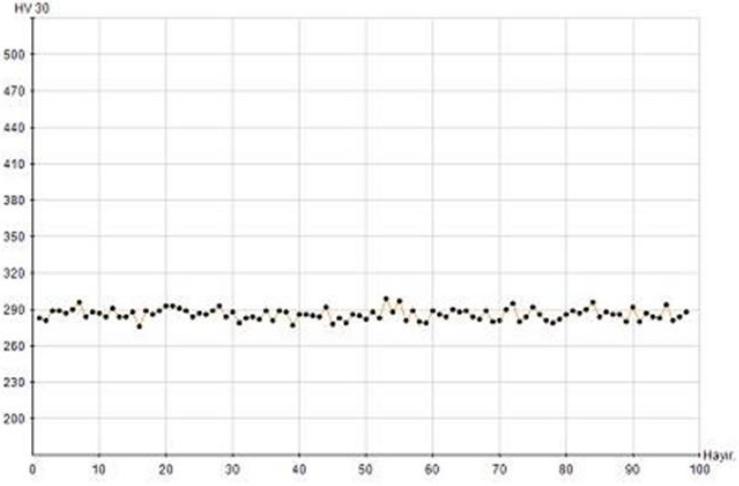
- [18] Herian J., Aniolek K., The structure and properties of steel with different pearlite morphology and its resistance to abrasive wear. Arch. of Mat. Sci. and Eng. 31 (2): 83-86, 2008.
- [19] Baumann G., Knothe K., Fecht H. J., Surface modification, corrugation and nanostructure formation of high speed railway tracks. Nano Str. Mat. 9, 751-754, 1997.
- [20] Wetscher, F., Stock, R., Pippan, R., Changes in the mechanical properties of a pearlitic steel due to large shear deformation. Materials Science and Engineering: A. 445(446): 237–243, 2006.
- [21] Singh, U.P., Roy, B., Jha, S., Bhattacharyya, S.K., Microstructure and mechanical properties of as rolled high strength bainitic rail steels. Materials Science and Technology. 17 (1): 33-38, 2001.
- [22] Sunwoo, H., Fine, M.E., Meshii, M., Stone, D.H., Cyclic deformation of pearlitic eutectoid rail steel. Metallurgical Transactions A. 13 (11): 2035-2047, 1982.
- [23] E. Kesti, Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2009.
- [24] H. Yılmaz, Ray Kusurlarının Örnek Hat Üzerinde Ultrasonik Yöntemle İncelenmesi Ve Ray Gerilmelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [25] T. Osmanoğlu, A1sı 304 Ve 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikro yapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışlarına Soğuk Deformasyonun Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.

- [26] O. Palabıyık, Soğuk Deformasyonun AISI 304 Ve AISI 204Cu Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikro Yapılarına, Mekanik Özelliklerine Ve Korozyon Davranışlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [27] A. Motameni Tabatabaei, Konvensiyonel Ve Mantarı Sertleştirilmiş Demiryolları Raylarında Kırılma Ve Yorulma Çatlak İlerleme Büyümesi. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2014.
- [28] M.E Turan, R260 kalite tren raylarında kalıntı gerilmenin belirlenmesi ve bunun mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015.
- [29] M. Kozak, Beton Travers Üretiminde Agrega Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2010.
- [30] H. Yücel, Hızlı Demiryolu Üstyapı Elemanlarının Kabul ve Uygunluk Ölçütleri: Ankara-Eskişehir Hızlı Tren Projesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [31] Zerbest, U., Madler, K., Hintze, H., Fracture Mechanics in Railway Applications- an Overview. Engineering Fracture Mechanics. 72, 163–194, 2005.
- [32] Martens, J. H., Wırıck, D.P., Premium Rail Steels for the 21st. Century. Pennsylvania Steel Technologies, Ocak 1994, Baltimore-MD, s. 17-18, 1994.
- [33] Anonim, Raylar ve Bağlantılar, Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, <http://megep.meb.gov.tr> (Erişim tarihi: 08.07.2015)
- [34] Anonim, Rayların Teşkili, CGC Rail. <http://www.cgcrail.com/index.php?sayfa=Rayların-Teskili> (Erişim tarihi: 01.01.2016)

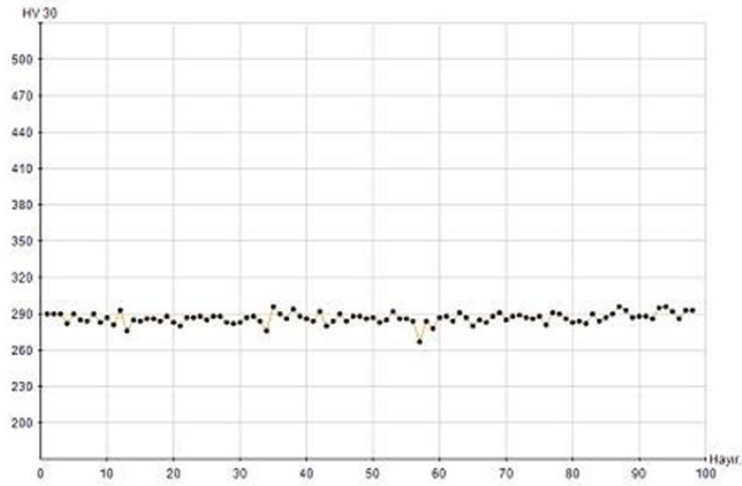
- [35] Öztürk, Z., Arlı, V., Demiryolu Mühendisliği. ATM Dijital Baskı ve Matbaacılık, İstanbul, 2009.
- [36] Kumbasar, F., Üstyapı Ve Demiryolu Mekaniği. Gürsoy Matbaacılık, İstanbul, 1972.
- [37] Esveld, C., Modern Railway Track. Delft University Of Technology. MRT Productions, Netherlands, 2001.
- [38] Bozkurt, F., Ray. Anadolu Üniversitesi. https://www.academia.edu/3685810/RAY_%C3%B6dev (Erişim tarihi: 01.01.2016)
- [39] Miura, S., Takai H, Uchida M., Fukada Y., “The Mechanism of Railway Tracks, Japan Railway & Transport Review (JRTR)”, Mart 1998, , Tokyo-Japan s.38-45, 1998.
- [40] Anonim, Dynamic Vehicle/Track Interaction Phenomena from The Point of View of Track Maintenance. Office for Research and Experiments of The International Union of Railways, Nisan 1987, Utrecht, s.17-47, 1987.
- [41] Anonim, EN 13674-1 (Demiryolu uygulamaları – Demiryolu hattı – Ray – Bölüm 1: 46 kg/m ve üzeri Vignole demiryolu rayları). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.

EKLER

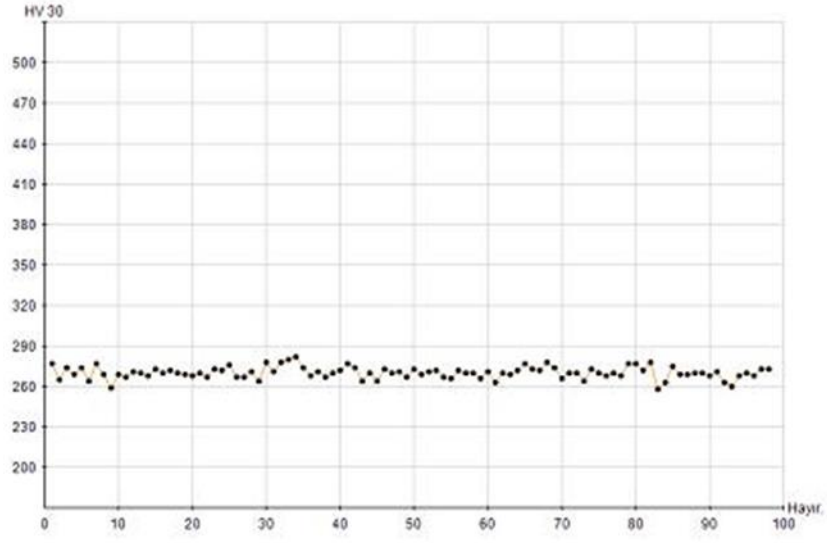
EK-1 Oda sıcaklığında düzeltilmiş ray numunelerinin sertlik grafikleri



Şekil Ek 1.1. Oda sıcaklığında düzeltilmiş rayın mantar bölgesi sertlik grafiği

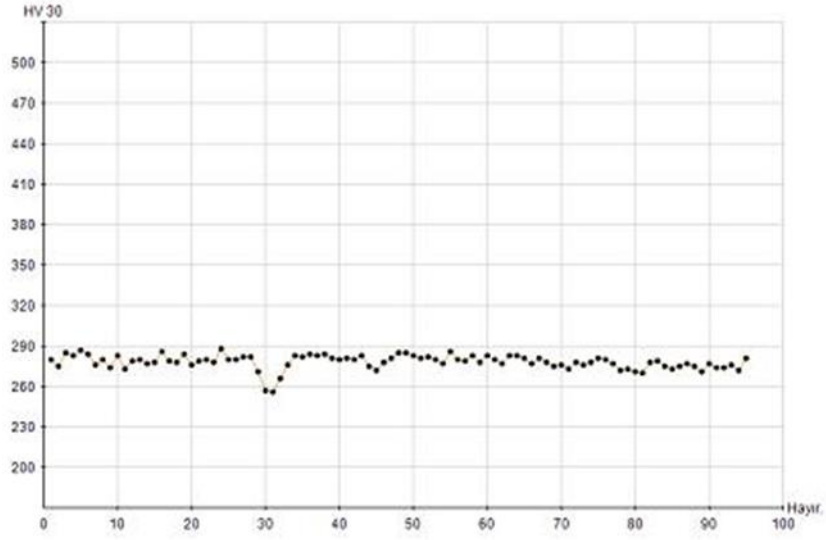


Şekil Ek 1.2. Oda sıcaklığında düzeltilmiş rayın taban 1 bölgesi sertlik grafiği

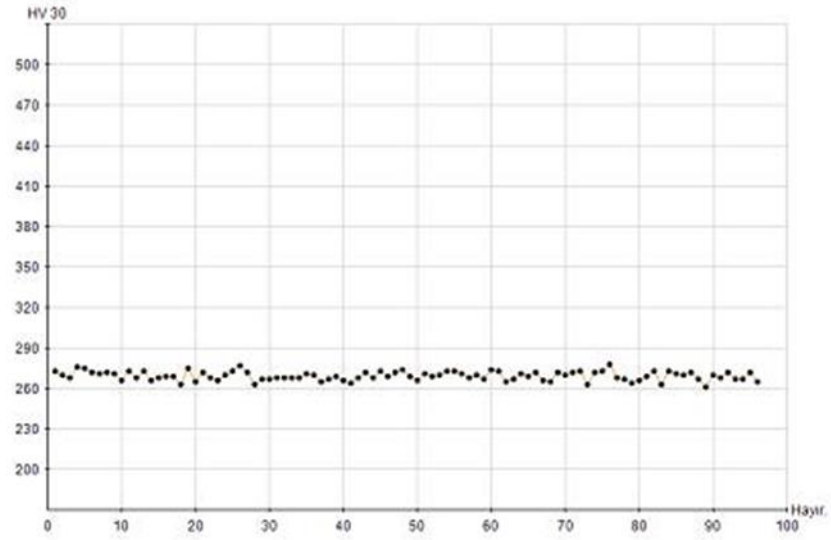


Şekil Ek 1.3. Oda sıcaklığında düzeltilmiş rayın taban 2 bölgesi sertlik grafiği

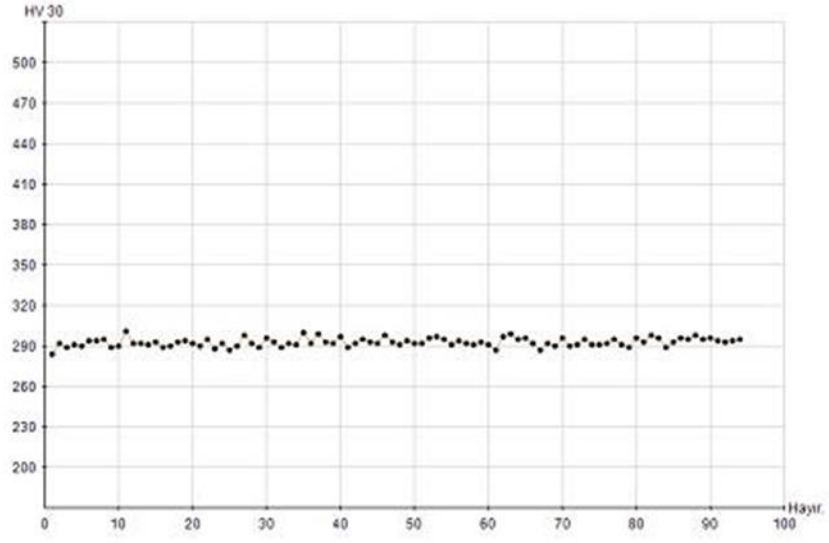
EK-2 200°C düzeltilmiş ray numunelerinin sertlik grafikleri



Şekil Ek 2.1. 200°C düzeltilmiş rayın mantar bölgesi sertlik grafiği

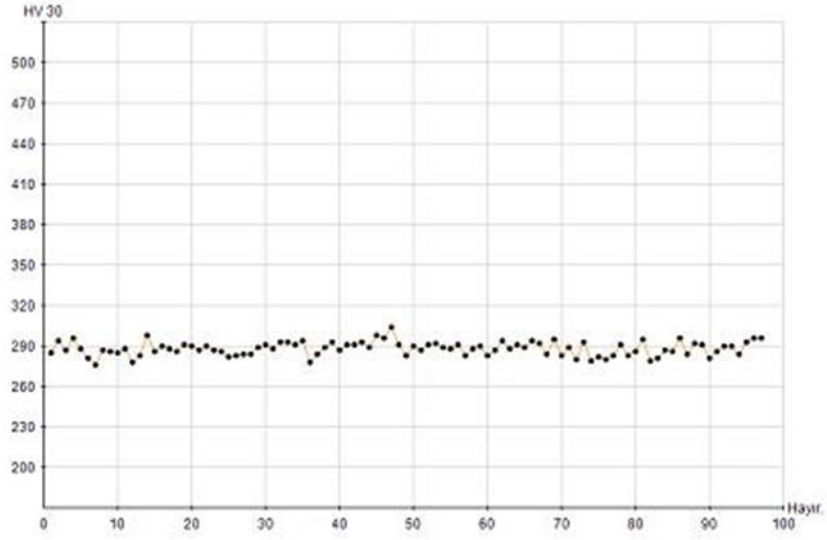


Şekil Ek 2.2. 200°C düzeltilmiş rayın taban 1 bölgesi sertlik grafiği

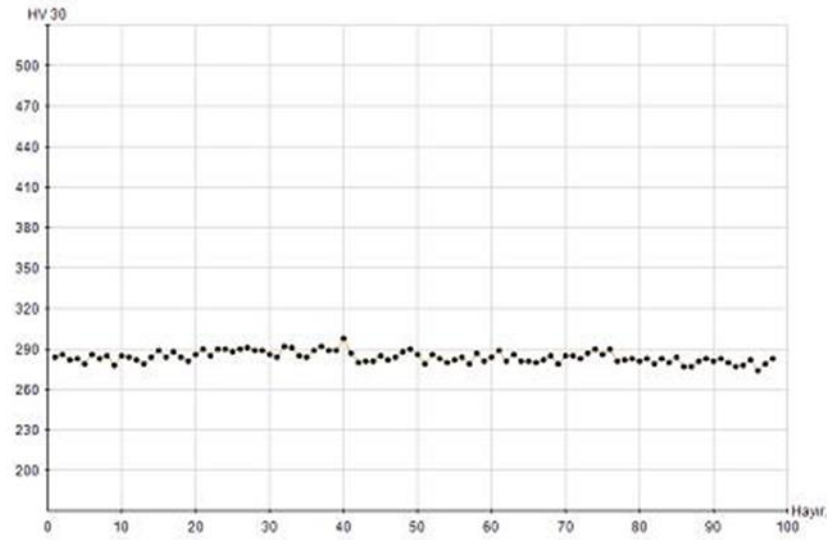


Şekil Ek 2.3. 200°C düzeltilmiş rayın taban 2 bölgesi sertlik grafiği

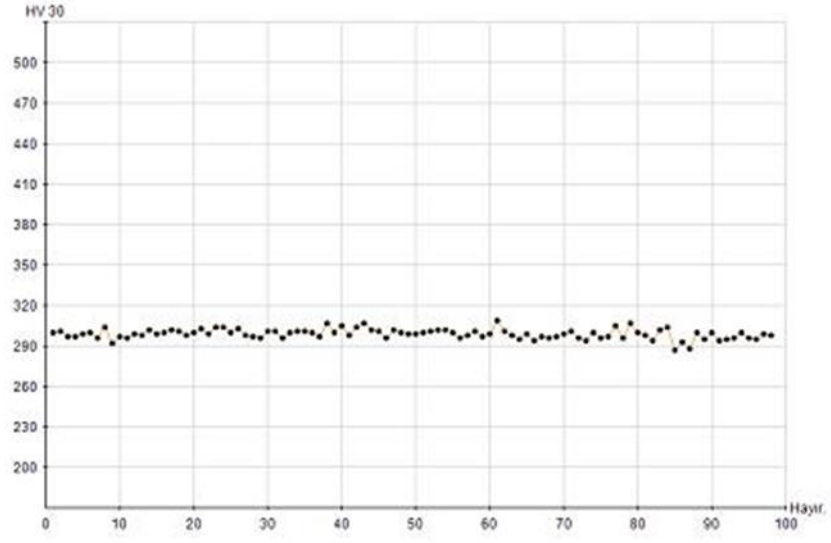
EK-3 300°C düzeltilmiş ray numunelerinin sertlik grafiği



Şekil Ek 3.1. 300°C düzeltilmiş rayın mantar bölgesi sertlik grafiği



Şekil Ek 3.2. 300°C düzeltilmiş rayın taban 1 bölgesi sertlik grafiği



Şekil Ek 3.3. 300°C düzeltilmiş rayın taban 2 bölgesi sertlik grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali SABAN

Doğum Tarihi : 06.04.1987

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu :

Lisans : Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü - Kırıkkale - 2010

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

2012-2013 ESKASAN A.Ş.

2013- ARSLAN ISI SİSTEMLERİ