



**54SiCr6-38Si7 YAY ÇELİKLERİNİN YORULMA
DAVRANIŞINA UYGULANAN ISIL İŞLEMİN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Nebiye YİRMİBEŞ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**54SiCr6-38Si7 YAY ÇELİKLERİNİN YORULMA DAVRANIŞINA
UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Nebiye YİRMİBEŞ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2024**

Nebiye YİRMİBEŞ tarafından hazırlanan “54SiCr6-38Si7 YAY ÇELİKLERİNİN YORULMA DAVRANIŞINA UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Programı Seçin olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakkı KARA (KBÜ)

.....

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Nebiye YİRMİBEŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

54SiCr6-38Si7 YAY ÇELİKLERİNİN YORULMA DAVRANIŞINA UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Nebiye YİRMİBEŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Ocak 2024, 31 sayfa

Bu çalışmada, 38Si7 ve 54SiCr6 yay çeliklerinin kimyasal özelliklerinin yanında özellik ve performanslarını belirlemek ve geliştirmek için ısıl işleme tabi tutulmuştur. Uygun deney standartlarına göre hazırlanan numuneler metalografik incelemeler için 240-2000 mesh aralığında zımpara kağıdı işleminden geçirilmiştir. Alümina çözeltisi ile yapılan parlatma işleminin ardından %3 Nital çözeltisi kullanılarak dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Uygun ebatlarda kesilen 38Si7 ve 54SiCr6 yay çeliklerine 850 °C de 40 dk bekletildikten sonra su verme ısıl işleminin ve ardından 400 °C'de temperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Uygulanan su verme ısıl işlemlerine soğutma ortamı olarak hava-su ve yağ kullanıldığında nasıl tepki verdiği incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : yay çeliği, mikro yapı, yorulma, ısıl işlem

Bilim Kodu : 91514

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT APPLIED ON THE FATIGUE BEHAVIOR OF 54SiCr6-38Si7 SPRING STEELS

Nebiye YİRMİBEŞ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

January 2024, 31 pages

In this study, 38si7 and 54SiCr6 spring steels were heat treated to determine and improve their chemical properties as well as their properties and performances. The samples prepared according to the appropriate test standards were processed with sandpaper in the range of 240-2000 mesh for metallographic examinations. After polishing with alumina solution, it was etched using 3% Nital solution. 38si7 and 54Sicr6 spring steels cut into suitable sizes were kept at 850 °C for 40 minutes, followed by quenching heat treatment and then tempering heat treatment at 400 °C. How it responds to the applied quenching heat treatments when air-water and oil are used as cooling media was investigated.

Key Word : spring steel, microstructure, fatigue, heat treatment

Science Code : 91514

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, hocam Prof.Dr. Hayrettin AHLATCI'ya ve değerli mesai arkadaőım Abdulrezzak ERDEM'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	Error! Bookmark not defined.
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	Error! Bookmark not defined.
BÖLÜM 2	2
2.1. TÜRKİYE’DE DEMİR ÇELİK	2
2.2. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	33
2.2.1. Entegre Tesisler (BOF).....	3
2.2.2. Elektrik Ark Ocaklı (EAO).....	4
2.3. YÜKSEK FIRIN PROSESİ	5
2.3.1. Yüksek Fırın Tanımı.....	5
2.3.2. Yüksek Fırın Girdileri.....	66
2.3.3. Yüksek Fırın Çıktıları	7
BÖLÜM 3	8
YAY ÇELİKLERİ	8
3.1. Genel Literatür Bilgisi.....	12

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	13
4.1. Numune Hazırlama.....	13
4.2. Metalografik İşlemler	13
4.3. Sertlik Deneyi	14
4.4. Yorulma Deneyi	15
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	16
5.1. Mikro Yapı Sonuçları.....	16
5.2. SEM ve EDS Sonuçları	19
5.3. Sertlik Deneyi Sonuçları	23
5.2. Yorulma Deneyi Sonuçları.....	25
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR	28
KAYNAKLAR	29
ÖZGEÇMİŞ	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Türkiye’de çelik üretimi.	3
Şekil 2.2. Entegre demir çelik tesisi üretim akış şeması.	4
Şekil 3.1. 38Si7 Orjinal 50X Büyütme Mikro Yapı.....	12
Şekil 3.2. 54SiCr6 50X Büyütme Mikro Yapı	Error! Bookmark not defined.
Şekil 4.1. Dönel eğmeli yorulma cihazı	15
Şekil 5.1. 38Si7 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 50x Görüntüleri	Error! Bookmark not defined.
Şekil 5.2. 54SiCr6 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 50x Görüntüleri	18
Şekil 5.3. 38Si7 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 2Kx Sem Görüntüleri	19
Şekil 5.4. 54SiCr6 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 2Kx Sem Görüntüleri	20
Şekil 5.5. 38Si7 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait EDX Grafikleri....	21
Şekil 5.6. 54SiCr6 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait EDX Grafikleri.	22
Şekil 5.7. 38Si7 Sertlik Değerleri Grafiği.....	23
Şekil 5.8. 54SiCr6 Sertlik Değerleri Grafiği.....	24
Şekil 5.9. Yağda ve Suda soğutulmuş 38Si7 numunesine ait SN eğrisi.	27
Şekil 5.10. Yağda ve Havada Soğutulmuş 54SiCr6 Numunesine ait SN eğrisi.	27

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Numuneden Elde Edilen Sertlik Değerleri	9
Çizelge 3.2. Kimyasal Bileşim.....	10
Çizelge 5.1. 38Si7 çeliğinin ortalama sertlik değerleri	23
Çizelge 5.2. 54SiCr6 çeliğinin ortalama sertlik değerleri	24
Çizelge 5.3. 20 saniye süreyle soğutulan 38Si7 çeliğine ait yorulma testi sonucunda yüklemelere göre çevrim sayıları	Error! Bookmark not defined.
Çizelge 5.4. 20 saniye süreyle soğutulan 54SiCr6 çeliğine ait yorulma testi sonucunda yüklemelere göre çevrim sayıları	Error! Bookmark not defined.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al : alüminyum

Cu : bakır

H₂ : hidrojen

He : helyum

Ni : nikel

MgO: Magnezyum Oksit

Cr : Krom

Si : Silisyum

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve elik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme
Topluluęu)

AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluęu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yay çeliği, esas olarak yayların ve diğer elastik parçaların üretiminde kullanılan bir tür yüksek karbonlu çeliktir. Adını tüy üretiminde yaygın kullanımından almaktadır. Genel olarak bu tür çelikler yüksek mukavemete, sertliğe ve aşınma direncine sahiptir. Yay çelikleri yüksek oranda karbon (genellikle %0,6-1,0 karbon) ve bir miktar diğer alaşımları (temel olarak manganez, silisyum ve bazen krom veya vanadyum) içerir.

Yay çeliği, uygulanan kuvvetin etkilerini koruma özelliğine sahip elastik bir mühendislik malzemesidir. Bu özelliği sayesinde önemli derecede bükülme ve burulma kuvvetleri uygulandıktan sonra yük kaldırıldığında orijinal durumuna geri dönebilmektedir. Bu nedenle dünyada en yaygın kullanılan alaşım olan çelik katı çözültide gösterdiği farklı özellikler açısından silisyum elementinin çeliğe belirli oranda eklendiğinde sanayide yay çeliği olarak kullanılması için gerekli mekanik özellikleri sağlaması açısından önemlidir. Belirli silisyum elementinin ilavesi avantajlı özellikleri göz önüne alındığında endüstriyel alanda kullanımı oldukça yaygındır. Bu çelikler genel olarak silisyum yay çelikleri olarak sınıflandırılır. Isıl işlemler çeliğin kimyasal özelliklerinin yanı sıra özelliklerini ve performansını belirlemek, ayarlamak ve geliştirmek için kullanılır. Bu ısıl işlemler amacına göre farklı şekillerde yapılmaktadır. Yay çeliğinin bu özellikleri, özellikle yüksek mukavemet ve elastikiyet gibi özel mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar. Bu tür çelik yük altında eğilip bükülebilmeli, aynı zamanda orijinal şeklini korumalı ve deforme olabilmelidir. Bu çalışmada, 38Si7 ve 54SiCr6 silisyum içeren yay çeliklerinin, hava/su/yağ soğutma\söndürme yöntemleri kullanılmış, üretildiği haliyle sertliği, nihai sertliği, iç yapısı ve yorulma davranışı dahil olmak üzere tepkisini araştırılmıştır.

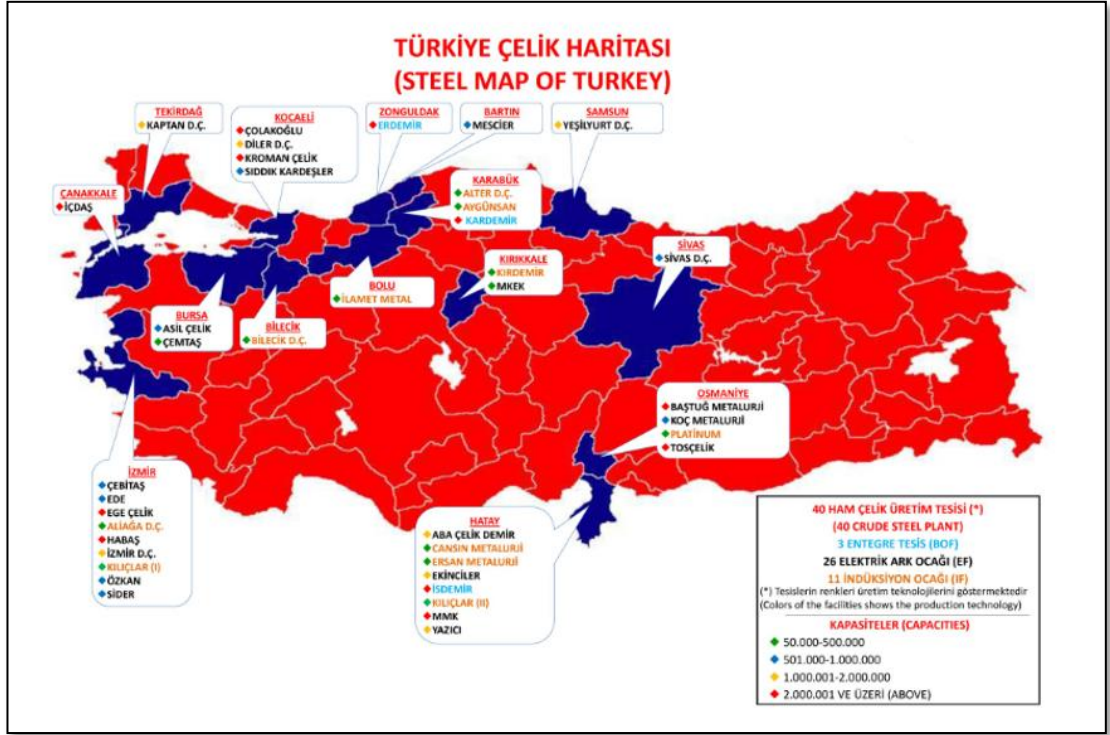
BÖLÜM 2

Çelik üretmenin iki farklı yolu vardır. Birincisi yüksek fırın, ikincisi ise ark prosesidir. Bu iki farklı yöntem kullanılan hammadde türüne göre farklılık gösterir. Genel olarak yüksek fırın yöntemi birçok yassı ürün üretmektedir ancak ark yöntemi özellikle uzun ürünlerin üretiminde öne çıkmaktadır. İkincil üretim süreci olan ark süreci hurdayı eritmek için elektrik enerjisini kullanırken, birincil üretim süreci olan yüksek fırın süreci pelet veya parça cevherden çelik üretmek için kok veya kömürü indirgeme kaynağı olarak kullanır. Günümüzün elektrik ark ocakları aynı zamanda yassı ürünler de üretebilmektedir. Ancak yüksek fırınlı çelik üretim prosesi tüm dünyada halen ana üretim prosesi olma konumunu korumaktadır [1].

2.1. TÜRKİYE'DE DEMİR ÇELİK

1925 yılında İktisat Nezareti (Maliye Nezareti) çelik sanayii kurma ihtimalini düşünmeye başladı. Petrol, kömür ve demir cevheri yataklarını araştırmak için yurt dışından uzmanlar getirildi. Uzman Dr. Granig, ülkenin sanayiye uygunluğu, kömür yapısı ve endüstriyel tesis olanaklarına ilişkin bir çalışma gerçekleştirdi. 1932 yılına kadar ara verilen araştırmalar, Rus heyetinin tecrübesi ve çelik sanayisinin kurulmasıyla yeniden başlatıldı. 17 Mart 1926'da ağır çelik sanayisini kuran kanun çıkarıldı ve yer olarak Karabük seçildi. Karabük'ü seçme nedenleri: Kömür madenlerine yakınlığı, demiryolu ulaşım imkanlarının olması, yerel işgücüne uygun olması ve jeolojik yapısının ağır işlerin yapımına uygun olması [2].

Savunma sanayinin çelik ihtiyacını karşılamak amacıyla ilk olarak 1928 yılında Kırıkkale'de çelik üretimine başlandı. 1939 yılında ilk entegre çelik fabrikası Kaldemir'in açılmasının ardından Türkiye'nin yassı çelik üretim ihtiyacını karşılamak üzere Ereli Çelik Fabrikaları (ERDEMİR) faaliyete geçti.



Şekil 2.1 Türkiye’de çelik üretimi.

Türkiye’de 26 adet elektrikli fırın (EAF), 11 adet endüksiyon ocağı ve 3 adet oksijen fırınlı çelik tesisi bulunmaktadır [3].

2.2. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Sıvı çelik üretimi, bazık oksijen fırını (BOF) tesisi ve hurdadan üretim yapan elektrik ark ocağı (EAF) tesisi bulunan entegre bir tesislerde gerçekleştirilmektedir.

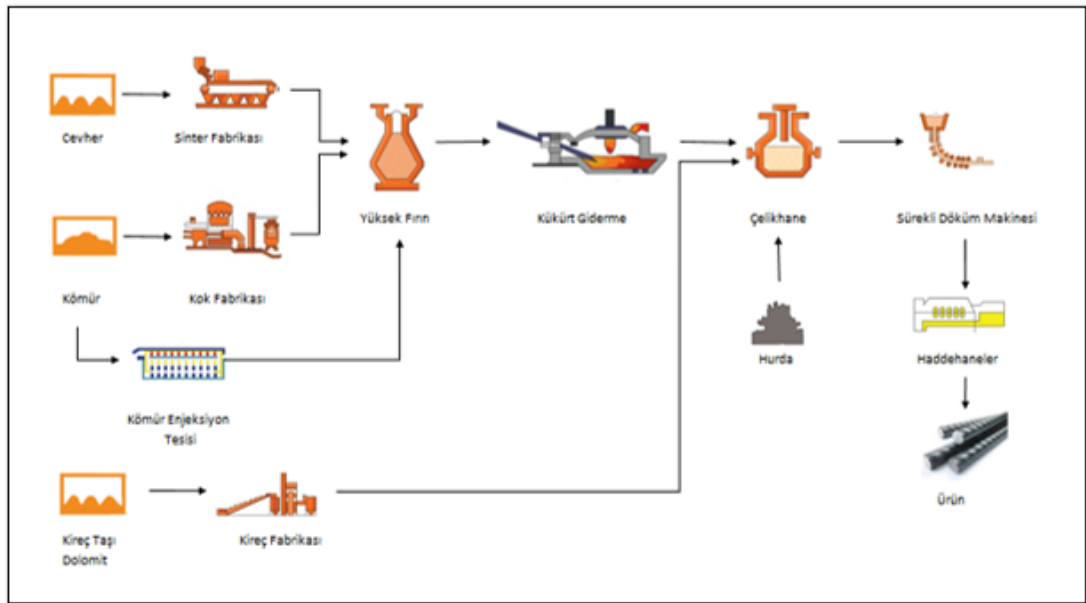
2.2.1. Entegre Tesisler (BOF)

Dönüştürücü yöntemi dünyada en yaygın kullanılan yöntemdir ve şu anda Japonya’daki üç büyük çelik fabrikası tarafından kullanılmaktadır. Üretim teknolojisinin gelişmesinin yanı sıra BOF dünyada en yaygın üretim yöntemi haline gelmiştir. Üretim için gerekli olan temel hammadde demir cevheridir. Üretim için gerekli olan diğer hammaddelerden biri olan taşkömürü koklaştırılarak yüksek fırına hazırlanır.

Toz halindeki cevher sinterleme tesisinde işlenerek sinter haline getirilerek yüksek fırın sistemlerinde de kullanılabilir. Bu arada, düşük tenörlü demir cevheri, yüksek tenörlüye kadar konsantre ediliyor ve pelet tesislerinde işlenerek yüksek fırın tesislerinde kullanılmak üzere pelet haline getiriliyor. Bu hammaddeler yüksek fırında işlenerek pik demir haline getirilir. Pik demir, bir çelik fabrikasında bir dönüştürücüyle çelik olarak işlenir ve daha sonra sürekli döküm makinesinde kütük veya levha halinde dökülür. Bu levhalar ve kütükler haddehanelerde işlenerek nihai ürüne dönüştürülür [6].

2.2.2. Elektrik Ark Ocaklı (EAO)

EAF tesisinde erimiş çelik üretimi çelik hurdası kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Çelik hurdası yukarıdan bir vinç yardımıyla elektrikli fırına taşınıyor ve fırının kapağı kapatılıyor. Bu kapak ark ocağına indirilen üç elektrotu destekler. Elektrotlardan geçen akım bir ark oluşturur ve ortaya çıkan ısı hurdayı eritir. Erimiş metal ark ocağından alındıktan sonra pota metalurjisine tabi tutulur, gerekli alaşım elementleri eklenir ve hareketsiz kalması sağlanır. Daha sonra pota metalurjisinde üretilen erimiş çelik, kütük veya levha formunda ara ürünler elde etmek için sürekli bir döküm makinesinden geçirilir.



Şekil 2.2 Entegre demir çelik tesisi üretim akış şeması.

2.3. YÜKSEK FIRIN PROSESİ

2.3.1. Yüksek Fırın Tanımı

Yüksek fırın, sinterleme tesisinde üretilen pelet, parça cevher ve sinterin metalurjik kok ile indirgenmesiyle sıvı pik demir elde eden bir sistemdir. Erimiş pik demir, yüksek fırına konulan demir içeren hammaddelerin indirgenerek eritilmesi ve yüksek sıcaklığa kadar ısıtılan havanın yüksek fırına üflenmesi ve bir nozül aracılığıyla fırının içine akması yoluyla kokuların giderilmesiyle üretilir. Yüksek fırın, birçok termokimyasal prosesi içeren, sıvı pik demir üretimine olanak sağlayan dikey bir eritme fırınıdır. Yüksek fırına beslenen hammaddenin (Fe) yanı sıra diğer elementler (pik demirde çözünemeyen elementler) ve oksitler de cüruf oluşturur.

Yüksek fırında sıcak shd çıkarmak için cevher, pelet ve sinter gibi demir içeren hammaddeler, çakmaktaşı, dolomit, kireçtaşı ve olivin gibi cüruf oluşturan malzemeler ve enerji kaynağı olarak metalurjik kok fırına yüklenir.

Bu malzemeleri yukarıdan fırına dökün. Kömür, katran, gazyağı, doğalgaz gibi enerji kaynakları fırının tabanından sağlanır. Fırının üst kısmından sağlanan hammaddelerden sadece katı ve hafif kok fırının alt kısmına girer. Diğer malzemeler belli aşamalardan geçerek sıvı halde fırının dibine düşer.

Demir, hammaddelerin yüksek fırında eritilmesi ve oksitlerin CO gazı kullanılarak ayrılmasıyla azaltılır. İndirgeme ve ayrışma reaksiyonları sırasında açığa çıkan çeşitli gazlar, fırında sabit bir konsantrasyonda reaksiyona girer. Bu reaksiyonlardan sonra kullanılmayan gaz yüksek fırından boşaltılır. Yüksek fırından çıkarken küçük boyutlu malzeme (toz) da fırından çıkarılır. Gazın içindeki bu maddelerin ayrıştırılıp rafine edilmesinden sonra kalan kısmına yakıt olarak kullanılır. Gazın içindeki toza uçan toz denir. Gazdan ayrıştırılarak toz silosunda toplanır.

Yüksek fırın üfleyici tarafından üretilen ve yüksek fırında 1000-1250°C sıcaklığa kadar ısıtılan hava, içi boş döküm (hava üfleme) yoluyla fırına girer.



Bu reaksiyondaki karbon, kok, kömür, katran, ağır yağ ve doğal gaz gibi ısı kaynaklarından gelir. O₂, bir üfleyici tarafından sağlanan önceden ısıtılmış havadan veya havayla karıştırılmış saf oksijenden sağlanır.

Üretilen yüksek sıcaklıktaki gaz (2000-2250°C) fırının alt kısmından üstüne geçtiğinde cevher, pelet ve sinterlenmiş malzemeler gibi demir hammaddeleri ve bu hammaddelerin içerdiği demir ile çeşitli fazlarda reaksiyona girer. Diğer oksitlerle ayrışır. Ayrılan demirle birlikte çözünen diğer elementlere semender adı verilir ve fırın odası bölgesinde sıvı halde birikir. Hammaddelerin içerdiği demir dışındaki oksitlere cüruf denir. Cüruf, hazne alanındaki sıvı zirvesinde sıvı halde toplanır [7].

2.3.2. Yüksek Fırın Girdileri

Yüksek fırınlarda sıvı demir üretmek için sinter, pelet, parça cevher, cüruf, metalurjik kok, kömür tozu ve sıcak hava kullanılır. Parça cevher doğadan bitmiş haliyle çıkarılırken, sinterlenmiş taş ve peletler yüksek fırında işlenmeye uygun hale gelene kadar bir dizi işlemden geçirilir. Kömürün öğütülmesi, yüksek fırında reaksiyonlar için gereken ısı ve gazı sağlayan kömür tozu üretir.

Demir doğada saf halde bulunmaz. Genellikle demir oksitler ve gang minerallerinden oluşur. Önemli demir minerali. Manyetit (Fe₃O₄), hematit (Fe₂O₃), limonit (FeO (OH) · nH₂O) [8].

Demir mineralleri ekonomik olarak kullanılabilir miktarlarda bulunduğu buna demir cevheri denir. Fırının verimini arttırmak için demir içeriği yüksek malzemeler oldukça önemlidir.

2.3.3. Yüksek Fırın Çıktıları

Yüksek fırında sıvı ham demir, yan ürün olan cüruf ve yf gazı oluşmaktadır.

Sıvı Ham Demir

Besleme sisteminde istenilen tane büyüklüğüne göre hazırlanan sinter kaya, pelet, tenörlü cevher ve metalürjik kok, konveyör bantlar veya vagonlar vasıtasıyla akış bölgesinden fırına iletilir. Tuyer bölgesindeki deliklerden üflenen sıcak hava ve metalürjik kokun yanması sırasında açığa çıkan indirgeyici gazlar, demir oksitleri uzaklaştırır ve haznede sıvı demir biriktirir.

Sıvı pik demirin içeriği %93,5-95 demir (Fe), %0,30-0,90 silisyum (Si), %0,025-0,050 kükürt (S), %0,55-0,75 manganez (Mn) ve %0,03 içerir ~%0,09 fosfor (P). .), %0,02-0,06 titanyum (Ti), %4,1-4,4 karbon (C). Demir cevherinin yüksek fırında indirgenmesiyle elde edilen sıvı pik demir, döküm deliği matkabıyla delinerek torpidolarla çelikhaneye taşınıyor. İyi erimiş çelik üretmek için iyi erimiş pik demir gereklidir [9]. Sıvı pik demir %95 demir, %5 silisyum, manganez, karbon, fosfor ve kükürttten oluşur.

Cüruf

Yüksek fırın proseslerinde cüruf birçok demir oksit, silikat, alüminat veya borattan oluşan bir yapıdır. Shd üretiminde cüruf, imalat yöntemine bağlı olarak üç türe ayrılır: yüksek fırın cürufu, yüksek fırın cürufu ve çelik üretim cürufu. Çelik üretim cürufu, çelikhane erimiş metalin erimesi sırasında çeliğin yüzeyinde oluşan yapıdır. Pota fırınlarına ikincil metalürji fırınları denir. Pota cürufu, kükürt giderme, oksijenin uzaklaştırılması ve pota fırınında alaşımlama gibi işlemlerle üretilen bir cüruftur [10].

Hammadde miktarına bağlı olarak yüksek fırın cürufunun içerisinde kireç, silika, alüminyum, demir, manyezit, manganez oksit ve kükürt oransal olarak değişmektedir [11].

BÖLÜM 3

YAY ÇELİKLERİ

3.1. Genel Literatür Bilgisi

Yay çeliği, esas olarak yayların ve diğer elastik parçaların üretiminde kullanılan bir tür yüksek karbonlu çeliktir. Adını tüy üretiminde yaygın kullanımından almaktadır. Genel olarak bu tür çelikler yüksek mukavemete, sertliğe ve aşınma direncine sahiptir. Yay çelikleri yüksek oranda karbon (genellikle %0,6-1,0 karbon) ve bir miktar diğer alaşımları (temel olarak manganez, silisyum ve bazen krom veya vanadyum) içerir.

Bu özellikler yay çeliğinin özellikle yüksek mukavemet ve elastikiyet gibi özel mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar. Bu tür çelik yük altında eğilip bükülebilmeli, aynı zamanda orijinal şeklini korumalı ve deforme olabilmelidir. İşleme sırasında yay çeliği genellikle spesifik mekanik özelliklerini belirleyen özel ısıl işlemlere (genellikle su verme ve temperleme) tabi tutulur. Bu özellikler genellikle uygulamaya ve özel yay tipine bağlıdır. Yay çeliği, araç süspansiyon sistemleri, tarım makineleri, inşaat ekipmanları, demiryolları ve diğer ağır hizmet uygulamaları yaygın kullanılmaktadır [12].

Yay çelikleri %0,40 ila 1,2 oranında karbon, Si, Cr, Mn ve V içeren alaşımlı çelikleri içerir ve mükemmel esneklikleri nedeniyle yay imalatına uygundur. Silisyum (Si): Çeliğin sünekliğini ve darbe dayanımını azaltmadan çekme dayanımını artırır. Çeliğin sıcak şekillendirilebilirliğini artırır ve tufal oluşumunu azaltır.

Ostenit sıcaklığı artar [12]. İnce yaylı çelik sac parçaları sürekli bir fırına yüklerken, parçalar üst üste binmeyi önlemek için otomatik olarak yüklenir veya manuel olarak istiflenir ve normalden farklı bir şekilde işlenir.

Aynı zamanda, işlenmiş parçalar içindeki kontrollü atmosfer, birikintilerin (cüruf benzeri yapılar) oluşumunu önleyerek mükemmel yüzey kalitesi ve her parçanın karşılık gelen sertliğini sağlar.

Dünyanın en yaygın kullanılan alaşımı olan çelik, malzeme biliminin en tanımlayıcı işlevinin en somut örneğidir: malzeme yapısı, özellikleri ve performansı arasındaki ilişkinin incelenmesi. Çelik, katı çözeltilerinde başka bir elementin atomlarıyla karşılaştığında çok farklı özellikler sergiler. Bu özelliklerdeki değişiklikler malzemenin kullanıldığı yerdeki performansını belirler. Çeliğin sanayide yay çeliği olarak kullanılabilmesi için çeliğe belirli oranlarda silisyum elementlerin eklenmesinin gerekli mekanik özellikleri sağlaması önemlidir.

Isıl işlemler çeliğin kimyasal özelliklerinin yanı sıra özelliklerini ve performansını belirlemek, ayarlamak ve geliştirmek için kullanılır. Bu ısıl işlemler amacına göre farklı şekillerde yapılmaktadır [13]. Bu çalışma, Bu çalışmada, 38Si7 ve 54SiCr6 numunelerinin ısıl işlem sonrası yorulma davranışlarının incelenmesi için aşağıda belirtilen deneysel çalışmalar yapılmıştır

Çizelge 3.1. Numuneden elde edilen sertlik değerleri

54SiCr6	Ulaştığı gibi	SU Temperlemeden önce	SU Temperlemeden sonra	YAĞ Temperlemeden önce	YAĞ Temperlemeden sonra
	60.30	75.80	74.20	72.20	71.40

Sertlik değerleri su verme ortamına ve sıcaklığa göre değişmektedir. Alaşım elementlerinin içeriği ve C miktarı önemlidir. [14]. Su verme yağa göre daha hızlı sonuç vermektedir. Soğuma hızı kritik soğuma hızından yüksek olduğundan perlitik ve beynitik dönüşüm engellenir ve martenzit yapı oluşur. Soğuma hızı düşük olduğunda martenzit azalır, yağla söndürülmüş numunelerin sertliği de artar. Temperlemenin amacı katı çözeltiler alaşımının matrisindeki martenzit oluşumundan kaynaklanan sertlik miktarını karşılaştırılabilir şekilde azaltmaktır.

Çizelge 3.2. Kimyasal Bileşim

Malzeme Adı	Malzeme Numarası	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Ni	Mo	V	Cu+Sn
38Si7	1.5023	0,35 - 0,42	1,50 - 1,80	0,50 - 0,80	0,025	0,025	-	-	-	-	Cu+10sn+0,60
54SiCr6	1.7102	0,51 - 0,59	1,20 - 1,60	0,50 - 0,60	0,025	0,025	0,50 - 0,60	-	-	-	Cu+10sn+0,60

Standartlar bakıldığında 38Si6, 46Si7, 56Si7, 55Cr3, 60Cr3, C55S, C60S, 51CrV4, 60SiMn5, 67SiCr5 316Ti gibi kaliteler fazlaca bilinen birincil paslanmaz çelik kaliteleridir. Yay çeliği, basınç altında esneyebilen ve yük kaldırıldığında orijinal durumuna dönebilen bir malzemedir. Farklı kimyasal içeriklerle esnek standartlar elde edilebilir. Bu tür çelik, iyi sünekliğe sahip yaylar üretmek için kullanılır.

Yay sanayinin her sektöründe vazgeçilmez bir unsurdur. Yay çeliğinden yapılan parçalar, çalışma ortamında uygulanan kuvvetli basıncı absorbe etmeli ve basınç kalktığında hızla bükülmeli ve standart pozisyona dönmelidir. Yay malzemesinin elastik deformasyon kabiliyetinin yüksek olması gerektiğinden yay çeliğinin mekanik özellikler açısından akma dayanımının yüksek olması gerekir.

Ayrıca çekme, basma, bükülme veya burulma yüklerine maruz kalacağı için yorulma önleyici özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yay üretimi için gerekli olan ısıl işlem öncesinde malzemenin yeterli plastik şekillendirilebilirliğe sahip olması gerekmektedir.

Yay çeliği; Kimyasal bileşimlerine, yapılarına, üretim yerlerine ve kullanım yerlerine göre sınıflandırılabilirler. Yay çeliğinin kimyasal bileşimindeki ana maddeler krom, karbon, kükürt ve manganezdır. Krom elementi, kimyasal yapıdaki varlığına bağlı olarak çeliğin sertlik değerini artırır. Bu nedenle ideal esneklik için krom seviyelerinin dengede tutulması gerekir. Mekanik ekipmanlar farklı çevrimlerle çalışır.

Bu nedenle farklı beklentilere cevap verebilecek seçimler yapmak ve çalışma ortamına uygun malzeme seçmek önemlidir. Ayrıca yay çeliği imalat prosesinde yüzey kalitesi önem kazanmaktadır. Yüzeyde mekanik özellikleri doğrudan etkileyen çizik, çatlak ve pullanma gibi kusurlar meydana gelebilir.

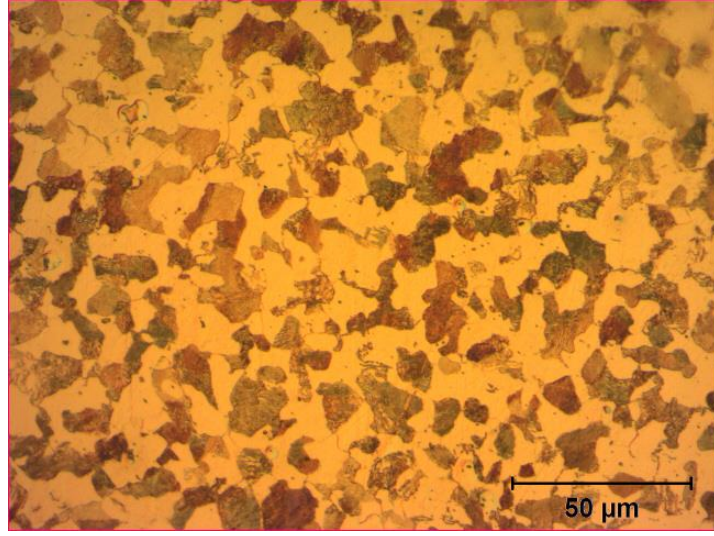
Yay çelikleri şu şekilde sınıflandırılır: sıcak haddelenmiş işlenebilir yay çeliği, soğuk haddelenmiş şerit ısıtılmış yay çeliği, yuvarlak tel çekilmiş alaşımsız yay çeliği, yay çeliği ile yay çeliği, paslanmaz tel veya şerit halinde üretilir; Yüksek sıcaklıklara dayanabilen yay çelikleridir [14].

Düşük alaşımlı yay çeliklerinin korozyona karşı korunmasının pratik olarak iki yöntemi vardır. Bunlardan ilki, çelik yüzeylerin daha sonra boyanmasından önce ön işlem görevi gören fosfat veya çinko fosfat kaplamalardır. Bu korozyon önleyici kaplama sistemlerinin dezavantajı, mekanik hasarlara karşı dirençlerinin düşük olmasıdır. Kaplama sistemindeki mekanik hasar genellikle yaylarda lokal korozyon hasarına yol açar, bu da malzemenin çatlamasına veya yayların kesit alanında kritik bir azalmaya ve gerekli mekanik özelliklerin kaybına neden olabilir.

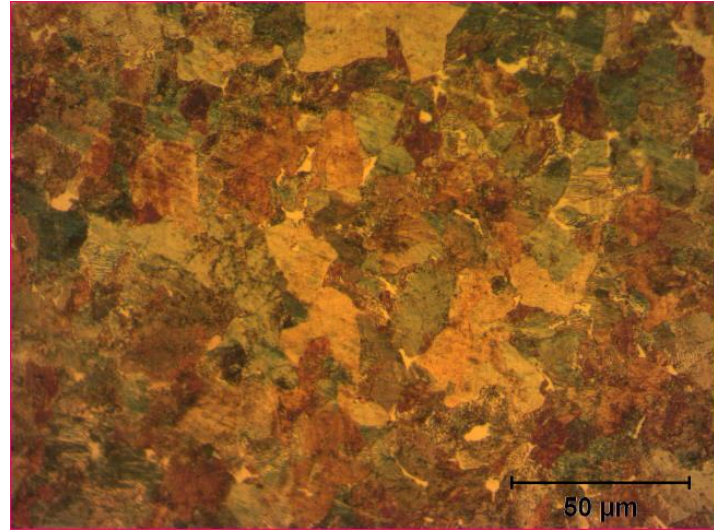
Korozyona karşı korumanın ikinci yöntemi Cr, Ni, Mo veya Cu ile mikro alaşımlamadır. Aşındırıcı bir ortamda krom kompakt bir Cr_2O_3 oluşturur. Düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyinde, dış ortam ile düşük alaşımlı çeliğin metal çekirdeği arasında koruyucu bir bariyer oluşturan katmandır.

Nikel ve molibden içeriği ise bu çeliklerin, daha yüksek klorür içeriğine sahip bir ortamda oyuklanma korozyonu oluşumuna karşı direncini artırır. Düşük alaşımlı çeliklerin bakırla mikroalaşımının ilginç bir etkisi vardır.

Bu çeliklerin $NaHSO_3$ 'teki yüksek korozyon direnci Çözüm, yüzeylerinde çift kat korozyon ürünleri oluşması, çelik yüzeye bitişik katmanın ise bakır açısından zengin olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma, bakırla mikro alaşımlı düşük alaşımlı 54SiCr6 çeliğin ve 38Si7 çeliğin, ağırlıkça %3,5 ila %2,5-3 klorür içeriğine sahip bir model tuzlu su ortamında ve model yağmur suyunda korozyon direncini ele almaktadır [15].



Şekil 3.1 38Si7 Orjinal 50X Büyütme Mikro Yapı



Şekil 3.2 54SiCr6 50X Büyütme Mikro Yapı

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 38Si7 ve 54SiCr6 numunelerinin ısıtılma işlemi sonrası yorulma davranışlarının incelenmesi için aşağıda belirtilen deneysel çalışmalar yapılmıştır.

4.1. Numunelerinin Hazırlanması

Numuneler uygun standartlarda dilimlenmiş ve ısıtılma işlemi için oda sıcaklığındaki fırına yerleştirilmiştir. Su verme ısıtılma işlemi için 850 C de 40 dk bekletilen numuneler hava, su ve yağ ortamında soğutulmuştur. Daha sonra gevreklik gidermek ve tokluk kazandırmak amacıyla 400 C derece 2 saat bekletilerek temperleme ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Ve numuneler deneysel çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Her bir numuneden alınan parçalarla metalografik işlemlere geçilmiştir.

4.2. Metalografik işlemler

Tezde üretilen 38Si7 ve 54SiCr6 çelikleri 15mm çapında ayrı ayrı yapılmıştır. Metalurjik işlemi kolaylaştırmak için hazırlanan numuneler ayrı bakalit plastik kalıplara yerleştirildi. Daha sonra malzeme 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 mesh zımpara ile zımparalanır. Cilalama işlemi için cihaza polisaj keçesi yerleştirilerek polisaj işlemi gerçekleştirilir. Alüminadan yapılmıştır. Parlatma için 3 µm'lik alümina süspansiyonu kullanılır. Polisaj işleminin ardından gravür işlemine geçilir.

Aşındırma için %3'lük nital karışım kullanıldı. Numuneler saf su ve alkol ile yıkanarak temizlendi. Bu adımlar tamamlandıktan sonra optik mikroskop ve elektron mikroskobu kullanılarak mikroyapısal görüntüler alınmıştır.

4.3. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi numuneleri hazırlanan 38Si7 ve 54SiCr6 çelik numuneler, 13 mm uzunluğunda ve 20 mm çapındaki çubuk kesitinden dilimlenmiş ve alınan numunelerin yüzeyleri zımparalanarak parlatılmıştır. Sertlik testleri için ise numuneler silindirik yapıda 15mm-20mm çığında kesilerek ayarlanmıştır. Sertlik deneylerinde KBÜ QNESS marka dijital (Ø10A+) VİCKERS sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertleştirme için ısıtım işlem fırınında 850 °C'de 40 dakika ve 400 °C'de 2 saat tavlama yapılmıştır. Sertleştirme işleminin başarılı olabilmesi için numunelerin ısıtım işlem fırını tarafından belirlenen sıcaklıklara ulaştıktan sonra hızlı bir şekilde soğutulma işlemi için fırından alınan numunelere su verme işlemi uygulanmıştır. Söndürme işlemleri için durgun su (oda sıcaklığı °C)-hava (oda sıcaklığı 25°C) ve hazne içinde yağda soğutma teknikleri seçilmiştir. Sertlik test cihazında sertlik değerleri üç kez ölçülerek ortalama değerleri alınarak kayıt altına alınmıştır.

4.4. Yorulma Deneyi

Isıl işlem yorulma testi için hazırlanan 38Si7 ve 54SiCr6 çelik numuneler, kesiti 13 mm uzunluğunda ve 20 mm çapında olan bir çubuktan kesilerek standarda uygun konumlardan torna multimetresi kullanılarak yorulma numunesinin çizimleri oluşturuldu. Yorulma testi, döner bükme yorulma standardı ISO 1143'e göre dört noktalı bükme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir.

Yorulma testi için üretilen dönel bükme yorulma fikstürü Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Dönel eğmeli yorulma cihazı

Yorulma testi sonrasında her numunenin yorulma ömrüne ilişkin bilgi, hangi yük altında gerçekleştirilen çevrim sayısı kaydedilerek elde edilir. Gerilmeyi kuvvete dönüştürmek için ISO 1143'te verilen formül kullanıldı [16].

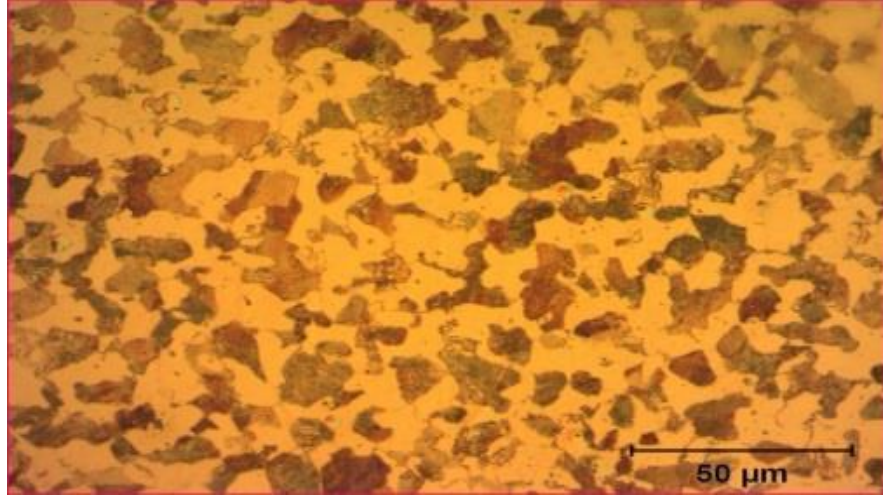
$F = (S \times \pi \times d^3) / 32 \times L$ Bu bilgiye dayanarak bunun üretilen çelik numunelerin yorulma özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

BÖLÜM 5

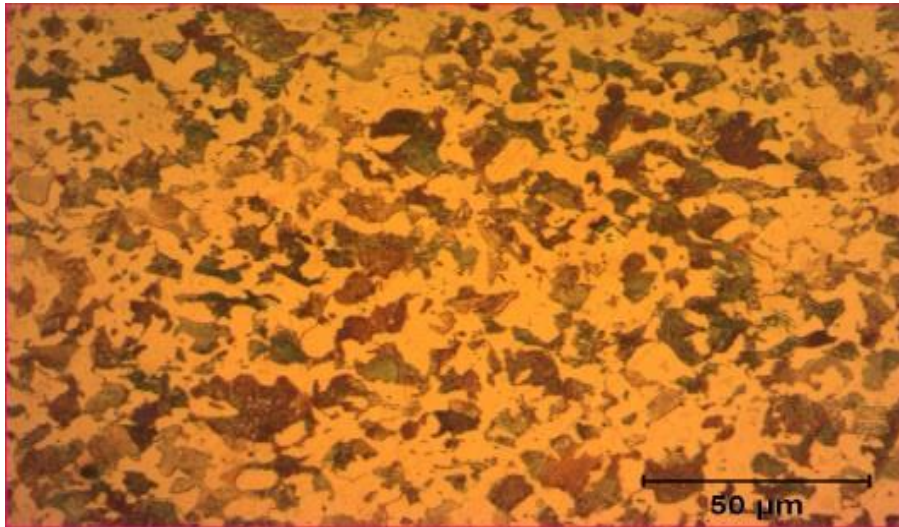
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

5.1. Mikro Yapı Görüntü Sonuçları

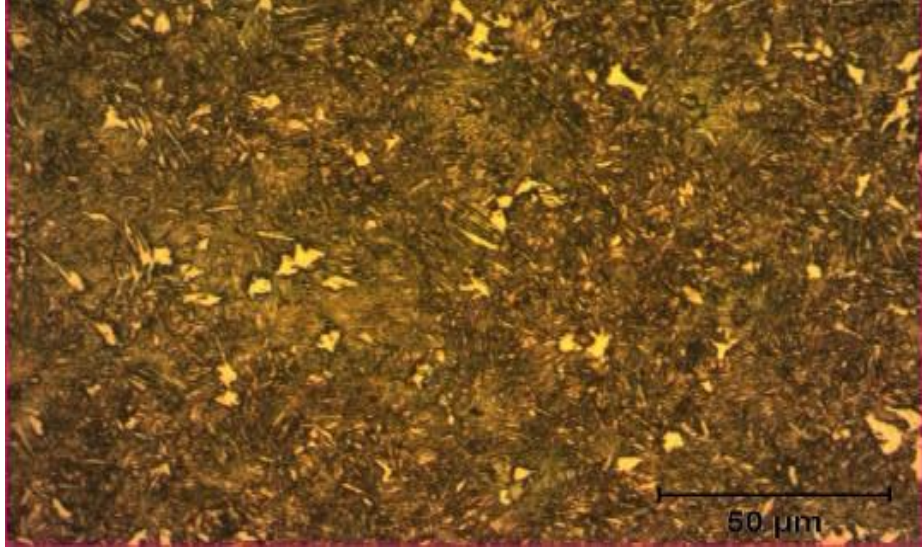
38Si7 ve 54SiCr6 çelik numunelerinin optik mikroskop (OM) ve electron mikroskobu (SEM) görüntüleri sırası ile şekil 5.1 – 5.6’da verilmiştir.



(a)

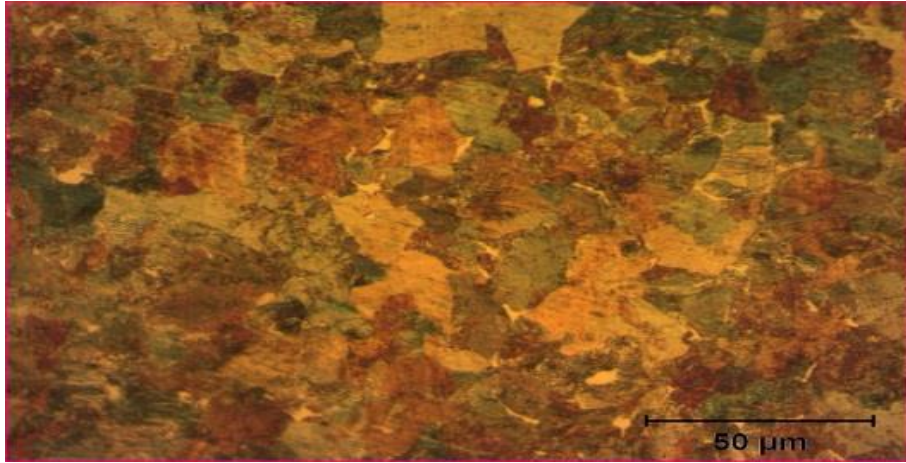


(b)

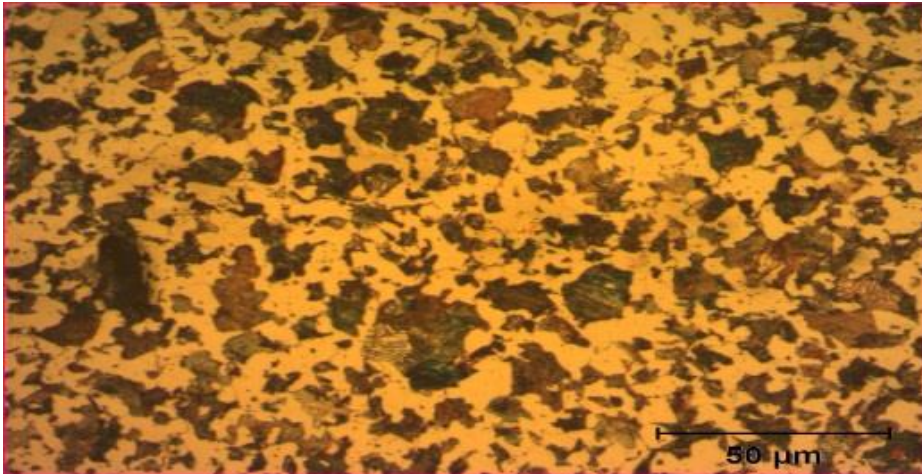


(c)

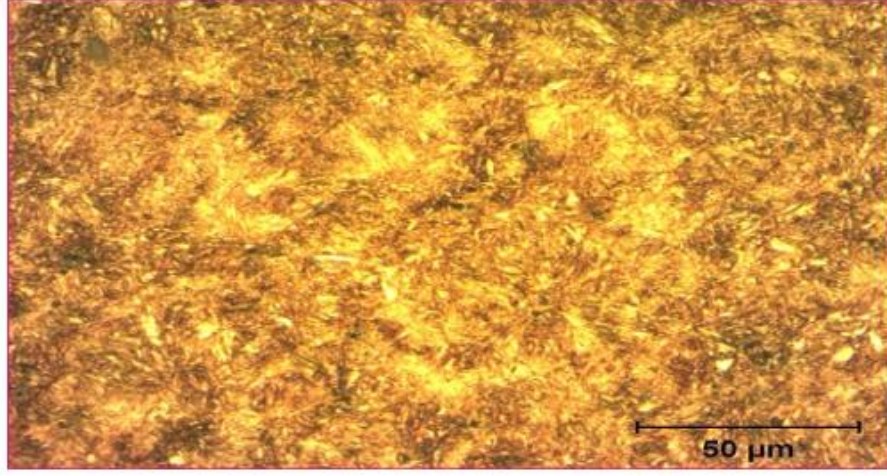
Şekil 5.1. 38Si7 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 50x Görüntüleri



(a)



(b)

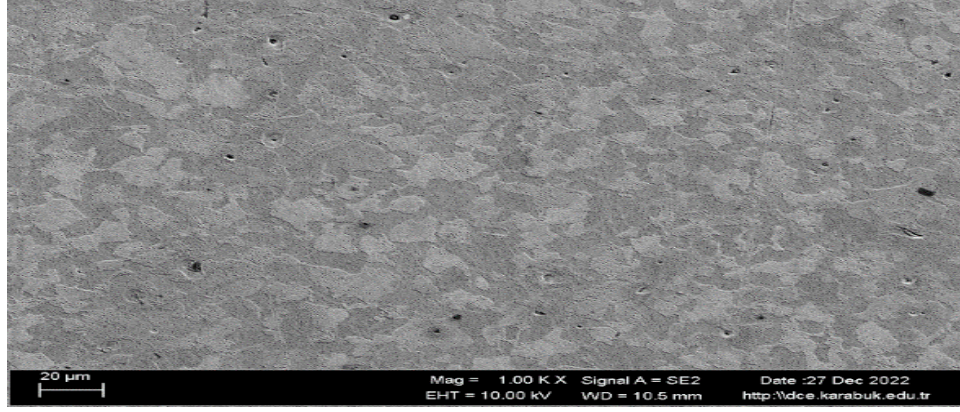


(c)

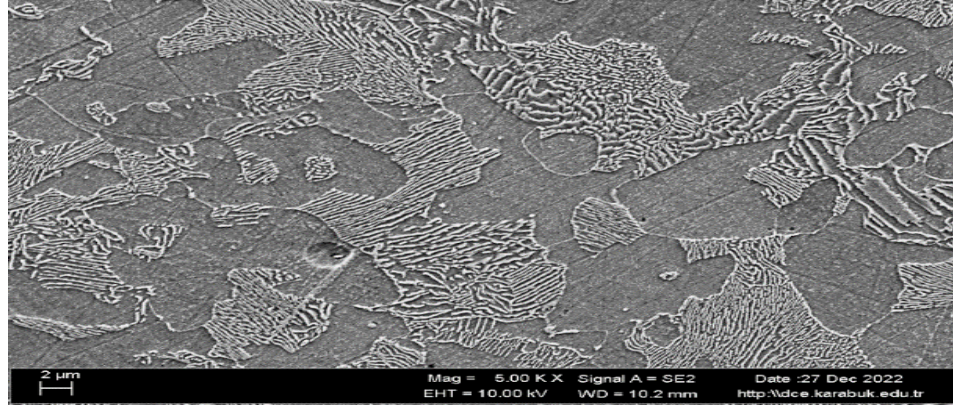
Şekil 5.2. 54SiCr6 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 50x Görüntüleri

5.2. SEM ve EDX Anlizleri

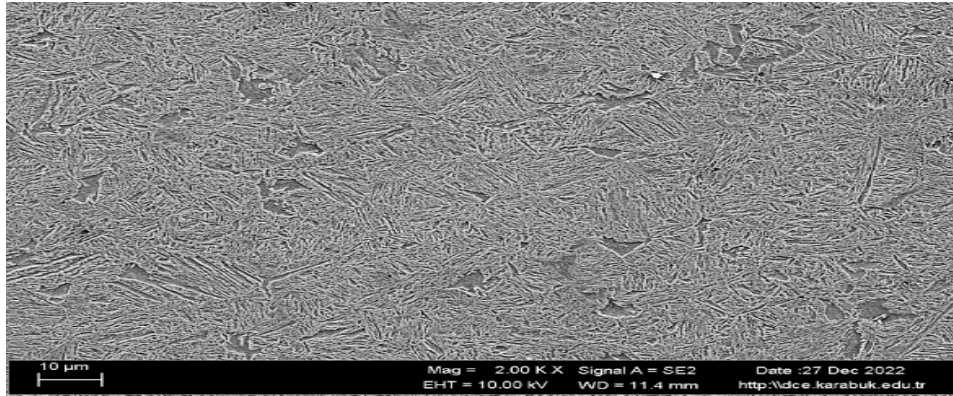
38Si7 ve 54SiCr6 numunelerin sem görüntüleri ve edx analizleri margem labratuvarında alındıktan sonra aşağıda şekil 5.3-5.6'da verilmiştir.



(a)

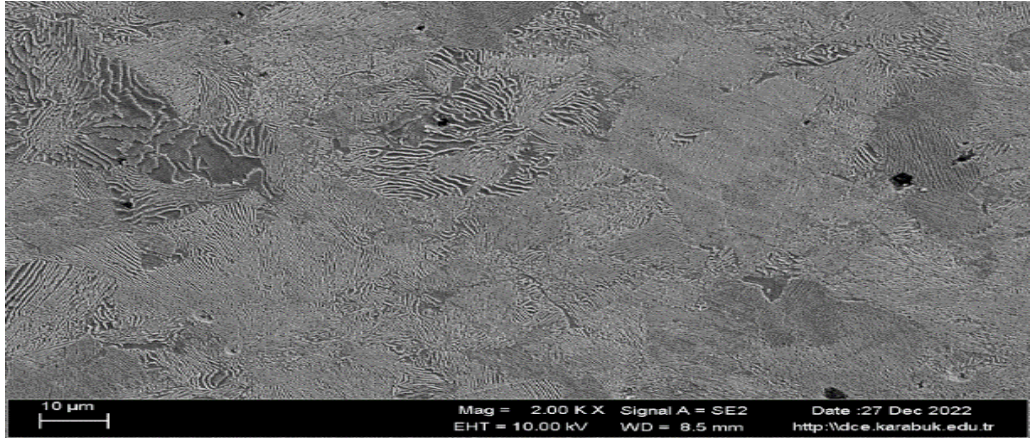


(b)

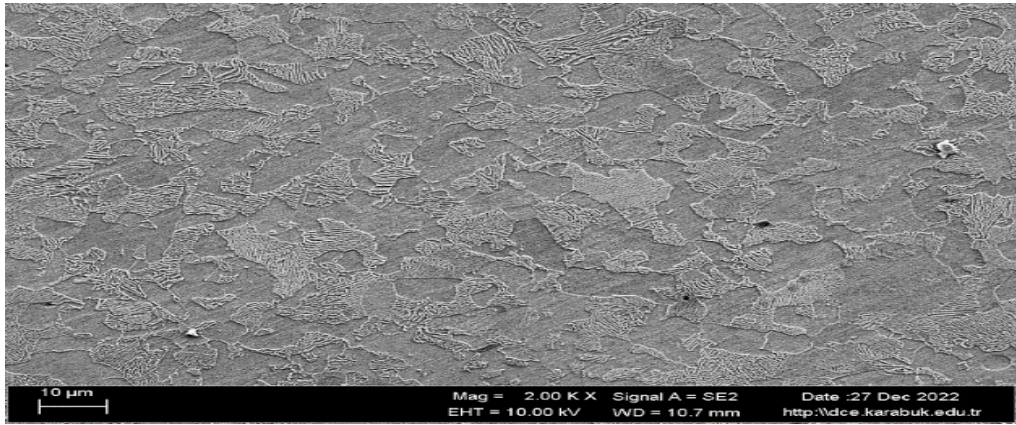


(c)

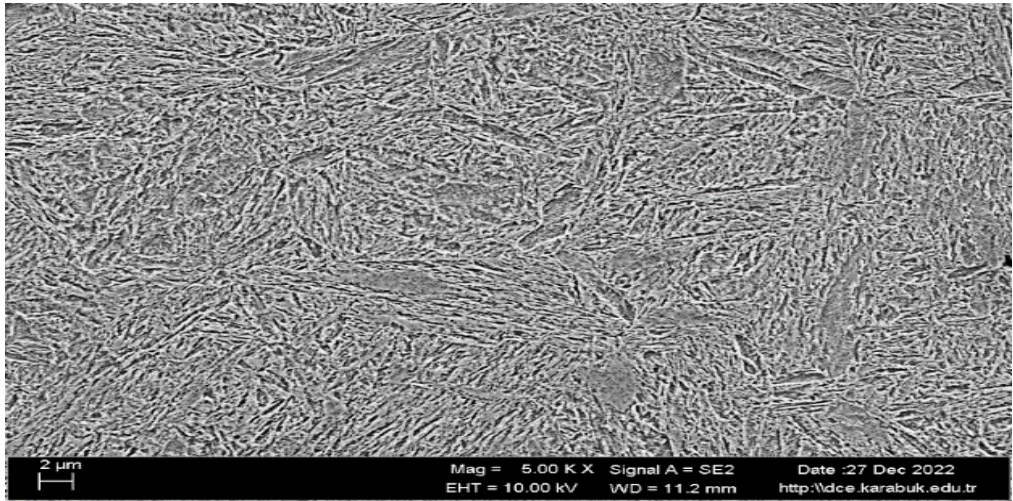
Şekil 5.3. 38Si7 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait 2Kx Sem Görüntüleri



(a)

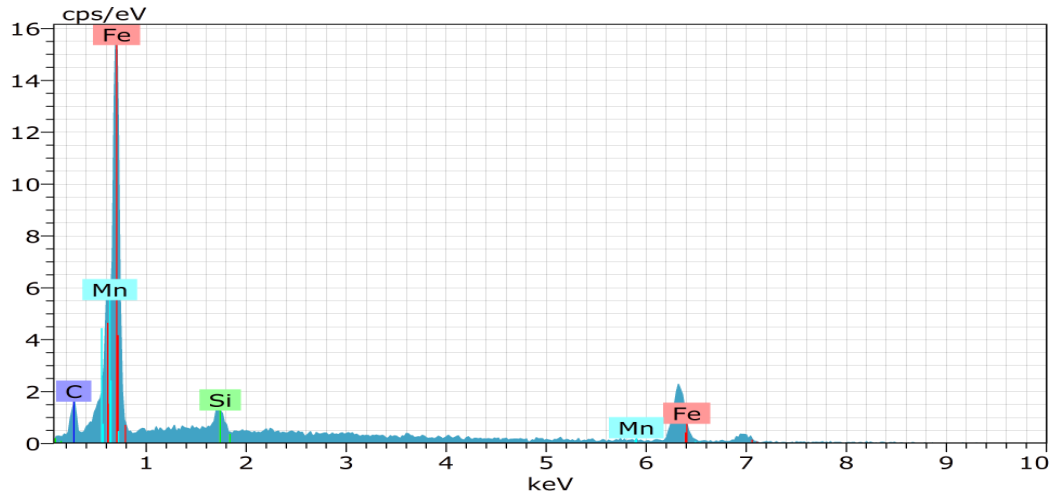


(b)

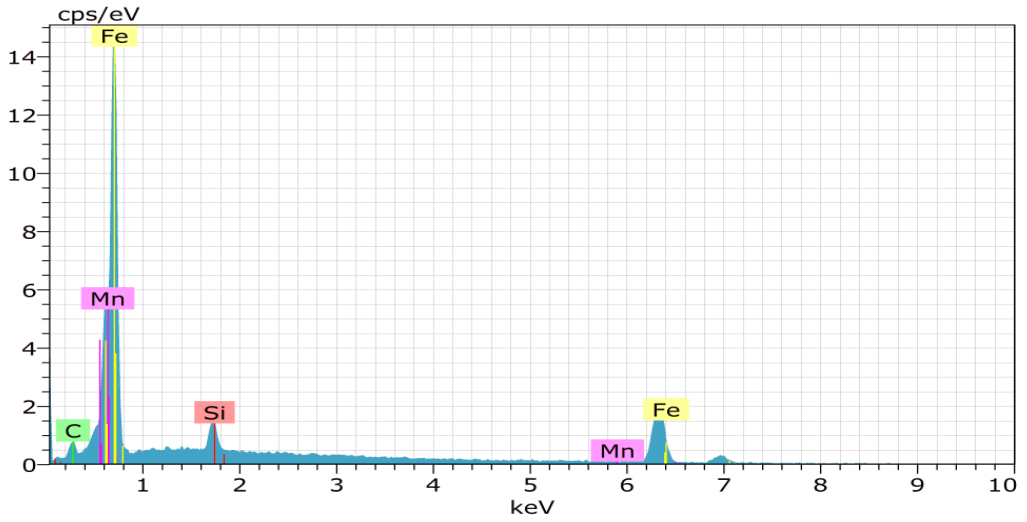


(c)

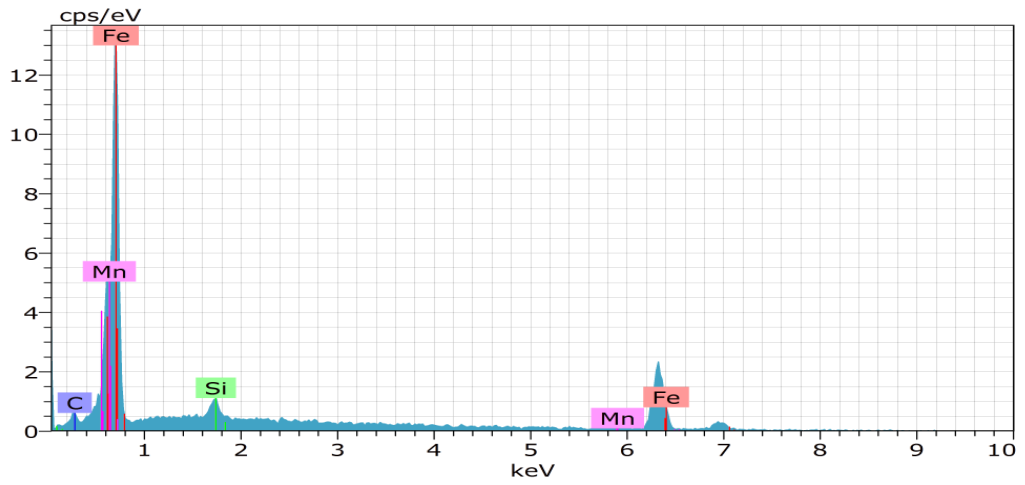
Şekil 5.4. 54SiCr6 (a) orijinal (b) Hava (c/5Kx) Yağ Soğutmalarına ait 2Kx Sem Görüntüleri



(a)

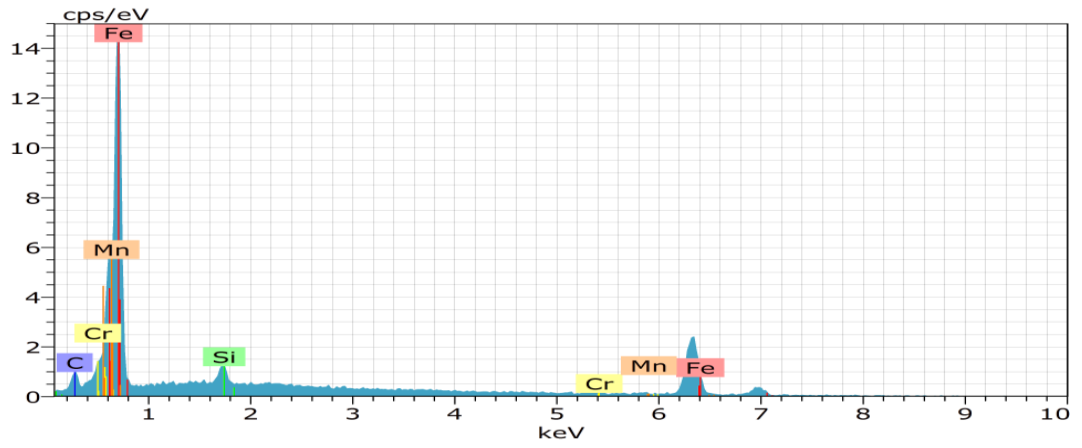


(b)

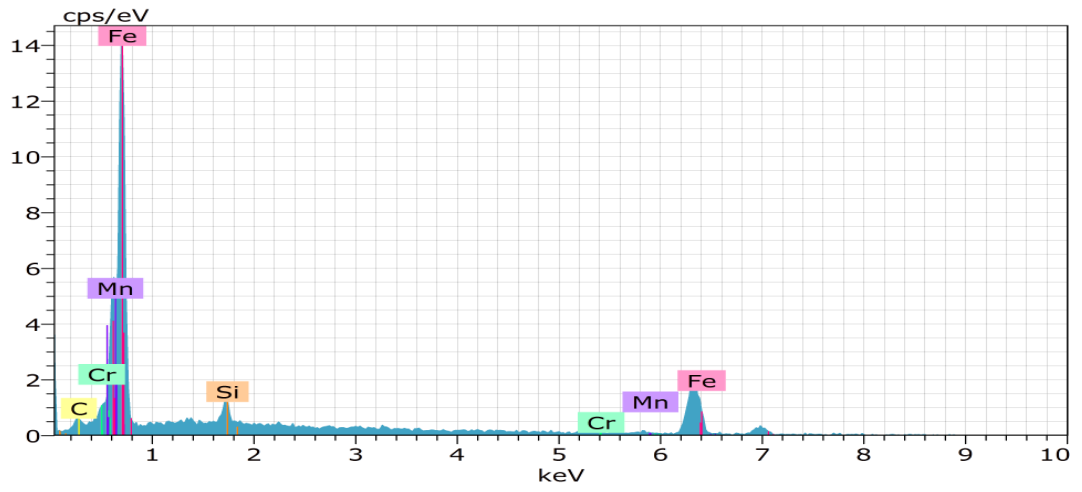


(c)

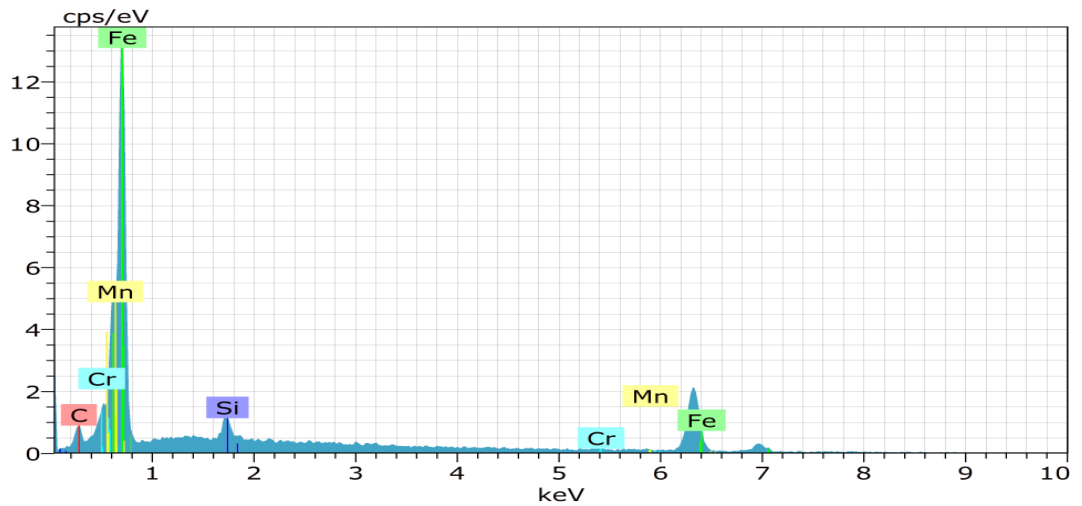
Şekil 5.5. 38Si7 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait EDX Grafikleri



(a)



(b)



(c)

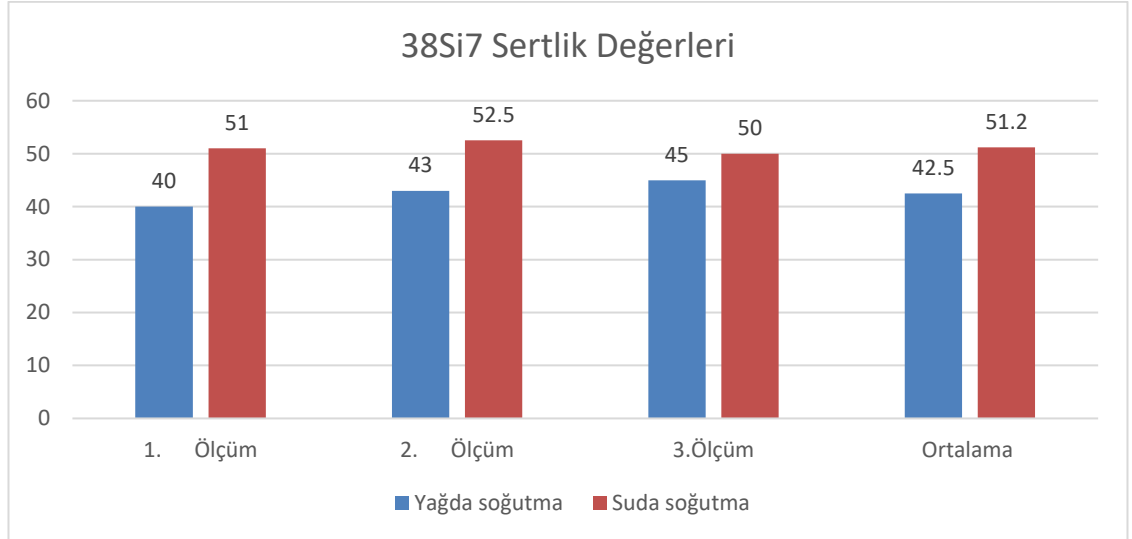
Şekil 5.6. 54SiCr6 (a) orijinal (b) Hava (c) Yağ Soğutmalarına ait EDX Grafikleri

5.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

38Si7 ve 54SiCr6 çelik numunelerinin Sertlik değerleri ve diyagramları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de grafik görselleri ise Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 38Si7 çeliğinin ortalama sertlik değerleri.

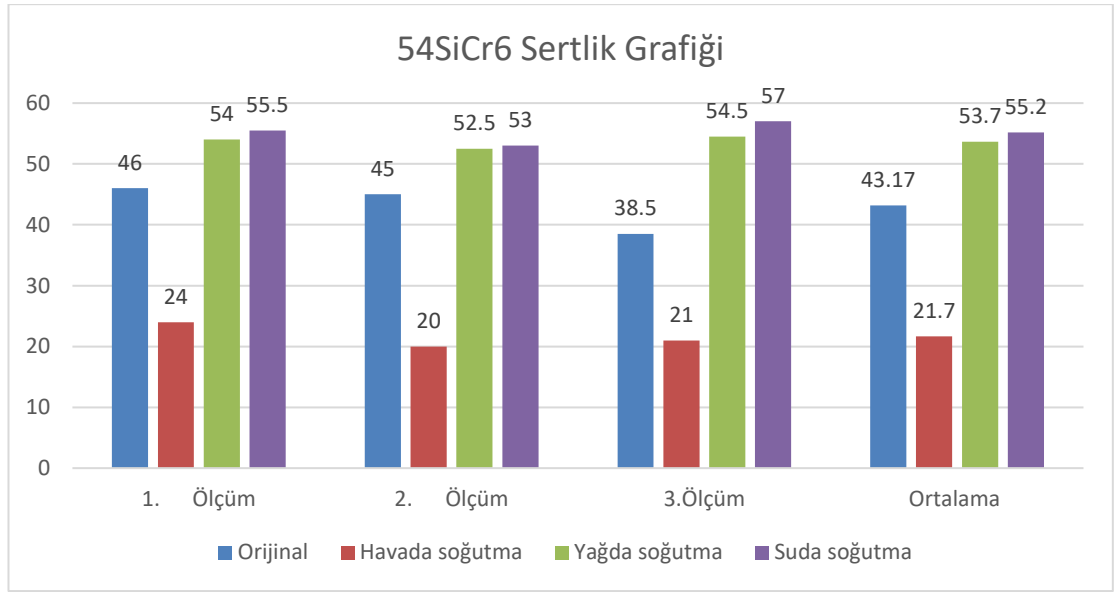
38Si7 Sertlik alınan ortam	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3.Ölçüm	Ortalama
Yağda soğutma	40	43	45	42,5
Suda soğutma	51	52,5	50	51,2



Şekil 5.7. 38Si7 Sertlik Değerleri Grafiği

Çizelge 5.2 54SiCr6 çeliğinin ortalama sertlik değerleri.

54SiCr6 Sertlik alınan ortam	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
Orijinal	46	45	38,5	43,17
Havada soğutma	24	20	21	21,7
Yağda soğutma	54	52,5	54,5	53,7
Suda soğutma	55,5	53	57	55,2



Şekil 5.8. 54SiCr6 Sertlik Değerleri Grafiği

5.4. Yorulma Deneyi Sonuçları

Yorulma testleri “ISO 1143 Metalik Malzemeler – Rotating Bar Bending Fatigue Testing” standardına göre dört nokta eğilme şeklinde gerçekleştirildi. Test sırasında uygulanan yük, yorulma testi numunesinin mukavemetine ve çevrim sayısına göre belirlenir ve akma mukavemeti altında incelenir. Yorulma testleri orijinal numune hariç üç grupta gerçekleştirildi. Bunlar başlangıç numuneleri halinde gruplandırıldı ve yağ-hava+su karışımıyla 20 saniye süreyle soğutuldu. 20 saniye soğutulan çelik numunelerin grafiğinden alınan gerilme değerleri Newton cinsinden yük olarak hesaplandı ve yorulma makinesi buna göre yüklendi. Testlerdeki stres değerlerinin bir fonksiyonu olarak çevrim sayısı Tablo 5.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.3 20 saniye süreyle soğutulan 38Si7 çeliğine ait yorulma testi sonucunda yüklemelere göre çevrim sayılarının yağda (a) ve suda (b) soğutma verileri.

Yağda Soğutma Verileri 38Si7			
Mpa	Çevrim Sayısı	Kullanılan Yük (N)	
787,8848	3660	30	
525,2565	68300	20	
393,4172	277850	14,98	
365,0533	5600000	13,9	Kırıldı
306,2246	10300000	11,66	Kırılmadı
262,6283	50000000	10	Kırılmadı

(a)

Suda Soğutma Verileri 38Si7			
Mpa	Çevrim Sayısı	Kullanılan Yük (N)	
2569,818	14700	97,85	
1955,267	177050	74,45	kırıldı
1313,141	10000000	50	kırılmadı
787,8848	24192000	30	kırılmadı
525,2565	39744000	20	kırılmadı

(b)

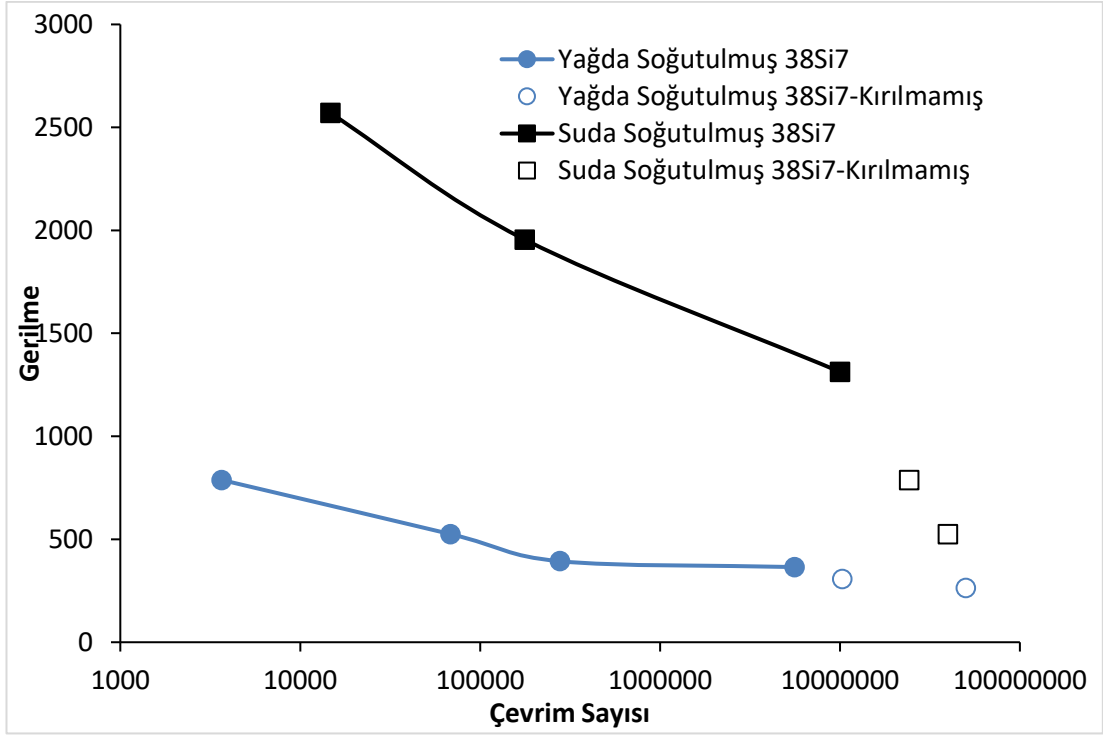
Çizelge 5.4 20 saniye süreyle soğutulan 54SiCr6 çeliğine ait yorulma testi sonucunda yüklemelere göre çevrim sayılarının yağda (a) ve havada (b) soğutma verileri.

Yağda 54SiCr6			
Mpa	Çevrim sayısı	Kullanılan Yük (N)	
1050,513	153379	40	Kırıldı
1168,696	217434	44,5	Kırıldı
1693,952	354390	64,5	Kırıldı
1838,398	29965	70	Kırıldı
1993,349	264400	75,9	Kırıldı

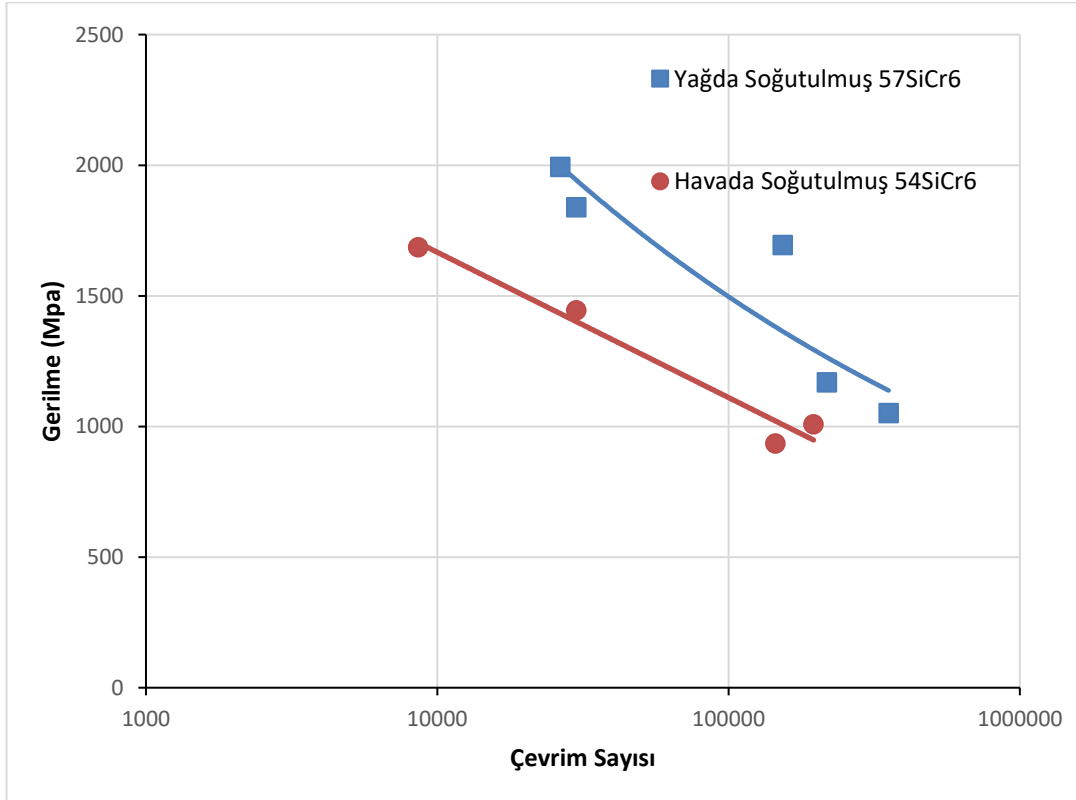
(a)

Havada 54SiCr6			
Mpa	Çevrim sayısı	Kullanılan Yük (N)	
1686,074	65900	64,2	kırıldı
1008,493	195860	38,4	kırılmadı
934,9567	14495	35,6	kırıldı
898,1887		34,2	yeni takıldı.

(b)



Şekil 5.9 Yağda ve Suda soğutulmuş 38Si7 numunesine ait SN eğrisi



Şekil 5.10. Yağda ve Havada Soğutulmuş 54SiCr6 Numunesine ait SN eğrisi

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

- Mikro yapı sonuçlarında optik ve sem görüntüleri incelendiğinde 54SiCr6 orjinal numune görüntülerinin ince kaba perlitik yapıda olduğu gözlemlenmiştir.
- 54SiCr6 yağda soğutulan numunede daha ince iğnemi yapı olduğu gözlemlenmiştir.
- 38Si7 havada soğutulmuş numunede tane yapısında kaba ferrit ve kaba perlitik yapı görülmüştür.
- 38Si7 suda soğutulan numunenin yağda soğutulan numuneye göre daha ince taneli yapıda olduğu gözlemlenmiştir.
- Sertlik deneyi sonuçları incelendiğinde her iki numunede de suda soğutulduktan sonra sertlik değerlerinde artış görülmüştür.
- 54SiCr6 İncelendiğinde numunede çatlak olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. (Geerdes , Chaigneau , Lingiardi , Molenaar , & Van Opbergen , 2020).
2. Mühendis ve Makine, “Karabük Demir Çelik Fabrikaları”,https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/12d2b1c7b2826ca_ek.pdf, 55-56 (2019).
3. Çelik İhracatçıları Birliği, “Dünya Türk Çeliği ile Şekilleniyor”, <http://www.cib.org.tr/files/Doc/files/Katalog2019TR.pdf> 2021].
4. Çelik İhracatçıları Birliği, “Dünya Türk Çeliği ile Şekilleniyor”, <http://www.cib.org.tr/files/Doc/files/Katalog2019TR.pdf> 2021].
5. [T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü, “Demir Çelik Sektör Raporu”, SATSA, 8,9 2020]
6. (Odabaş, Çay, & Kılınç, 2014)
7. Yıldız, K., “Demir Çelik Metalürjisi,”, Sakarya Üniversitesi, 14, 2-6, 36, 37, 38-39(2017).
8. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Metalurji Teknolojisi Hamdemir”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ham%20Demir.pdf (2011).
9. Alan, E., “Yapay Sınır Ağları Yaklaşımı ile Curuflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 5-29, 1-5,20(2013).
10. Doğantepe, G., “Hematik Karakterli Demir Cevherinden ve Yüksek Fırın Baca Gazından Sünger Demir Üretilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 24(2013).
11. Tsuzaki ve Maki, 1981
12. <https://www.uslularhadde.com/yay-celigi-nedir>
13. <https://www.acarindex.com/journal-of-materials-and-mechatronics-a/54sirc6-ve-60simn5-yay-celiklerinin-isil-islemi-ve-mikroyapisal-analizi-1080662>

14. <https://www.akcelik.com.tr/yay-celikleri/>
15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254058423010313?via%3Dihub>

ÖZGEÇMİŞ

Nebiye YİRMİBEŞ, ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. Demir Çelik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu.2017 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2021 yılında iyi derece ile mezun oldu.2022 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.