



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**AISI 8620 ÇELİĞİNİN FARKLI ŞARTLAR ALTINDAKİ
MEKANİK ÖZELLİKLERİ, KOROZYON DİRENCİ VE
MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ**

FURKAN GÜNEY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MENDERES KAM**

DÜZCE, 2021

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AISI 8620 ÇELİĞİNİN FARKLI ŞARTLAR ALTINDAKİ
MEKANİK ÖZELLİKLERİ, KOROZYON DİRENCİ VE
MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ

Furkan GÜNEY tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Serkan APAY

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan ATAKÖK

Marmara Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 29/11/2021

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

29 Kasım 2021

Furkan GÜNEY

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Korozyon test çalışmasında vermiş olduğu destek ve katmış olduğu deneyimlerden dolayı Prof. Dr. Hüsnü GERENGİ hocama sonsuz teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili annem Nursefa GÜNEY, babam Tahir GÜNEY ve kardeşim İrem GÜNEY'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP- 2020.22.01.1119 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

29 Kasım 2021

Furkan GÜNEY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR	x
SİMGELER.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. AISI 8620 SEMENTASYON ÇELİKLERİ	14
3.2. TEST NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI	15
3.2.1. Sertlik Testi Numunelerinin Hazırlanması	15
3.2.2. Çekme Testi Numunelerinin Hazırlanması	16
3.2.3. Darbe Testi Numunelerinin Hazırlanması	16
3.2.4. Aşınma Testi Numunelerinin Hazırlanması	17
3.3. ISIL İŞLEM	17
3.3.1. Sementasyon Isıl İşlemi	18
3.3.2. Temperleme İşlemi	19
3.3.3. Kriyojenik (Sıfırlatı) İşlem.....	19
3.3.4. AISI 8620 Çeliği Numunelere Uygulanan Isıl İşlemler	21
3.4. MİKRO-MAKRO SERTLİK TESTİ	22
3.4.1. Makro (Rockwell) Sertlik Testi.....	23
3.4.2. Mikro (Vickers) Sertlik Testi.....	25
3.4.3. Sertlik Numunelerinin Ölçülmesi.....	26
3.5. ÇEKME TESTİ	27
3.5.1. Çekme Testinin Yapılması	28
3.6. DARBE TESTİ.....	29
3.7.1 Charpy Darbe Testi.....	31
3.7.2. Charpy Darbe Testinin Yapılması.....	32
3.7. AŞINMA TESTİ	33
3.7.1. Aşınma Testlerinin Yapılması	34
3.7.2. Optik Profilometre İncelemeleri.....	35
3.8. KOROZYON TESTİ.....	36
3.8.1. Korozyon Testinin Yapılması	37
3.9. MİKROYAPININ İNCELENMESİ	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
4.1. MİKRO-MAKRO SERTLİK BULGULARI	42
4.2. ÇEKME TESTİ BULGULARI	44
4.3. DARBE TESTİ BULGULARI.....	46
4.4. AŞINMA TESTİ BULGULARI	47
4.5. KOROZYON TESTİ BULGULARI.....	55

4.5.1. EIS Bulguları.....	55
4.5.2. SEM-EDS Bulguları	58
4.6. MİKROYAPI BULGULARI.....	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
5.1. SONUÇLAR.....	63
5.2. ÖNERİLER.....	64
6. KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	74



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Deneysel çalışma süreci.....	13
Şekil 3.2. AISI 8620 çeliği mikro-makro sertlik testi numune ölçüleri (mm).....	16
Şekil 3.3. AISI 8620 çeliği çekme test numunesi ölçüleri.....	16
Şekil 3.4. AISI 8620 çeliği çekme test numunesi.....	16
Şekil 3.5. AISI 8620 çeliği darbe test numune ölçüleri (mm).....	17
Şekil 3.6. AISI 8620 çeliği aşınma testi numune ölçüleri (mm).....	17
Şekil 3.7. Sıfırlama işleminin sıcaklık-zaman grafiği	20
Şekil 3.8. AISI 8620 çeliğinin ısıtma işlemi süreci	22
Şekil 3.9. Rockwell uç çeşitleri.	24
Şekil 3.10. Rockwell sertlik ölçme yönteminin uygulanış süreci.....	25
Şekil 3.11. Vickers sertlik ölçme yönteminin şematik gösterimi	26
Şekil 3.12. Sertlik numuneleri.	26
Şekil 3.13. Sertlik ölçüm cihazları; a) Mikro (Vickers), b) Makro (Rockwell).	27
Şekil 3.14. Çekme testi aşamaları ve sonucunda oluşan gerilme-uzama eğrisi	28
Şekil 3.15. Çekme test cihazı.....	29
Şekil 3.16. Darbe test cihazının çalışma prensibi	30
Şekil 3.17. Uluslararası standartlara göre Charpy test numuneleri.....	31
Şekil 3.18. a) V çentik açma cihazı b) Charpy darbe test cihazı.	32
Şekil 3.19. Darbe test numuneleri.....	32
Şekil 3.20. Pin-on-disk aşınma deney düzeneği.	34
Şekil 3.21. a) Pin-on- disk aşınma testi şeması, b) Testte kullanılan yükler, c) Aşındırıcı disk, d) Aşınma testi.....	35
Şekil 3.22. Phaseview model optik profilometre cihazı.	35
Şekil 3.23. Korozyona uğramış metal.....	37
Şekil 3.24. Elektrokimyasal korozyon test düzeneği.....	37
Şekil 3.25. a) Hassas terazi, b) Manyetik karıştırıcı, c) Homojen çözelti.	38
Şekil 3.26. Elektrokimyasal deney hücresi.....	38
Şekil 3.27. GAMRY marka PC3/600 potansiyostat/ galvanostat/ ZRA model deney cihazı.....	39
Şekil 3.28. SEM Quanto FEG 250 model EDS cihazı.....	40
Şekil 3.29. Metkon marka Forcipol 1V model zımpara ve parlatma cihazı.	41
Şekil 3.30. Parlatma ve dağlama işlemi yapılmış numune.	41
Şekil 3.31. Mikroyapı incelemesinde kullanılan SEM Quanto FEG 250 model cihaz. .	41
Şekil 4.1. Vickers (Hv) sertlik değerleri.	43
Şekil 4.2. Rockwell (HRC) sertlik değerleri.....	43
Şekil 4.3. Numunelerin ortalama maksimum çekme dayanımı.	44
Şekil 4.4. Numunelerin ortalama kopma dayanımı.	45
Şekil 4.5. Numunelerin ortalama yüzde uzama değerleri.....	45
Şekil 4.6. Gerilme uzama grafiği.....	46
Şekil 4.7. Numunelerin darbe test sonuç grafiği.....	47
Şekil 4.8. N1 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	48
Şekil 4.9. N2 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	48
Şekil 4.10. N3 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	49
Şekil 4.11. N4 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	49
Şekil 4.12. Numunelere 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	49
Şekil 4.13. Numunelerin 10 N yük altında aşınan yüzeylerinin üç boyutlu görüntüsü. .	50

Şekil 4.14. Numunelerin 10 N yük altında yüzey pürüzlülüğü değerleri.	51
Şekil 4.15. N1 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	52
Şekil 4.16. N2 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	52
Şekil 4.17. N3 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	52
Şekil 4.18. N4 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	53
Şekil 4.19. Numunelere 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.	53
Şekil 4.20. Numunelerin 20 N yük altında aşınan yüzeylerinin üç boyutlu görüntüsü. .	54
Şekil 4.21. Numunelerin 20 N yük altında yüzey pürüzlülüğü değerleri.	55
Şekil 4.22. EIS Nyquist (a), Bode (b), Angle (c) ve R(QR) devresi (d).	56
Şekil 4.23. Korozyon testi sonrası numunelerin SEM görüntüleri; a) X100, b) X200...	59
Şekil 4.24. Numunelerin X5000 büyütme SEM görüntüleri.	61



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. AISI 8620 çeliğinin farklı ülke standartlarındaki karşılıkları.....	14
Çizelge 3.2. AISI 8620 çeliği kimyasal bileşimi.	15
Çizelge 3.3. AISI 8620 çeliği mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 3.4. AISI 8620 çeliği ısıtıl işlem süreci	18
Çizelge 3 5. Numunelere uygulanan ısıtıl işlemler	21
Çizelge 3.6. TRD aşınma test cihazı özellikleri.....	34
Çizelge 4.1. 10 N ve 20 N altında aşınma testi ortalama sürtünme katsayıları (μ)	48
Çizelge 4.2. EIS yöntemi sonunda elde edilen elektriksel parametreler	56
Çizelge 4.3. EIS testleri sonrası EDS analiz sonuçları	60



KISALTMALAR

AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CNC	Computer Numerical Control
DIN	German Institute for Standardization
EIS	Electrochemical Impedance Spectroscopy
EN	European Norm
HRA	Hardness Rockwell (Rockwell-A Sertliği)
HRB	Hardness Rockwell (Rockwell-B Sertliği)
HRC	Hardness Rockwell (Rockwell-C Sertliği)
HRF	Hardness Rockwell (Rockwell-F Sertliği)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)
Hv	Hardness Vickers (Vickers Sertliği)
ISO	International Organization for Standardization
KeV	Kiloelectron Volt
OCP	Open Circuit Potential
SEM	Scannig Electron Microscope
TS	Türk Standartları
XRD	X-Ray Diffraction

SİMGELER

C	Karbon
Cr	Krom
E	Elastisite modülü
F	Yük
dev/dak	Devir Sayısı (devir/dakika)
G	Ağırlık
GPa	Gigapaskal
g	Gram
h	Yükseklik
Kg	Kilogram
kj	Kilojoule
J	Joule
mm	Milimetre
ml	Mililitre
Mo	Molibden
MPa	Megapaskal
Mn	Mangan
m/s	Hız (metre/saniye)
N	Newton
Ni	Nikel
NaCl	Sodyum klorür
HNO ₃	Nitrik asit
P	Fosfor
R	Direnç
R _{ct}	Yük transfer direnci
R _s	Çözelti direnci
S	Kükürt
s	Saniye
Si	Silisyum
Q	Sabit faz elemanı
α	Düşme açısı
β	Yükselme açısı
μ	Sürtünme katsayısı
μm	Mikrometre
°C	Santigrat derece
%	Yüzde
σ	Sigma

ÖZET

AISI 8620 ÇELİĞİNİN FARKLI ŞARTLAR ALTINDAKİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ, KOROZYON DİRENCİ VE MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ

Furkan GÜNEY

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM

Kasım 2021, 73 sayfa

Günümüzün imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan AISI 8620 (21NiCrMo2) sementasyon çeliği makine, pim, mil ve dişli çark yapımında tercih edilen başlıca malzemeler arasında yer almaktadır. Malzemelere uygulanan kriyojenik işlemin mekanik özelliklere olumlu yönde etkileri olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, AISI 8620 çeliğe; sementasyon işlemine tamamlayıcı olarak -196 °C’de 24 ve 36 saat bekletme süreli kriyojenik işlem ve sonrasında 2 saat temperleme işlemi uygulanmıştır. Dört farklı grupta sınıflandırılan numunelerin makro - mikro sertlik, çekme, darbe, aşınma, korozyon testleri ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilerek malzemenin mekanik özellikleri üzerinde kriyojenik işlemin etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, 24 saat bekletme süreli kriyojenik işlemin bu malzemenin mekanik özelliklerini, korozyon direncini ve mikroyapısını iyileştirmede optimum bekletme süresi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, kriyojenik işlemin etkisi ile kristal yapının olumlu yönde değiştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 8620 çeliği, Kriyojenik işlem, Mekanik özellikler, Mikroyapı, Sertlik.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES, CORROSION RESISTANCE AND MICROSTRUCTURES OF AISI 8620 STEEL UNDER DIFFERENT CONDITIONS

Furkan GÜNEY

Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Manufacturing Engineer

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Menderes Kam

November 2021, 73 pages

AISI 8620 (21NiCrMo2) cementation steel, which is widely used in today's manufacturing industry, is among the materials preferred in machinery, pins, shafts and gear wheels. It is known that cryogenic treatment applied to materials has positive effects on mechanical properties. In this study, AISI 8620 steel; as a complement to the cementation process, cryogenic treatment with 24 and 36 hours holding time at -196 °C and then 2 hours tempering process was applied. The effects of cryogenic treatment on the mechanical properties of the material were investigated by performing macro - micro hardness, tensile, impact, wear, corrosion tests and microstructure examinations of the samples classified in four different groups. As a result, it was found that the cryogenic treatment with 24 hours holding time was the optimum holding time to improve the mechanical properties, corrosion resistance and microstructure of this material. In addition, it was observed that the crystal structure changed positively with the effect of the cryogenic treatment.

Keywords: AISI 8620 steel, Cryogenic treatment, Hardness, Mechanical properties, Microstructure.

1. GİRİŞ

Günümüzün modern endüstrisinde mekanik sistemler yüksek hızlara ve aşırı yüklenmelere maruz kalarak ağır şartlar altında çalıştırlarından, endüstriyel ve bilimsel çalışmalar bu koşullar altında çalışan malzemelerin özelliklerini iyileştirmek üzerine ilerlemektedir [1]. Bu bağlamda son yıllarda metalik malzemelerin mekanik özellikleri, mikroyapısı ve aşınma davranışları arasındaki ilişkiler üzerine yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır [2].

İmalat endüstrisinde önemli bir yeri olan çeliklerin sayısız kullanım alanı vardır. Makine ve imalat endüstrisinde kullanılan çeliklerde; kullanım performanslarının yüksek olması, yüzeyleri sert ve aşınmalara karşı dayanıklı olması, çekirdeklerinde ise olası darbelere karşı dirençli ve tok olması gibi özellikler istenmektedir. Çeliklerin içeriğindeki karbon miktarı, yüzde olarak belli bir oran değeri aralığında olduğundan, sementasyon (sertleştirme) işleminin neticesinde iç ve dış kısımlarında sert bir yapıya dönüşeceğinden kullanım alanları sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, çeliklerde zamanla korozyona (aşınmaya) uğramalarından dolayı önemli oranda malzeme kayıpları görülmekte ve bu kayıplara karşı alınacak tedbirler önem kazanmaktadır [3].

Yüzey sertleştirme bu durumlarda alternatif çözümlerden birisi olarak öne çıkmaktadır. Bilinen en eski yüzey sertleştirme yöntemi olan sementasyon işlemi içeriğindeki % 0,10-0,25 C bulunan alaşımlı ve alaşımsız çeliklere uygulanır. Bu bağlamda yüzeyleri karbonca zenginleştikten sonra uygulanan sementasyon (yüzey sertleştirme) işlemiyle istenilen amaca uygun malzemelerin üretimini gerçekleştirmek mümkün olmaktadır [3].

Geleneksel ısıtma işlemi görmüş malzemelerin mikro yapılarına bakıldığında ferritik ve perlitik yapıda olduğu görülmektedir. Yüzeyden merkeze doğru ilerledikçe görülen sertlik değerleri arasındaki farklar malzemenin kullanım ortamında maruz kalacağı yükler sırasında malzemenin yumuşak kısımlarında çatlaklar oluşmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzluk çeşitli alaşım elementlerini farklı yüzdelere içeren çelikleri kademeli olarak sertleştirilerek giderilmektedir. Çeliğin çalışma ortamında gerekli performans kabiliyetini sağlayabilecek yüzey sertleştirme (sementasyon) işleminin yapılması konusunda mikroyapı incelemeleri önemli oranda etkileri olmaktadır. Bu bağlamda bu yöntem ile

tane büyüklüklerinin incelenmesi sayesinde oluşabilecek çatlak ve kırılmaların belirlenmesi konusunda önemli rol oynamaktadır. Sementasyon işlemi uygulanmış malzemelerin mikroyapılarının kullanım ömürlerini uzattığı dolayısıyla yorulma dayanımlarına olumlu etkileri olduğu bilinmektedir [4].

Genel olarak ısıtıl işlem uygulanmış alaşımlı çeliklerde, ısıtıl işlemin tamamlayıcısı olarak uygulanan kriyojenik işlem, malzemenin yapısındaki artık östenit miktarının azaltmasına neden olmakta bu sayede malzemenin mikroyapısal özellikleri önemli ölçüde olumlu yönde etkileyen bir işlem olarak bilinmektedir. Sıfırlı (kriyojenik) işlemi malzemenin sementasyon işlemi ile sertleşmesi ve sonrasında soğutulması, malzemenin bütününde östenitin martenzite dönüşümünü tamamlayana kadar bu soğuk ortamda tutulması ve ardından çıkartılarak oda sıcaklığına ısınması aşamalarını içermektedir. Bu işlemin sonrasında malzemeye temperleme işlemi uygulanabilmektedir. Geleneksel yöntemler ile uygulanan kriyojenik işlem -100 °C'den düşük sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmektedir [5].

Son yılların gelişen teknoloji ile birlikte malzeme bilimciler ve mühendisler, mühendislik malzemelerinin yüzeylerinde basma artık gerilmeleri oluşturarak malzemelerin darbe dirençleri ve yorulma ömürleri başta olmak üzere mekanik özelliklerini iyileştirmek mümkün hale gelmiştir [6].

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 8620 (20NiCrMo2), düşük karbonlu çelik grubunda yer alan yüksek mekanik ve sertleşebilme özelliklerine sahip, düşük maliyetli bir sementasyon çeliğidir. Dişliler, miller, piston pimleri, makine ve otomobil parçaları gibi malzemelerin üretiminde kullanılırlar. Çekirdekte yumuşak ve tok, yüzeyde ise sert ve aşınmaya dayanıklı olan, darbeli yerlerde tercih edilen AISI 8620 çeliği aynı zamanda geleneksel çeliklere göre üstün mekanik özellikleri nedeni ile gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler olarak da adlandırılmaktadırlar [7]. AISI 8620 çeliğine sementasyon işlemi, temperleme işlemi, 24 ve 36 saat bekletme süreli derin kriyojenik işlem prosesleri uygulanmış test numunelerine makro-mikro sertlik, çekme, darbe, aşınma ve korozyon testleri ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, literatürde AISI 8620 sementasyon çeliklerinin uygulandığı sementasyon işlemi, kriyojenik işlem, mekanik özellikleri, darbe dirençleri, aşınma dayanımları ve mikroyapıları ile ilgili yapılan istatistiksel ve deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

Asi yaptığı deneysel çalışmada, sementasyon (yüzey sertleştirme) işlemi görmüş AISI 8620 (21NiCrMo2) sementasyon çeliğinin yapısında oluşan kalıntı östenit miktarını incelemiştir. Sementasyon işlemini gaz atmosferli fırında 940 °C sıcaklık değerinde ¾, 3 ve 5 saat bekletme sürelerinde gerçekleştirmiştir. Sementasyon işlemi sonucunda yüzeyi sertleşen numunelerin mikroyapısında bulunan kalıntı östenit miktarını belirlemek amacıyla XRD analizi yapmıştır. Sonuç olarak, farklı bekletme sürelerinde sementasyon işlemi görmüş numunelerin mikroyapısındaki kalıntı östenit miktarlarının sırayla % 35,8, % 19,4 ve % 15 değerlerinde olduğu görülmüştür [8].

Paul ve Chattopadhyay yaptıkları çalışmada, yaygın olarak deneysel ve analitik alanda kullanılan beş farklı çeliğin lokal taşlama sıcaklık değerinde kriyojenik soğutmanın etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak çelikler üzerinde kriyojenik soğutmanın önemli etkileri olduğunu gözlemlemişlerdir [9].

Uluğ ve ark. yaptıkları deneysel çalışmada AISI 8620 kalite çeliğe geleneksel yüzey sertleştirme işleminin ardından uygulanan kriyojenik (sıfırlı) ve temperleme işlemlerinin, malzeme mikroyapısı, kalıntı östenit hacim miktarı, sertlik, darbe ve aşınma dirençlerine etkisini incelemişlerdir. Asetilen gaz atmosferli fırında sementasyon işlemini yaptıktan sonra yağda su verilerek sertleştirme işlemini tamamlamışlardır. Bu işlemlerin ardından yapılan ölçümde, AISI 8620 sementasyon çeliğinin yapısındaki kalıntı östenit hacim miktarının % 16 olduğunu gözlemlemişlerdir. Sertleştirme işleminin sonrasında tamamlayıcısı olarak uygulanan kriyojenik işlemin ardından yapılan ölçümde kalıntı östenit hacim miktarında % 38 oranında, ısıtıl işlemin son kademesi olarak uygulanan temperleme işleminden sonraki ölçümde ise % 40 oranında azalma olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, kriyojenik işlemin malzemenin sertlik ve darbe dirençlerinde kayda değer bir etkisi olmadığı, temperleme işleminin sertlik direnci üzerinde sementasyon işlemine göre % 8 oranında, darbe direncinde ise yaklaşık % 2 oranında azalma etkilerinin olduğu

görülmüştür. Bu bağlamda AISI 8620 kalite çeliğinde kriyojenik işlem ve temperleme işlemi sonrası aşınma direncinde % 70, sertleştirme işlemi sonrası aşınma direncinde ise % 80 oranında azalma olmuştur [5].

Baldissera ve Delprete yaptıkları çalışmada, AISI 8620 (18NiCrMo5) sementasyon dişli çeliğinin statik ve mekanik özellikleri üzerine derin kriyojenik işlemin etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın amacı; geleneksel ısıtılma işleminden sonra tamamlayıcısı olarak gerçekleştirilen derin kriyojenik işlemin ve temperleme işleminin farklı bekletme sürelerindeki sonuçlarını karşılaştırmaktır. Bekletme süresinin, temperleme işlemi ve derin kriyojenik işlem üzerindeki etkisinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Çekme ve sertlik testlerini fraktografi deney metoduna göre yapmışlardır. Yanlış analiz sonuçlarından kaçınmak amacıyla gerçekleştirdikleri testlerin verilerini istatistiksel çözümlemelerine özel önem vermişlerdir. Sonuç olarak, yapmış oldukları tüm kriyojenik işlemler için 0,6 HRC ile 2,4 HRC değerleri arasında kayda değer sertlik artışları ve % 11 oranında çekme dayanım artışları olduğu görülmüştür [10].

Bensely ve ark. yaptıkları deneysel çalışmada, sementasyon çeliğinden imal edilmiş olan ayna mahruhi ve pinyon dişlisine uygulanan kriyojenik işlemin aşınma dayanımları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Numunelere geleneksel ısıtılma işlemi, sıg kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere üç farklı işlem türü uygulamışlardır. Aşınma deneylerini Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM) standardına göre yağlama olmadan kuru olarak pin-on-disk test cihazı üzerinde üç farklı yükleme koşulunda ve yedi farklı kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde geleneksel ısıtılma işlemi üzerine uygulanan sıg kriyojenik işlem % 85, derin kriyojenik işlem ise % 372 daha fazla aşınma direnci sağlamıştır. Bu bağlamda sıg kriyojenik işlem üzerine uygulanan derin kriyojenik işlem % 152 oranında daha fazla aşınma direnci sağlamıştır. Aşınmanın lineer olarak sabit kayma hızlarındaki yüklerde ve sabit yüklerdeki kayma hızlarında arttığı görülmüştür. 1,944 ve 2,361 m/s'daki düşük kayma hızlarında üç farklı türdeki aşınma kayıpları çok azdır (0,6-6 mg aralığında). Yüksek kayma hızlarında aşınma kayıpları kayda değer oranda değişmektedir. Sıg kriyojenik işlem ile derin kriyojenik işlem uygulanmış deney numuneleri karşılaştırıldığında derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu görülmüş, bunun nedeninin mikroyapıdaki karbürlerin daha iyi çökmesi ve dağılım göstermesi olarak düşünülmüştür. Derin ve sıg kriyojenik işlemler geleneksel ısıtılma işlemi ile karşılaştırıldığında ise aşınma dayanımlarının daha fazla olduğu görülmüştür. Aşınma

dayanımında sıg kriyojenik işlem sonucunda kayda değer oranda artış olduğu, geleneksel ısıtma işlemi ile karşılaştırıldığında ise derin kriyojenik işlem sonucunda daha fazla dayanım artışının olduğu görülmüştür. Sonuç olarak üç farklı ısıtma işlemi türü arasında olumlu yönde en fazla etki derin kriyojenik işlem sonucunda olduğu görülmüş ve bu işlem uygulanması önerilmiştir [11].

Bensely ve ark. çalışmalarını sementasyon çeliklerinin yorulma ve kopma hareketleri üzerine gerçekleştirmişlerdir. Deney numunelerine (EN 353 standardı) geleneksel ısıtma işlemi, sıg kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem olmak üzere üç farklı işlem türünü uygulamışlardır. Numunelere oda sıcaklığında dönen eğme gerilmeli yorulma testleri yapılmıştır. Yorulma testi sonucunda numunelerin kopan yüzeyleri tarayıcı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Sonuç olarak, sıg ve derin kriyojenik işlem uygulanmış deney numuneleri geleneksel ısıtma işlemi uygulanmış deney numuneleri ile karşılaştırıldığında yorulma ömürlerinde sırasıyla % 71 artış ve % 26 azalma olduğu görülmüştür. Sıg kriyojenik işlem uygulanmış numunelerin mikroyapısındaki kalıntı östenitin ve iyi karbürlerin birleşik yapıda bulunması, geleneksel ısıtma işlemi ve derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelere göre daha fazla yorulma dayanımı göstermesine neden olmuştur [12].

Baldissera ve Fatigue yaptıkları deneysel çalışmada, sementasyon çeliğinin (18NiCrMo5) mekanik özellikleri ve yorulma davranışları üzerine derin kriyojenik işlemin etkilerini incelemişlerdir. Deney numunelerine geleneksel ısıtma işleminden sonra tamamlayıcı olan kriyojenik işlem uygulanmış hemen arkasından malzeme tokluğunu artırmak için temperleme işlemi uygulanarak ve aralarındaki farklar karşılaştırılmıştır. Bekletme süresinin, yüzey temperleme işlemi ve kriyojenik işlem üzerindeki etkisinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Eskiştirme testleri sonrasında taramalı elektron mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiş ve fraktografi bulguları analiz edilmiştir. Deneysel verilerin istatistiksel çözümleri yapılmış ve SNP eğrileri maksimum olasılık tahmin metodu kullanılarak çizilmiştir. Literatür araştırmalarında çok fazla olarak görülen karbürlerin daha iyi çökelmesi ve dağılım göstermesine neden olan kriyojenik işlemin uygun olan veri dağıtıcıda kayda değer oranda bir azalma görülmüştür. Kriyojenik işlemin yorulma davranışları üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. İlk temperlemenin olduğu derin kriyojenik işlemde, yorulma ömürlerinde azalmaya neden olan kalıntı gerilmeleri kapsayan bazı farklılıklar iyileşmeleri dengelerken, son temperlemenin olduğu derin kriyojenik işlemin daha emniyetli olduğu görülmüştür [13].

Firouzdor ve ark. yaptıkları deneysel çalışmada, karbon alaşımlı çeliklerin M2 HSS matkaplarında yüksek hızlardaki kuru delme şartlarında oluşan aşınma direnci ve matkap ömrü üzerine derin kriyojenik işlemin etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak kriyojenik işlem uygulanmış matkap ömründe % 77 iyileşme, kriyojenik işlem ve hemen ardından ısıtılma işlemi görmüş matkap ömründe ise % 126 iyileşme olduğu görülmüştür. Aşınma testi sonuçları matkap ömürleri ile doğru orantılı olarak analiz edilmiştir. Çıkan talaşların kimyasal ve Scanning Electron Microscope (SEM) analiz çözümlmeleri sonucunda, difüzyon aşınması baskın aşınma oluşumu olarak tespit edilmiştir. Aşınma direncindeki gelişmelerin özellikle kriyojenik işlem sonrasında olumlu yönde etkisi görülmüştür. Bu bağlamda homojen kalıntı karbür parçacıklarının şekillenmesinden dolayı difüzyon aşınma oluşumuna aksi olarak kriyojenik işlem uygulanmış matkapların dayanımına atfedilmiş ve kalıntı östenitin martenzite dönüşmesinde önemli derecede etkili olmuştur [14].

Subaşı ve ark. AISI 4140 çeliğinden hazırladıkları deney numunelerini yağda soğutarak 40, 45 ve 50 HRC değerlerinde sertleştirmişlerdir. Bu doğrultuda numunelerin kalıntı östenit gerilmelerini analiz etmiş ve standart numuneler ile karşılaştırmalarını yapmışlardır. Sonuç olarak, 40, 45, 50 HRC sertlik değerine sahip numunelerin yüzeylerinde sırasıyla 169, 299, 203 MPa, standart numune yüzeyinde 211 MPa değerinde çekme kalıntı gerilmesinin olduğu görülmüştür. Sertleştirme işleminin malzemenin yüzeyinde çekme kalıntı gerilmesi oluşturduğu, sertlik artışına göre değerin değiştiği ve mekaniksel gerilmelerin ısıtılma gerilmelere göre daha baskın olduğu görülmüştür [15].

Demirkaya yapmış olduğu deneysel çalışmada, geleneksel sertleştirme işlemi uygulanmış AISI 8620 çeliğine kriyojenik işlemin etkisini ve mikroyapısında oluşan kalıntı östenit gerilmelerini incelemiştir. Deney numunelerine gaz atmosferli fırında 900 °C sıcaklık değerinde 3 saat sementasyon işlemine tabi tutulmuş ve yağ ortamında soğutulması gerçekleştirilmiştir. Kriyojenik işlem -145 °C sıcaklık değerinde 24 saat bekletme zamanında gerçekleşmiş ve ardından 230 °C sıcaklık değerinde temperleme işlemi 1 ve 3 saat temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Yedi farklı özellikte işlem yapılmış numunelere mikrosertlik, çekme testleri uygulanmış, kalıntı gerilme ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, numunelerin dış yüzeylerindeki mikrosertlik değerine bakıldığında 3 saat sementasyon ve yüzey sertleştirme işlemi yapılan numunede en yüksek değerde olduğu belirlenmiştir. Kriyojenik işlem ve 1 saat temperleme işlemi

uygulanmış numunenin daha kararlı yapıda olduğu ve merkezindeki sertlik değerinde artış olduğu görülerek kriyojenik işlemin mikrosertlik üzerinde az da olsa etki olduğu gözlemlenmiştir. Çekme testlerinde en yüksek kopma dayanıma 3 saat sementasyon, yüzey sertleştirme ve 3 saat temperleme ısı işlemlerine tabi olan numunede 1423 MPa değerinde belirlenmiştir. Kriyojenik işlem sonrasında 1 ve 3 saat temperleme işlemi uygulanmış numunede sırası ile 1370 ve 1371 MPa olarak ölçülmüştür. Kriyojenik işlem sonrasında temperleme süresinin artırılmasının kopma dayanımına etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Kriyojenik işlem dış yüzeydeki kalıntı gerilmeleri olumsuz olarak etkilediği görülmüştür [16].

Falah ve ark. yapmış oldukları çalışmada bir otomobilin hareket mekanizmasında bulunan biyel kolundaki hasarları incelemişlerdir. Biyel kolu; diş açılmış parça ve sarıcı parça olarak iki parçanın birleşiminden oluşmaktadır. Falah ve ark. hasara uğramış parçalarda hasarın sebeplerini belirlemek amacıyla değerlendirme yapmışlardır. Yapılan hasar değerlendirmede gözle kontrol, fotoğraf kayıtları, kimyasal analiz, sertlik ölçümleri ve yüzey incelemeleri için SEM yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada hasarın, diş açılmış parça üzerindeki malzeme hatalarından ve uygulanan ısı işlemlerin yanlış olmasından kaynaklanan malzeme boyun bölgesinde oluşan çatlaklardan oluştuğunu belirtmişlerdir. Yapılan kimyasal, spektrum analiz ve sertlik ölçümleri sonucunda parçanın yeterli sertlik seviyesine ulaşmadığını ve hasara uğrayan parçanın biyel yapımında kullanılan AISI 8620 çeliği olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca biyel dişli parçasının hasara uğramasının en önemli sebebi olarak kullanılan malzemedeki hatalardan kaynaklandığını belirtmişlerdir [17].

Yeğen ve Usta yapmış oldukları deneysel çalışmada, tuz banyosu sementasyon işleminin sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş olan AISI 8620 çeliğinin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Numunelere uygulanan sementasyon işlemi, NaCN tuz banyosunda sırası ile 1, 2, 3 ve 4 saatleri boyunca 920 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için numunelere, wolfram karbür bilye ile aşınma testleri, sertlik testleri ve XRD analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, sementasyon süresinin artması ile sementasyon derinliğinde efektif bir artışın olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca sementasyon işleminin numunelerin yüzey sertliklerine bağlı olarak aşınma dirençlerine de olumlu artışlara neden olduğunu belirtmişlerdir [18].

Erdoğan ve Tekeli yapmış oldukları çalışmada, yüzeyi sertleştirilmiş olan AISI 8620 sementasyon çeliğinin çekme özelliklerine etkisini incelediler. Deney numunelerinin

yüzeylerinde % 0,8'lik karbon konsantrasyonu elde etmek için, atmosfer kontrollü ısıtma işlem fırınında 925 °C sıcaklıkta üç aşamada 11 saatlik bekletme süresinde gazla karbürlendi. Yüzeylerin karbonlamasından sonra 130 °C sıcaklıkta 20 dakika yağda tutuldu ve oda sıcaklığına soğuldu. Çekme testlerini oda sıcaklığında 1 mm/dak sabit çekme hızında gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca mikroyapı incelemeleri için SEM görüntüleri almışlardır. Sonuç olarak, çekirdekte tamamen martensitik mikro yapıya sahip numunelerle karşılaştırıldığında, çift fazlı mikro yapıya sahip olan numunelerde çekme ve akma mukavemetinin daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak yüzey sertlik değerlerine karşın üstün süneklik göstermişlerdir. Çekirdekte çift fazlı mikro yapıya sahip numunelerde artan martensit hacim oranı çekme dayanımında artış, süneklikte azalmaya neden olmuştur. Sabit martensit hacim oranında martensit parçacık boyutunun azalmasıyla çekme ve süneklik artmıştır. En iyi çekme mukavemeti ve sünekliğin % 25'lik sabit martensit hacim oranında ince bir martensit parçacık boyutunun da olduğunu görmüşlerdir [19].

Roy ve Sundararajan yapmış oldukları çalışmada, sementasyon ve su verme işlemiyle sertleştirmiş olan AISI 8620 çeliğinin tribolojik davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Aşınma testleri, kuru koşullar altında elmas prob ile numuneler arasında düz ileri geri hareket eden mikro tribometre üzerinde bir bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numunelerin aşınma davranışları 3D optik mikroskobu ve SEM görüntüleri kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuç olarak, su verme sıcaklığının artmasının mikron boyutunda Cr bakımından zengin karbürün yeniden oluşumuna neden olduğunu göstermiştir. Yüksek sertlik ve orta derecede yüksek Ra seviyelerinin bir kombinasyonu ile sonuçlanan yüzey işlemlerinin, AISI 8620 çeliği için gelişmiş aşınma direnci ile sonuçlandığını görmüşlerdir [20].

Das ve Ray yapmış oldukları çalışmada, geleneksel ısıtma işlemi ile sıfır altı ısıtma işlem türleri olan sığ kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlemlere tabi tutulan AISI D2 çeliğinin mikroyapısal parametreleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Geleneksel ısıtma işlemi 1000 °C sıcaklık değerinde ½ saat bekletme süresinde uygulamışlardır. Sıfır altı işlemleri sırasıyla -75, -125, -196 °C sıcaklık değerlerinde toplam 10 saatlik işlem döngüsünde gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca tüm numunelere 200 °C sıcaklık değerinde 2 saat bekletme süresinde temperleme işlemleri uygulamışlardır. Isıtma işlemler sonrasında mekanik özelliklerini belirleyebilmek için, kütle sertliği, mikrosertlik, kırılma tokluğu ve aşınma testleri yapmışlardır. Mikroyapısal değişimler

için SEM görüntülerini almışlardır. Sonuç olarak, sıfır altı işlem sıcaklığının düşürülmesiyle birlikte karbür parçacıklarının miktarı ve varlık yoğunluğunun artışıyla birlikte östenit miktarının azalması, kırılma tokluğunda marjinal bir azalama ile matrisin kütle sertliğinde ve mikrosertlik değerlerinde orta derecede bir artışa, aşınma direncinde önemli bir iyileşmeye neden olduğunu görmüşlerdir [21].

Thirugnanasambantham ve Kumar yaptıkları çalışmada, sementasyon işlemi görmüş ve işlem görmemiş olan AISI 8620 çeliğinin kayma aşınma davranışını, normal yük altında ve farklı kayma hızlarında 100 °C'de disk üzerinde pin donanımı kullanılarak incelemiştir. Sementasyon işlemini 900 °C'de 3 saatlik bekletme süresinde gerçekleştikten sonra sıcaklık 820 °C'ye düşürülmüş ve 30 dakika boyunca % 0,8 karbon potansiyeli ile difüzyona daldırılmaya bırakılmış ve yağda soğutmuşlardır. Son olarak 150 °C'de 1,5 saat temperleme işlemi uygulamışlardır. Kayar aşınma testleri sırasıyla 50, 70, 150 N normal yük altında 1,5, 2, 2,5 kayma hızlarında 100 °C'de ASTM G76 standartlarına göre pin-on-disk üzerinde yüksek sıcaklık tribometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karbürlenmiş numunelerin nihai sertlik değerlerini 65 HRC olarak ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, yapılan ısı işleme bağlı olarak yüksek akma mukavemeti nedeniyle, plastik deformasyona karşı direnç artar ve işlem görmemiş malzemelere göre daha iyi kayma aşınma direnci sağladığını görmüşlerdir [22].

Krishnakumar ve Selvakumar, bir çimento fabrikasında sıyırıcı uygulaması için kullanılan dövme bakla zincirlerinin arıza analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Kırık zincir elemanları, dövme AISI 8620 çeliğinden imal edildi ve sertleştirildi. Kırık yüzeyleri incelemek amacıyla SEM görüntüleri alındı. Zincir kırılmasının en büyük nedeninin aşınmadan kaynaklandığı ve dış yüzeydeki kasa derinliğinin azalmasının aşındırıcı ortamda aşındığını gözlemlediler. Çekme mukavemetini iyileştirmek için uygun malzeme seçimi ve ısı işleme sürecinin seçilmesi gerektiğini önerdiler [23].

Karagöz yaptığı çalışmada, AISI 8620 çeliğine uygulanan karbürleme işleminin süresine ve malzeme kalınlığına bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimini incelemiştir. Karbürizasyon işlemi % 10 KCN içeren tuz banyosunda uygulamıştır. Numuneler 930 °C serleştirme sıcaklığında altı ve yedi saat olmak üzere iki farklı bekletme sürelerinde tutulmuştur. Kademeli olarak sıcaklık 860 °C'ye düşürüldükten sonra bu sıcaklık değerinde 40 dakika bekletilmiş ve ardından yağ ortamında su verilerek soğutulmuştur. Ayrıca numuneler su verme sonrasında 180 °C'de iki saat temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Değişimleri incelemek amacıyla, yüzey sertlik ve mikrosertlik ölçümleri ile

mikroyapı incelemeleri yapmıştır. Sonuç olarak, malzeme çekirdeğine yaklaştıkça sertlik değerlerinde düşüşün yaşandığını görmüştür. En etkili sertlik derinliğinin 1,6 mm ve 0,2 mm’de sertleşmenin maksimum düzeyde olduğunu tespit etmiştir. Malzeme yüzeyinde martenzitik bir yapının oluştuğunu ve çekirdeğe indikçe yapının etkisinin azaldığını görmüştür. Sementasyon işleminde, malzeme kalınlığı ile karbürizasyon süresinin malzeme özellikleri üzerinde etkili olduğunu tespit etmiştir [24].

Ghosh ve Dhokey yaptıkları çalışmada, AISI 8620 çeliğinin aşınma davranışı üzerinde sıfır altı işlemin ve mikroyapısal dönüşümün etkisini incelemişlerdir. Östenitleme işlemi 920 °C’de 25 dakika bekleme süresinde yapılmış ve yağda soğutulmuştur. Soğutma işleminin ardından 200 °C’de 2 saat temperleme işlemi yapılmıştır. Numunelere kriyojenik işlem sırasıyla -185 °C’de 4, 8, 12, 16, 20 saat bekletme sürelerinde uygulanmış ardından 100 °C’de 1 saat bekletme süresiyle temperleme işlemi yapılmıştır. Mikroyapısal incelemeler için optik mikroskop, SEM ve XRD analizlerini yapmışlardır. Aşınma testleri dört farklı yükte (4, 6, 8 ve 10 kg) ve dört farklı aşınma hızında (2 - 2,5 – 3 – 3,5 m/s) 3000 m sabit kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda kriyojenik işlem görmüş numuneler aşınma davranışı ve aşınmış yüzey analizi için geleneksel olarak işlem görmüş numunelerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, 44 HRc ile en yüksek sertlik değeri ve % 18’lik azalma ile en fazla aşınma oranı 16 saat kriyojenik işlem görmüş numunede olduğunu görmüştür. Bu durumu ince iğne şeklindeki martenzitik ve beynitik yapı ile östenit içeriğinin % 8’den % 3’e düşmesine bağlamaktadır [25].

Ghosh ve Dhokey yaptıkları çalışmada, AISI 8620 çeliğine uygulanan sementasyon ve kriyojenik işlemin malzemenin mikroyapısı ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sementasyon işlemini, ilk aşama olarak gaz atmosferli fırında 925 °C’de 6 saat bekletme süresinde uygulamışlardır. Ardından sıcaklığı 860 °C’ye düşürerek 30 dakika bu sıcaklıkta bekletmişlerdir. Sertleştirme işlemini 120 °C’de yağda su verilerek gerçekleştirmişlerdir. Tüm numunelere 120 °C’de 2 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutmuşlar ve sonrasında numunelere kriyojenik işlemi kontrollü bir şekilde -185 °C’de 16 saat bekletme süresiyle uygulayarak, kademeli olarak oda sıcaklığına geri ısıtmışlardır. Ayrıca kriyojenik işlem sonrası numunelere son aşama olarak 100 °C’de 1 saat süre ile temperleme işlemi uygulamışlardır. Numunelere incelemeler için, mikrosertlik ve aşınma testleri ile SEM ve XRD analizleri yapmışlardır. Sonuç olarak, karbürleme işlemi sonrasında uygulanan kriyojenik işlemin mikroyapıdaki martenzit oluşumunu

incelttiğini, karbürleme sonrasında yapıda bulunan östenit oranı % 21,4 iken kriyojenik işlem sonrasında bu oranın % 7,2'ye düştüğünü görmüşlerdir. Ayrıca kriyojenik işlem sonrasında numunelerin sertlik ve aşınma dirençlerinde artış yaşandığını belirtmişlerdir [26].

Dhokey ve ark. yaptıkları çalışmada, kriyojenik işlemin AISI 8620 ve D3 kalite çeliklerinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişleridir. Geleneksel ısıtıl işlem görmüş AISI 8620 ve D3 numunelerine kriyojenik işlemi -185 °C'de 16 saat bekletme süresiyle gerçekleştirmelerinin ardından artık gerilmeleri azaltmak için 100 °C'de 2 saat temperleme işlemi uygulamışlardır. Bu işlemler sonrasında numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için sertlik, darbe, aşınma testleri ile mikroyapı incelemeleri için SEM analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, kriyojenik işlem sonrasında mikroyapı da yeni ince bir karbür oluşumu ve D3 çeliğinin darbe enerjisinin 3.3 J'den 4.5 J'e, AISI 8620 çeliğinin ise 194 J'den 216 J'e yükseldiğini görmüşleridir. Kriyojenik işlem ile artış gösteren sertlik ve darbe enerjileri her iki çeliğin aşınma oranında yaklaşık % 5'lik azalmaya neden olduğunu belirterek, kriyojenik işlem görmüş AISI 8620 çeliğinin, D3 çeliğinden önemli ölçüde geliştirilmiş özelliklere sahip olduğu söylemişlerdir [27].

Bu çalışmada ise, farklı ısıtıl işlem süreçleri olarak sementasyon işlemi, farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem (- 196 °C) ve temperleme işleminin AISI 8620 çeliğinin mekanik özellikleri, korozyon direnci ve mikroyapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

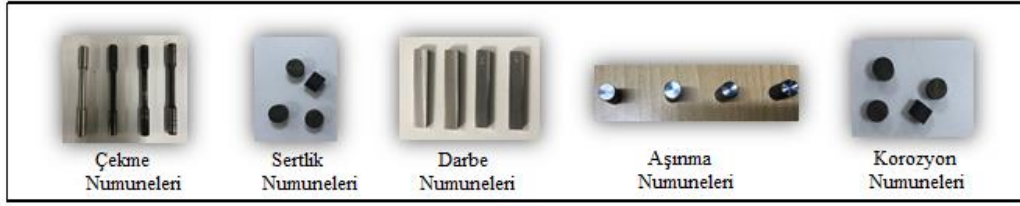
Bu çalışmada imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan AISI 8620 sementasyon çeliklerinin farklı ısıtım işlem proseslerinin uygulanması neticesinde mekanik özellikleri, korozyon dirençleri ve mikroyapı özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu amaç ile dört farklı özellikte hazırlanan test numunelerine çekme, makro-mikro sertlik, darbe, aşınma, korozyon testleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmış alınan verilerin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan malzeme, ısıtım işlem parametreleri, çekme, mikro-makro sertlik, mikroyapı, darbe, korozyon ve aşınma testleri hakkında bilgi verilmiş, yapılan testlerin işlem basamakları, parametreleri ve düzenekleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Şekil 3.1’de deneysel çalışma sürecine ait işlem basamakları verilmiştir.



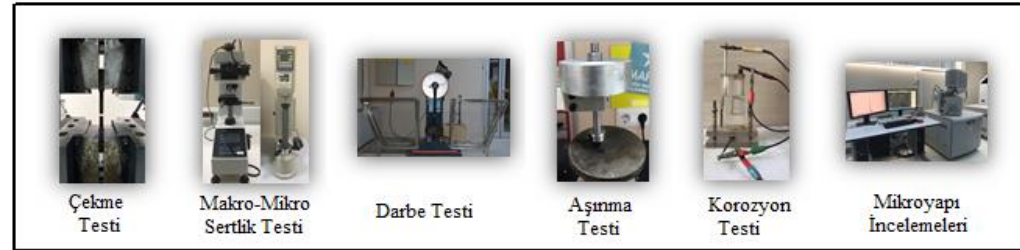
TEST NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI



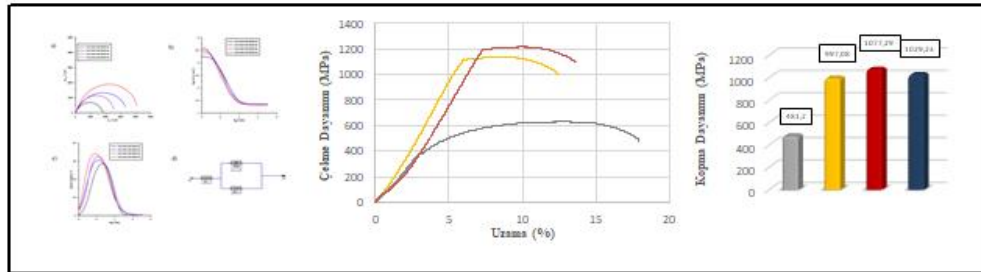
TEST NUMUNELERİNE ISIL İŞLEM UYGULANMASI



TESTLERİN YAPILMASI



TEST VERİLERİNİN ANALİZLERİ



Şekil 3.1. Deneysel çalışma süreci.

3.1. AISI 8620 SEMENTASYON ÇELİKLERİ

Endüstride yaygın kullanım alanına sahip sementasyon çelikleri; kimyasal bileşimindeki düşük karbon miktarı bakımından, sementasyon işlemi uygulaması sonucunda en iyi sertleşebilme kabiliyetine ve yüksek mekanik özelliklerine sahip imalat çelikleridir. Sementasyon, çeliğin çekirdekte yüksek tokluk ve yumuşaklık, yüzeyinde ise yüksek sertlik ve aşınma dayanımının olması istenilen durumlarda uygulanan bir ısıtım işlemi olarak tanımlanmaktadır [28], [29]. Sementasyon çeliklerinin kimyasal bileşiminin içerdiği karbon oranı % 0,10-0,20 arasındadır, fakat bazı çeşitlerinde % 0,25'e kadar çıktığı görülmektedir. Alaşım, düşük alaşım ve alaşımsız olarak üretilebilirler. Alaşımsız kaliteli sınıfında olanların içeriğindeki P ve S oranları maksimum % 0,045 değerinde, asal çelik sınıfında olanların içerisindeki P ve S oranları ise maksimum % 0,035 değerlerinde olarak üretimleri gerçekleştirilmektedir. Ancak modern endüstri tarafından yeni geliştirilen alaşımsız AISI 1015 çeliği ve bazı alaşım sement çeliklerde, talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek amacı ile içerisindeki S oranını % 0,020-0,035 arasında olacak şekilde üretimleri yapılmaktadır [30].

Alaşım sement çelikler, Cr, MnCr, MoCr ve CrNi olarak sınıflara ayrılabilirler. MCr bileşimine sahip olan sement çeliğin sünekliği ve çekme dayanımı iyi olduğu için TS ve DIN standartlarında çıkarılmıştır. Fakat bu çelik grubuna ek olarak, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan 21NiCrMo2 (AISI 8620, SAE 8620 ya da 1.6523) sembolüne sahip sementasyon çeliği, TS 2850 (Ekim 1977) yerine TS EN 10084 29.04.2010 olarak değiştirilmiştir. Çizelge 3.1'de AISI 8620 sementasyon çeliğinin farklı ülke standartlarında karşılıkları verilmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 8620 çeliğinin farklı ülke standartlarındaki karşılıkları [30].

Türkiye TS2850	Almanya DIN 17210		Fransa	İngiltere	İtalya	Japonya	ABD
MKE	Malz. No	Sembol	AFNOR	B.S.	UNI	JS	AISI/ SAE
Ç 8620	1.623	21NiCrMo2	20 NCD 2	805 M 20	21NiCrMo2	SNCM 220(H)	8620

AISI 8620 sementasyon çelikleri sementasyon işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı endüstride zorlamalı parçalar, miller, piston pimleri, zincir baklaları ve dişlileri, çeşitli otomobil, traktörlerin dişlileri, vites kutuları ve direksiyon mekanizmalarında, diferansiyel yüzük dişlileri, uçak motorları, kamalı millerin imalatında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip malzemelerdir [31]. Bu nedenle diğer sementasyon çeliklerine göre daha düşük maliyetli oldukları bilinmektedir. Çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma) ve tane boyutu küçültme süreçleri ile oluşturulur. Kaynak bölgelerinde ısıdan kaynaklı yumuşama olmaz ve tane boyutlarında büyüme görülmez; bu özellikleri sayesinde kaynak kabiliyetleri oldukça iyidir, alaşımlı olanlarında kaynaktan sonra tavlama işlemi gerekli görülmektedir [32].

3.2. TEST NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada deney malzemesi olarak endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 8620 (20NiCrMo2) sementasyon çeliği kullanılmıştır. AISI 8620 çeliğine ait kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri sırası ile Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. AISI 8620 çeliği kimyasal bileşimi [33], [34], [35].

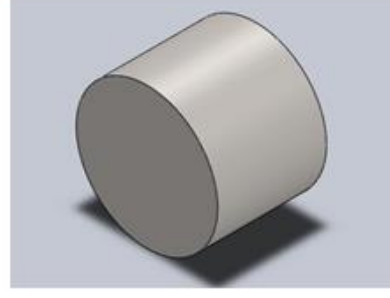
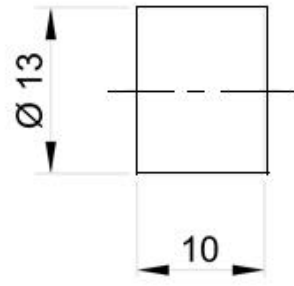
Element	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	P	S
(%)	0,19	0,75	0,22	0,47	0,19	0,43	0,005	0,004

Çizelge 3.3. AISI 8620 çeliğinin mekanik özellikleri [33], [34], [35].

Gerilme Dayanımı	Akma Dayanımı	Elastik Modülü	Kesme Modülü	Poisson Oranı
530 MPa	385 MPa	190-210 GPa	80 GPa	0,27-0,30

3.2.1. Sertlik Testi Numunelerinin Hazırlanması

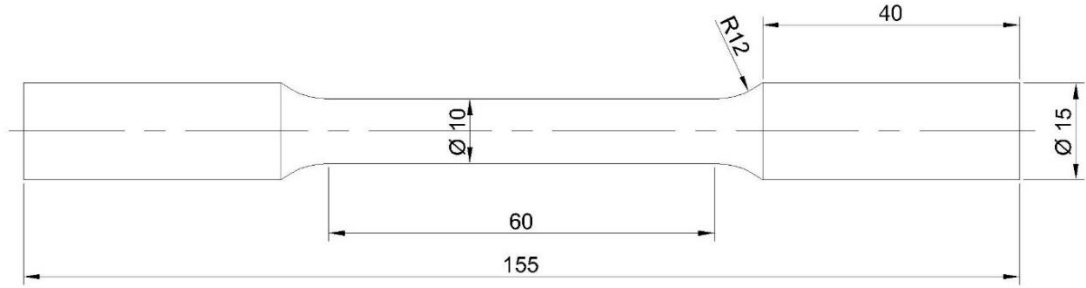
AISI 8620 çeliğinin farklı ısıtılma işlem parametreleri sonrasında sertlik ölçümlerinin yapılabilmesi için ısıtılma işlemsiz, ısıtılma işlem + temperleme işlemli, ısıtılma işlem + 24 ve 36 saat kriyojenik işlem + temperleme işlemli olmak üzere toplam dört farklı proses olarak Şekil 3.2'deki sertlik ölçme numune ölçülerine göre hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. AISI 8620 çeliği mikro-makro sertlik testi numune ölçüleri (mm).

3.2.2. Çekme Testi Numunelerinin Hazırlanması

Çekme testleri TS 138A standartlarına uygun olarak $\varnothing 15 \times 3000$ mm ölçülerinde alınan AISI 8620 çeliği, $\varnothing 15 \times 160$ mm uzunluğunda olmak üzere Şekil 3.3'te verilen ölçülerde her birinden üçer adet olmak üzere dört farklı ısıtım işlemi için toplam 12 adet çekme testi numunesi CNC torna tezgahında hazırlanmıştır.



Şekil 3.3. AISI 8620 çeliği çekme test numunesi ölçüleri.

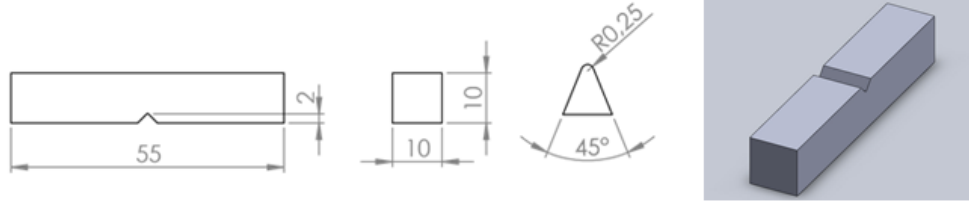
AISI 8620 çeliğinden hazırlanan çekme testi numunesi Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. AISI 8620 çeliği çekme test numunesi.

3.2.3. Darbe Testi Numunelerinin Hazırlanması

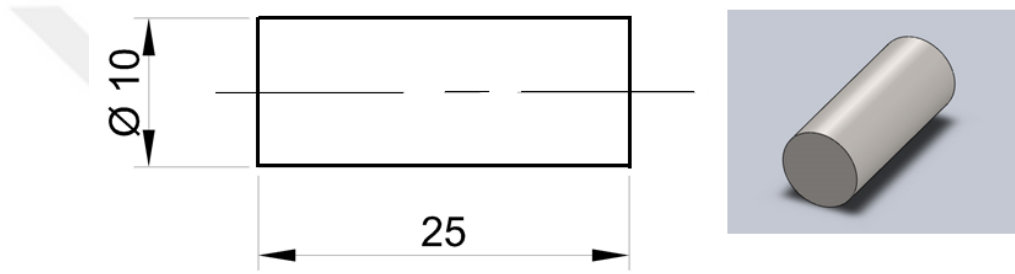
Darbe test numuneleri TS EN ISO 148-1 standartlarına uygun olarak Şekil 3.5'te verilen ölçülerde her bir ısıtım işlemi için hazırlanmıştır.



Şekil 3.5. AISI 8620 çeliği darbe test numune ölçüleri (mm).

3.2.4. Aşınma Testi Numunelerinin Hazırlanması

Sertlik test numunelerinde olduğu gibi farklı ısıtma işlem parametrelerinde olmak üzere Şekil 3.6'daki AISI 8620 çeliği aşınma testi numune ölçülerine göre standartlara uygun olarak toplam dört farklı proses için hazırlanmıştır.



Şekil 3.6. AISI 8620 çeliği aşınma testi numune ölçüleri (mm).

3.3. ISIL İŞLEM

Isıl işlem, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için birtakım ısıtma ve soğutma proseslerini içeren bir yöntemdir. Geleneksel ısıtma işlem malzemelerin içyapılarını ve özelliklerini istenilen durumlara getirebilmek için sertleşme sıcaklıklarının altında yeterli sıra ve zamanda ısıtılarak soğutulması işlemi olarak ifade edilmektedir [36]. Su, yağ ve hava olmak üzere üç farklı soğutma işlemi vardır. Soğutma işlemi suyla uygulandığında soğuma hızlı gerçekleştiğinden malzemenin çekirdeğine kadar sertleşme olmaz ayrıca işlemde su kullanıldığı için maliyeti düşüktür. Yağla yapılan soğutma suya göre daha yavaş olduğundan daha derin sertleştirme yapmak mümkündür. Havayla soğutma işlemi ise en yavaş olandır ve malzeme çekirdeğine kadar sertleştirme yapmak mümkündür [37].

Çeliklerin ısıtma işlem parametrelerinin belirlenmesinde ana alaşım elementi olan % C oranı, yapısında bulunan alaşım elementleri ve yüzdeleri, mekanik özellikleri ve son olarak kullanım ortamında maruz kalacağı yükler etkili olmaktadır. Günümüz endüstrisinde bu

ısıtım işlem parametreleri dikkate alınarak malzemeye uygulanacak olan ısıtım işlem türleri belirlenerek istenilen özellikler çeliğe kazandırılmaktadır [37]. Çizelge 3.4'te AISI 8620 sementasyon çeliğine uygulanan ısıtım işlem süreçleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. AISI 8620 çeliği ısıtım işlem süreci [38].

Sementasyon Sıcaklığı (°C)	Soğutma Ortamı				Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Cidar Sertleşme		Meneviş Sıcaklığı (°C)
850-1100	Su	Tuz Banyo	Yağ	Hava	850-880	Sıcaklık (°C)	Ortam	170-210
	-	+	+	+		810-840	Yağ, Su	

3.3.1. Sementasyon Isıtım İşlemi

Karbon miktarı % 0,10-0,20 arasında olan alaşımlı ve alaşımsız metallerin yüzey sertliklerini ve aşınma dayanımlarını geliştiren bir yüzeye karbon emdirme işlemi olan sementasyon işlemi bilinen en eski ve en yaygın olarak kullanılan yüzey sertleştirme yöntemidir [16], [30]. Günümüzde metal yüzeylerini karbonca zenginleştirdikten sonra uygulanan sementasyon işlemi ile istenilen amaca uygun şekilde malzeme üretimi yapmak mümkündür [16]. Sementasyon işlemi çeliklerin, aşınma, eğilme, burulma yorulma dayanımları ile bağlantı (temas) yorulma dayanımlarında artış sağlamaktadır [39].

Geleneksel ısıtım işlem ile sertleştirme yönteminde ilk etapta, malzemenin belirli bir sıcaklık değerine kadar ısıtılması ve ardından östenitleme sıcaklık değerinde istenilen değişiklikler oluncaya kadar bekletilmesi işlemleri yapılmaktadır. Her malzeme için östenitleme sıcaklık değeri malzemenin cinsi, miktarı ve içeriğindeki karbon oranına göre değişim gösterebilmektedir [30]. İkinci ve en önemli etap soğutma (su verme) işlemidir. Malzemenin sertleşebilmesi için kritik soğuma hızından daha hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Östenit sıcaklık değerine çıkmış olan ve bu sıcaklıkta belirlenen bekleme süresinde bekletilmiş olan malzeme, farklı soğutma türlerinde ve hızlarında soğutulduğunda farklı yapılara sahip olabilmektedir [36]. Sertleştirme yöntemi için yaygın olarak kullanılan soğutma türleri, su ortamında hızlı, yağ ile soğutma ortamında orta hızlı ve hava ortamında yavaş hızda soğutma gerçekleşmektedir.

Sementasyon işlemi uygulanmış çeliklerin mikroyapıların ferritik ve perlitik yapıda

oluştugu bilinmektedir. Yüzeyden merkeze doğru ilerledikçe görülen sertlik değerleri arasındaki farklar malzemenin kullanım ortamında maruz kalacağı yükler sırasında malzemenin yumuşak kısımlarında çatlaklar oluşmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzluk çeşitli alaşım elementlerini farklı yüzdelere içeren çelikleri kademeli olarak sertleştirilerek giderilmektedir [40]. Bu nedenle doğru uygulanmış ısıtma işlemi sonucunda malzeme mikro yapısı ağırlıklı olarak temperlenmiş martenzit görülmektedir, fakat malzeme yüzeyinden merkezine doğru ilerledikçe martenzitin yapısı, oranı ve özellikleri değişim göstermektedir [41]. Sementasyon işlemi sonucunda malzemenin iç bölgesindeki karbon miktarı % 0,10-0,20 arasındaki değerlerde kalırken, malzeme yüzeyindeki karbon miktarı % 0,80 değerine kadar yükselmektedir. Ayrıca bu çeliklere sementasyon işleminden sonra farklı tamamlayıcı ısıtma işlemleri de uygulanabilir.

3.3.2. Temperleme İşlemi

Temperleme işlemi sementasyon işleminin hemen ardından uygulanan bir ısıtma işlemi türüdür. Geleneksel olarak sertleştirilmiş çelikler için gereken sıcaklık değerine tekrardan ısıtılarak bu sıcaklıkta belirli zamanda bekletilmesi ve hemen ardından hava ile soğutulması işlemi temperleme olarak adlandırılmaktadır. Temperleme işlemi için sıcaklığın kontrol altında olması gerektiğinden özel hazırlanmış temperleme fırınları kullanılır. Ayrıca temperleme zamanı malzeme çekirdeğinin belirli zamanda ve belirli sıcaklıkta kalabileceği kadar uzun olmalıdır. Bu zaman malzeme büyüklüğü ve belirlenen sıcaklığa göre yarım saatten iki saate kadar değişim gösterebilir. Sıcaklık arttıkça işlem süresi azalır [37].

3.3.3. Kriyojenik (Sıfırlama) İşlem

Kriyojenik (sıfırlama) işlem, düşük sıcaklıklarda malzeme davranışlarını inceleyen bilim dalıdır [42]. Kriyojenik işlem, çeliğe su verme sonucunda meydana gelen kalıntı östenit miktarını azaltmak için sertleştirme işlemini tamamlayıcı bir işlem olarak yapılmaktadır. Bu işlem genellikle yüksek zorlanmaya maruz kalan malzemelere aşınma dayanımlarını artırmak amacıyla uygulanmaktadır. Ayrıca malzemelerin yüzey sertliğini arttırmakta ve çalışmaları esnasında mikro yapısında oluşan östenitin martenzite dönüşmesi sonucunda boyutsal farklılıkların oluşmasını önlemektedir. Sıfırlama işlemi uygulanmış parçaların bası artık gerilmelerinde artış, yorulma dayanımlarında azalma olduğu görülmekte bunun sebebi olarak kalıntı östenit bölgelerinde oluşan çekim kalıntı gerilmelerinin yorulma çatlağının oluşması ve ilerlemesi olarak görülmektedir [43], [44]. Günümüzün modern

ıslıl işlem süreçlerinden birisi olan kriyojenik işlem, malzemeyi -50 °C ile -273 °C sıcaklık değerleri arasında yapısal değişim geçirinceye kadar soğuk ortamda tutulması ve hemen ardından oda sıcaklığına alınarak bu sıcaklık değerine ısınması aşamalarını içermektedir [45].

Metallere uygulanan ıslıl işlem yöntemleri ile mekanik özelliklerini geliştirmek mümkündür. Bu nedenle, ıslıl işlem yöntemlerinin devamı olarak uygulanan kriyojenik işlem malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştiren tamamlayıcı bir sıfırlatı ıslıl işlem yöntemidir. Bu soğuk ıslıl işlem yöntemi uygulama sıcaklığına göre sığ ve derin olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Çeliklerin sertleştirme yönteminin ardından - 50 °C ile - 80 °C sıcaklık değerleri arasında sıvı azot içerisinde bekletilmesi işlemi sığ kriyojenik işlem, -125 °C ile -196 °C sıcaklık değerleri arasında bekletilmesi ise derin kriyojenik işlem olarak tanımlanmaktadır. Düşük sıcaklıklara soğutma işlemi olan derin kriyojenik işlemin ardından malzeme yapısında martenzit dönüşümü görülmekte ve bunun sonucunda yapıda sertlik ve tokluk artışı olmaktadır. Kriyojenik işlemin kaplama yöntemlerine göre avantajları; malzemenin tüm yapısını olumlu yönde etkilemesi ve bir defa olarak kalıcı şekilde yapılmasıdır [46]. Şekil 3.7’de sıfırlatı işlemin sıcaklık-zaman grafiğı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Sıfırlatı işlemin sıcaklık-zaman grafiğı [30].

Colorado, Boulder'daki Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü araştırmacıları soğutma işleminin sona erdiği kriyojenik işlemin başladığı sıcaklık değerini -180 °C' (93.15 K) ve altındaki sıcaklık değerleri olarak belirlemişlerdir [47].

3.3.4. AISI 8620 Çeliği Numunelere Uygulanan Isıl İşlemler

Deneyisel çalışmada kullanılacak olan AISI 8620 kalite çelik malzeme belirlenen ölçülerde hazırlanıp çekme, mikro-makro sertlik, aşınma ve krozyon numuneleri standartlara uygun olarak CNC torna tezgâhında, darbe testi numuneleri ise standartlara uygun olarak freze tezgâhında istenilen ölçülerde hazırlanmış olup ısıtma işlemi hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerinin farklı konfigürasyonlarını elde etmek için ısıtma işlem süreci döngüleri aşağıdaki gibi verilmiştir:

Adım 1: Standart numune.

Adım 2: Oda sıcaklığından ön ısıtma sıcaklığına ısıtma (400 °C) ve ½ saat bekletme.

Adım 3: Östenitleme sıcaklık değerine ısıtma (900 °C) ve 4 saat bekletme.

Adım 4: Östenitleme sıcaklığından yağa daldırılarak soğutma (70 °C) ve ¼ saat bekletme.

Adım 5: Soğutma oda sıcaklığından -196 °C'ye kadar devam eder ve 24 ve 36 saat bekletme sürelerinde bekletilerek oda sıcaklık değerine tekrardan ısıtılır.

Adım 6: Oda sıcaklık değerinden temperleme sıcaklık değerine ısıtılır (200 °C) ve 2 saat bekletme.

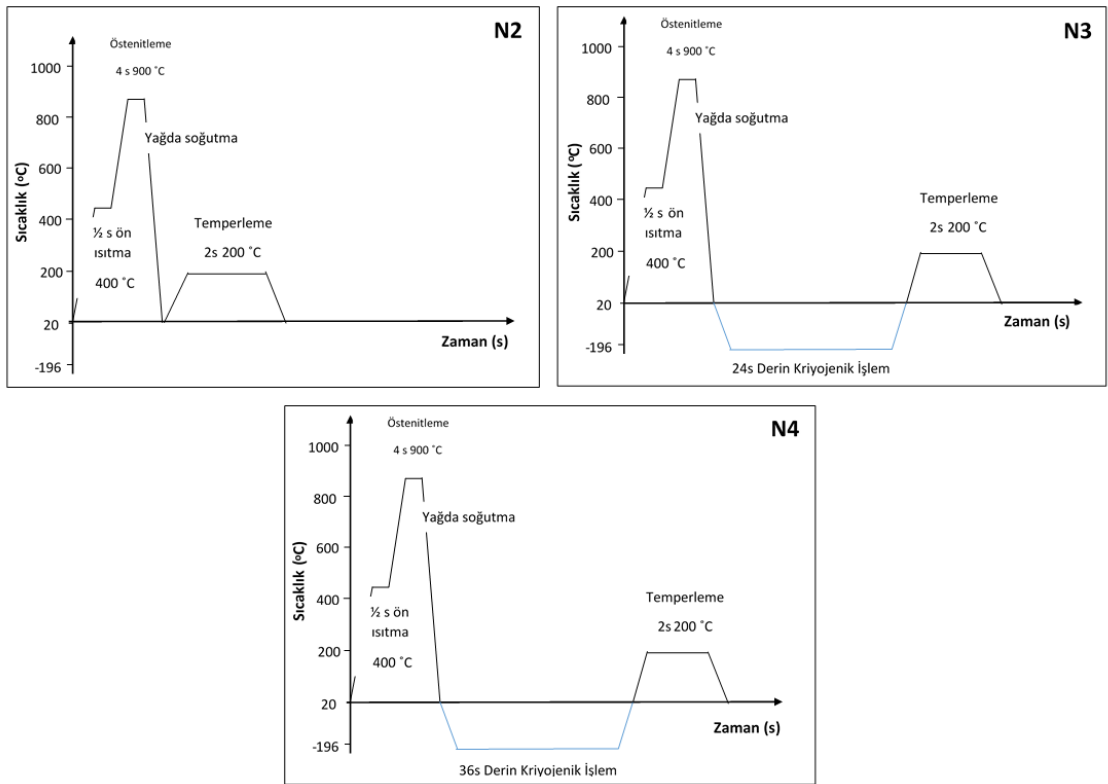
Çizelge 3.5’de numunelere uygulanan ısıtma işlemleri verilmiştir. Numunelere uygulanan ısıtma işlemleri Dönüşüm Isıl İşlem San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Numunelere uygulanan ısıtma işlemleri.

Numune Kod	Adım 1	Adım 2	Adım 3	Adım 4	Adım 5	Adım 6
N1	✓					
N2		✓	✓	✓		✓
N3		✓	✓	✓	✓	✓
N4		✓	✓	✓	✓	✓

Birinci numune standart olup herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamıştır. İkinci, üçüncü ve dördüncü numunelere ısıtma işlemi uygulanması yapılmak üzere atmosfer kontrollü ısıtma işlemi fırını oda sıcaklığından 400 °C'ye kadar ısıtılmış numunelere bu sıcaklıkta ½ saat bekletme süresinde bir ön ısıtma uygulanmıştır. Ardından fırın 900 °C'deki östenitleme sıcaklık değerine ısıtılarak 4 saat östenitleme işlemi ve sonrasında 70 °C'deki yağa aniden daldırılarak ¼ saat bekletme süresinde soğutma işlemi yaparak sertleştirilmesi sağlanmıştır. Aniden soğutma sonucunda oluşan gerilmelerin azaltılması ve giderilmesi

için ikinci (N2) numuneye 200 °C’de 2 saat bekletme süresinde temperleme işlemi uygulanmıştır. Üçüncü (N3) numunenin ani soğutma nedeniyle sertleşen ve kırılganlaşan yapısına süneklik ve tokluk kazandırmak amacıyla sementasyon işlemin tamamlayıcısı olan derin kriyojenik işlem -196 °C’de 24 saat bekletme süresinde uygulanmıştır. Dördüncü (N4) numuneye üçüncü numunede olduğu gibi -196 °C sıcaklık değerinde 36 saat bekletme süresinde derin kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik uygulama işlemleri sonrasında üçüncü ve dördüncü numunelere ikinci numunede olduğu gibi 200 °C’de 2 saat bekletme süresinde temperleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.8’de ise AISI 8620 test numunelerine uygulanan ısıtma işlem süreçleri verilmiştir.



Şekil 3.8. AISI 8620 çeliğinin ısıtma işlem süreci.

3.4. MİKRO-MAKRO SERTLİK TESTİ

Metalik malzemeler üzerlerine gelen yüklere karşı ciddi oranda deformasyona uğramamak için mümkün olduğu kadar katı ve sert olmalıdırlar. Yüklerin devamlılığı yapısal değişimlere neden olmaktadır. Başlangıç aşamasında oluşan deformasyonlar tümüyle ters dönüşümlüdür (elastik gerilme). Sürekli artan kuvvet sonucunda geriye dönüşümsüz bir gerilme oluşur (plastik gerilme) ve bu gerilme kalıcı deformasyon oluşumuna sebep olur. Plastik deformasyonun oluşmaya başladığı yer elastik sınır olarak

adlandırılmaktadır. Plastik gerilmelerin devamında kırılmalar ve kopmalar meydana gelmektedir [48].

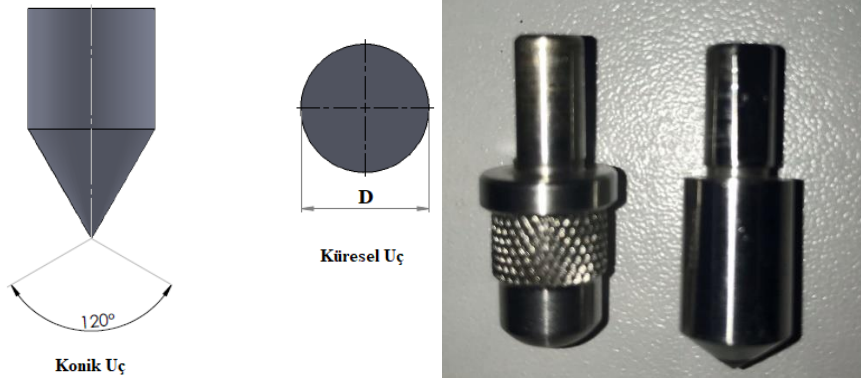
Malzemelerin çizilmeye ve batmaya karşı göstermiş oldukları direnç sertlik olarak adlandırılmaktadır. Başka bir ifadeyle, test edilen malzemeden daha yüksek sertlik değerine sahip delici uçun neden olduğu sınırlandırılmış plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir. Sert delici ucun malzeme yüzeyine batma kuvvetine karşı direnç aynı zamanda çizilme, aşınma ve aşınma dayanımının bir göstergesidir. Sertlik bir metalin temel özellikleri arasında olmasa da, sertlik testi malzemenin dayanımı hakkında bilgi verdiği için bu özellik ile ilgili olabilmektedir. Kolay gerçekleştirilebilir olması ve basit alet kullanımı sertlik testinin avantajları olarak görülmektedir. Bu bağlamda sertlik, daha sert bir malzeme ile karşılaştırılabilen bir malzeme özelliğidir. Bu özellik malzeme hakkında yeterli düzeyde de olsa bir fikir vererek uygulanacak işlemler için önceden yardımcı olabilmektedir.

Sertlik testi, kullanımı kolay olarak birçok metalik malzemenin dayanımı hakkında sayısal olarak bilgi vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertlik ölçeği, yumuşak kauçuk malzemeden sert seramik malzemelere kadar geniş bir sertlik aralığını kapsamaktadır. Sertlik ölçümleri yükleme miktarına bağlı olarak mikro ve makro sertlik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Uygulanan yük miktarı 1kg ve altında ise mikro sertlik, 1kg ve üzerinde ise makro sertlik olarak adlandırılmaktadır. Mikro sertlik, yüzeyleri kaplanmış ve sertleştirilmiş çok ince parçalar için kullanılmaktadır [49]. Malzemelerin sertlik değerlerini ölçmek için gelecekte günümüze çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanları literatür araştırmaları sonucunda, makro sertlik olarak Rockwell, mikro sertlik olarak Vickers sertlik ölçme yöntemleri olduğu görülmektedir.

3.4.1. Makro (Rockwell) Sertlik Testi

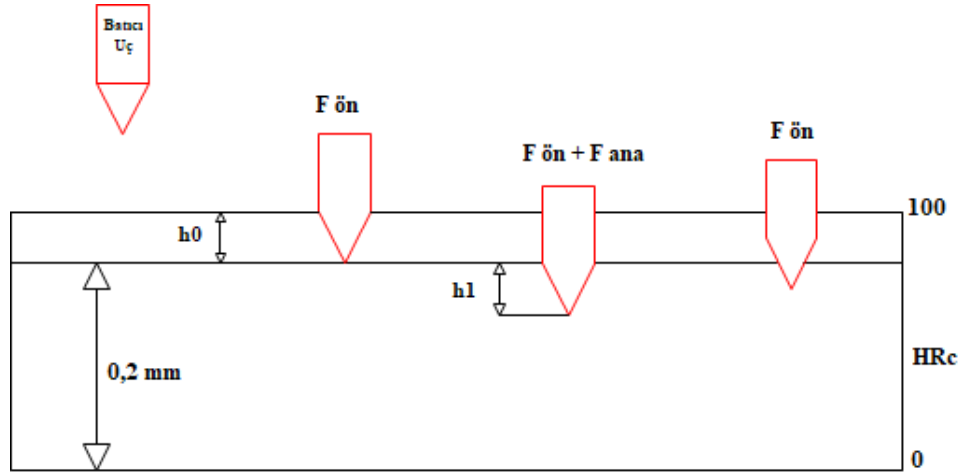
Rockwell sertlik yöntemi, küre ya da koni biçimindeki batıcı ucun belli bir yük altında neden olduğu plastik deformasyonun kalıcı izinden ölçülen bir diferansiyel derinlik yöntemi olarak adlandırılmaktadır [50]. Diğer yöntemlerden farklı olarak koni ya da küre biçimindeki batıcı ucun malzeme üzerine bıraktığı izin derinlik değerinin ölçülmesidir. Malzeme yüzeyini pürüzsüz hale getirmeye gerek yoktur. Kısa zaman diliminde çok fazla sayıda ölçüm yapılabilir, ancak ölçüm hassasiyeti diğer yöntemlere göre daha düşüktür.

Rockwell sertlik ölçme yöntemlerinde batıcı uç olarak 120° tepe açısı olan konik uçlar ve küresel çaplı metal bilyalar kullanılmaktadır. Kullanılan batıcı uç çeşidi, yöntemin sembolünde belirtilmektedir. Konik elmas uçlar kullanıldığında yöntem HRC ve HRA, küresel çaplı çelik bilyalar kullanıldığında ise HRB ve HRF sembolleri ile ifade edilmektedir. Aralarındaki farklar yöntem sırasında uygulanan kuvvet değerleridir. Şekil 3.9'da Rockwell batıcı uç çeşitlerine ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.9. Rockwell uç çeşitleri.

Rockwell sertlik ölçme yönteminde, ön yükleme ağırlığı 10 kg, toplam yük ağırlıkları ise 60, 100 ve 150 kg olarak kullanılır. Farklı malzemelerin sertliklerini ölçmek için Rockwell ölçekleri kullanılır. Bu bağlamla en fazla kullanılan sertlik ölçekleri B ve C ölçekleridir. Rockwell B ölçeği, yumuşak ve sünek malzemelere 100 kg yük ağırlığında ve 1/16" çapında çelik bilye kullanılarak, C ölçeği ise sertleştirilmiş çeliklere 150 yük ağırlığında 120° 'lik konik elmas uç kullanılarak uygulanmaktadır. Yöntemde kullanılan batıcı ucun iz derinliği ölçüleceği için yüzey pürüzlülük sonuçları etkilenebilir. Bu bağlamdaki olumsuzluğu gidermek için önce batıcı uç 10 kg'lık ön yükle malzemeye batırılır. Daha sonrasında toplam yüke tamamlanacak şekilde gerekli yükler uygulanır. Son olarak ana yük kaldırılarak oluşan kalıcı izin derinliği ölçülerek malzemenin sertlik değeri bulunmuş olur. Şekil 3.10'da Rockwell sertlik ölçme yönteminin uygulanış sürecinin şematik gösterimi verilmiştir.



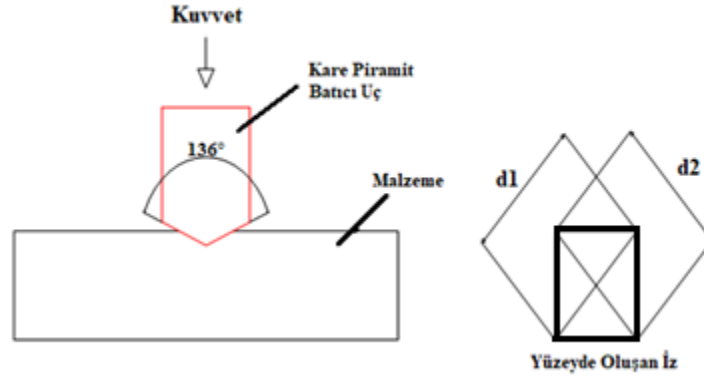
Şekil 3.10. Rockwell sertlik ölçme yönteminin uygulanış süreci.

Rockwell sertlik ölçme yöntemin avantajları, sertlik değerlerinin doğrudan ölçülebilir olması, esnek ve sünek malzemeler için çok uygun olması olarak görülmektedir. Ön yükleme ağırlığına ihtiyaç olması, uzun zaman diliminde yapılması ve ana yükün kaldırılmasından sonra izin kaybolma riskinin olması dezavantajları olarak görülmektedir [51].

3.4.2. Mikro (Vickers) Sertlik Testi

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertlik değeri ölçülecek malzeme yüzeyine, tabanı kare piramit biçimindeki bir batıcı ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra oluşan izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi olarak adlandırılmaktadır. Prensip olarak ölçme ve değerlendirme kıstasları Brinell yöntemine benzemektedir [52]. Vickers sertlik yöntemi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde küçük bir alana uygulanması ve kolay kullanılabilir olması sebebiyle kaynaklı birleştirmeler, yüzey kaplamaları, yüzey sertleştirme uygulamaları, seramik ve sentetik malzemelerin mekanik özelliklerinin ekonometrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [53], [54].

Vickers sertlik ölçme yöntemlerinde batıcı uç olarak 136° tepe açısı olan elmas kare piramit biçimindeki uçlar kullanılmaktadır. Yöntem esnasında uygulanan yükler malzemenin sertliğine bağlı olarak 1 kg ile 120 kg arasında değişmektedir. Yükün malzeme üzerinde kalma süresi yaklaşık olarak 20 saniyedir. Bu süre sonunda batıcı uç malzeme üzerinden kaldırılır ve test bitmiş olur. Şekil 3.11’de Vickers sertlik ölçme yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.11. Vickers sertlik ölçme yönteminin şematik gösterimi

Hv sembolü ile ifade edilen Vickers sertlik ölçme yönteminde, iz köşegenlerinin ortalaması $d_{iz} = (d1+d2)/2$ formülü ile hesaplanmaktadır. $d1$ ve $d2$ sırası ile iz üzerinden ölçülen köşegen uzunluklarıdır. Vickers sertlik yönteminin avantajları, ölçüm hassasiyetinin yüksek olması ve bütün malzeme yüzeyleri için tek çeşit batıcı ucun kullanılması olarak görülmektedir. Ayrıca birçok malzemenin ölçülmesinde oldukça etkili bir yöntemdir.

3.4.3. Sertlik Numunelerinin Ölçülmesi

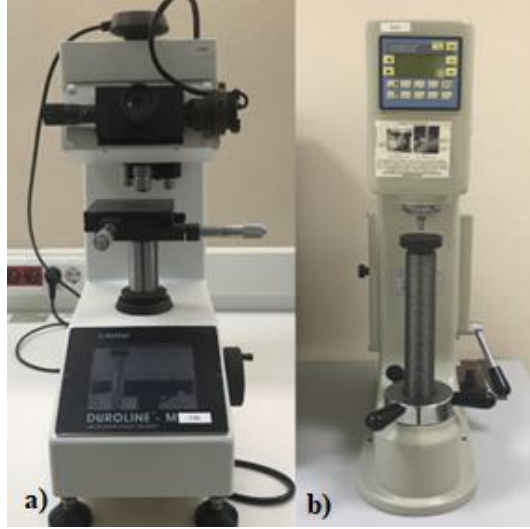
AISI 8620 çelik numunelerinin ısıtma işlem sonrasında yüzey sertlik değerlerinin ölçülmesi için Ø13 x 10 mm ebatlarında Şekil 3.2'deki gibi hazırlanmıştır. Şekil 3.12'de gösterilen sertlik numunelerinin her biri için testlerde 6 adet ölçüm alınmış ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak numunenin ortalama mikro-makro sertlik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.12. Sertlik numuneleri.

Şekil 3.8'deki ısıtma işlem süreçlerine göre hazırlanan 4 adet sertlik numunesinin makro sertlik ölçümleri Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Araştırma Merkezi bünyesindeki Şekil 3.13'de görülen Bulut marka DIGIROCK model

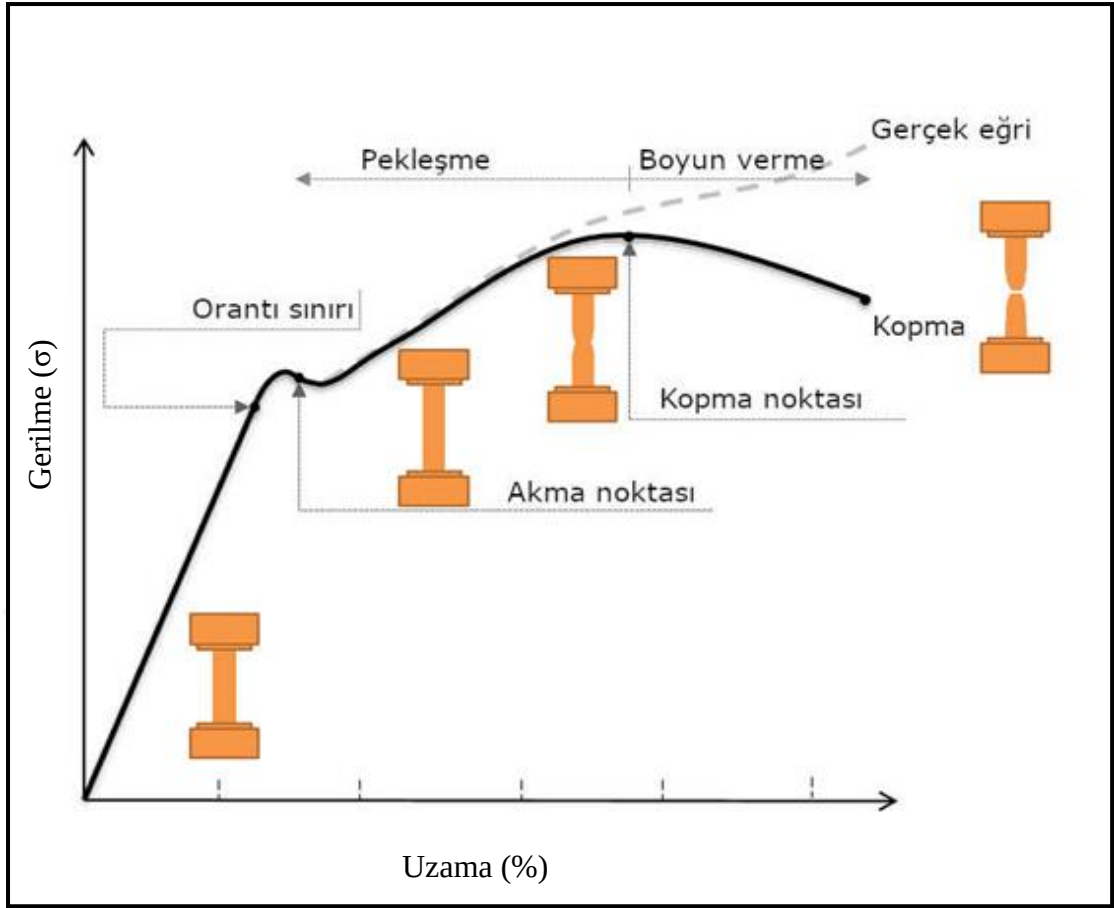
test cihazında, mikro sertlik ölçümleri ise yine aynı bünyede bulunan Metkon marka DUROLİNE-M modeli test cihazında yapılmıştır. Testler oda sıcaklığında (20 °C) konik elmas uca ön yük olarak 10 kg daha sonra 140 kg yük uygulanarak batma derinliği makro (Rockwell) olarak, kare piramit uca 10 saniye boyunca 300 g yük uygulayarak mikro (Vickers) olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.13. Sertlik ölçüm cihazları; a) Mikro (Vickers), b) Makro (Rockwell).

3.5. ÇEKME TESTİ

Mühendislik malzemelerinin esas olarak mekanik özelliklerinin araştırılması, tasarım, üretim, ısıtılma işlemi, montaj ve kalite hedefleri için zorunlu ve önemlidir. Malzemelerin bu tarz özelliklerini, üretim esnasında malzemeye uygulanan işlemleri veya çalışma ömrü boyunca uğradığı mekanik zorlukları testlere tabi tutarak önceden sonuçlara ulaşmak mümkündür [55]. Malzemeler, çekme, basma, eğilme ve burulma gibi esas çalışma şartlarını temsil eden yükler altında testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testler çoğunlukla kırılma ve kopmalara neden olmaktadır. Malzemelerin çekme testi ile belirlenen elastisite modülü, malzemelerin akma ve gerilme dayanımlarına esas olarak mekanik özelliklerine göre sınıflandırılmasına yardımcı olur. Çekme dayanımı (σ_c), akma dayanımı veya akma noktası (σ_y), elastisite modülü (E), malzeme uzama yüzdesi ($\Delta L\%$) ve alandaki azalma (% RA) olarak çekme testi esnasında gerilme-uzama eğrisinden elde edilen en önemli verilerdir. Ayrıca çekme testi sonucundaki verilerden yararlanarak malzemenin tokluğu, poisson oranı ve esnekliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Şekil 3.14’de çekme testi aşamaları ve sonucunda oluşan gerilme-uzama eğrisi görülmektedir.

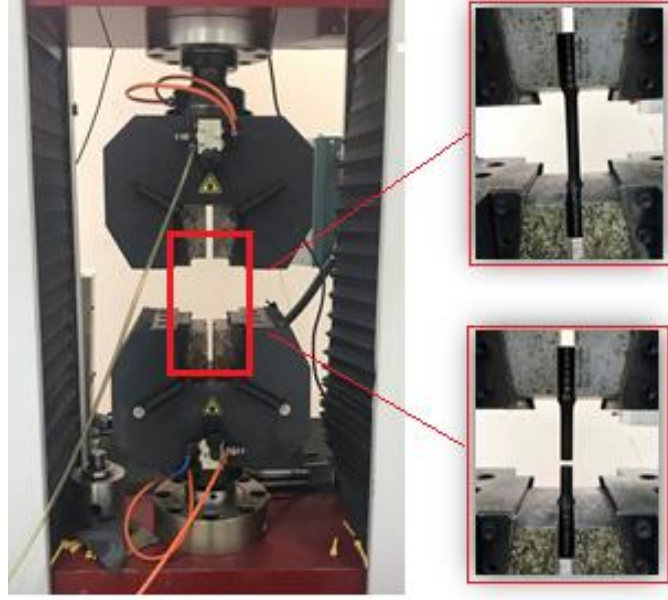


Şekil 3.14. Çekme testi aşamaları ve sonucunda oluşan gerilme-uzama eğrisi [56].

Çekme testi kısaca bir test numunesinin tek ekseninde sabit bir hızla koparılmaya kadar çekilmesi işlemidir [57]. Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması işleminin yapılması amacıyla görülmektedir [58]. Çekme testlerinde farklı tiplerde lama ve silindirik deney numuneleri yaygın olarak kullanılmaktadır [59].

3.5.1. Çekme Testinin Yapılması

AISI 8620 çelik numunelerinin ısıtma işlemi sonrasında mekanik özelliklerinin (çekme dayanımı, kopma dayanımı, yüzde uzama) belirlenebilmesi amacıyla çekme testleri yapılmıştır. Bu kapsamda Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan 50 ton kapasiteli BESMAK marka Şekil 3.15’de görülen çekme test cihazı kullanılmıştır. Çekme testleri oda sıcaklığında, 2 mm/dak sabit çekme hızında gerçekleştirilmiştir.



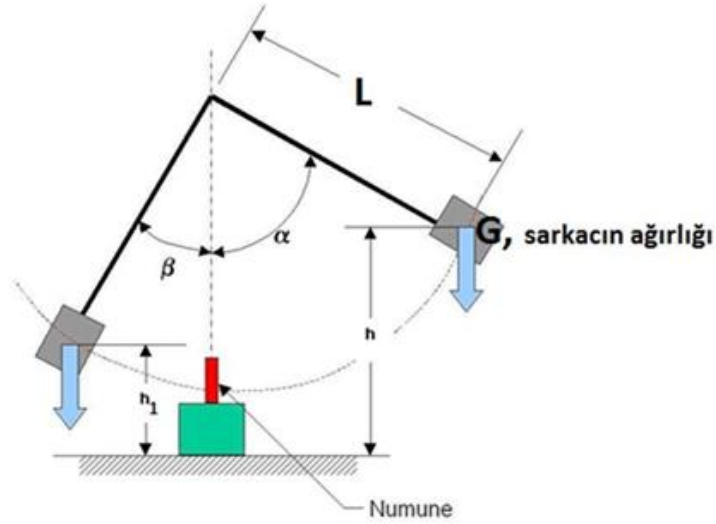
Şekil 3.15. Çekme test cihazı.

AISI 8620 çelik numunelerine uygulanan ısıt işlemler sonucunda, malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki değişimleri gözlemlenmiştir. Dört ayrı kategoride sınıflandırılan numunelerin test güvenilirliğini artırmak amacıyla her bir kategori için üçer adet çekme testi yapılmıştır.

3.6. DARBE TESTİ

Metallerin özellikle gevrek kırılmaya elverişli şartlardaki mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek ve dinamik bir zorlama altında test numunesinin kırılabilmesi için gerekli enerji miktarını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmadır. Test sonucunda elde edilen enerji değeri malzemenin darbe direnci olarak tanımlanmaktadır [60].

Çalışma prensibi Şekil 3.16'da gösterilen darbe testinde, ağırlık miktarı G kabul edilen bir sarkaç, h_1 yüksekliğine çıkarıldığı anda potansiyel enerjisi $G \times h_1$ değerindedir. Bu yükseklikten serbest bırakılan sarkaç düşey düzlemde ilerleyerek deney numunesini kırar ve karşı yöndeki yüksekliğine çıkar. Böylelikle, test numunesinin kırılma esnasında sarkaçta kalan potansiyel enerji $G \times h$ düzeyinde gerçekleşir. Sarkacın ilk konumu ile son konumu arasındaki potansiyel enerjileri farkı test malzemesinin darbe direncini verir [60].



Şekil 3.16. Darbe test cihazının çalışma prensibi [61].

Test esnasında oluşan sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde, sarkacın ilk ve son enerjisi arasındaki fark ile eşit olan kırılma enerjisi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$E(\text{kırılma enerjisi}) = G (h_1 - h) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha)$$

Buradan;

G: Sarkaç ağırlığı (kg)

L: Sarkacın sallanma merkez ile arasındaki mesafe (m)

h_1 : Sarkacın ağırlık merkezinden düşme yüksekliği (m)

h: Sarkacın ağırlık merkezinden çıkış yüksekliği (m)

α : Düşme açısı (derece)

β : Yükselme açısı (derece)

Kırılma (darbe) enerjisi birimi uluslararası standartlarda joule (J) olarak verilmektedir.

Ancak bazı özel durumlarda J/m^2 , kg. m, kg. m/cm² biçimlerinde ifade edilebilmektedir.

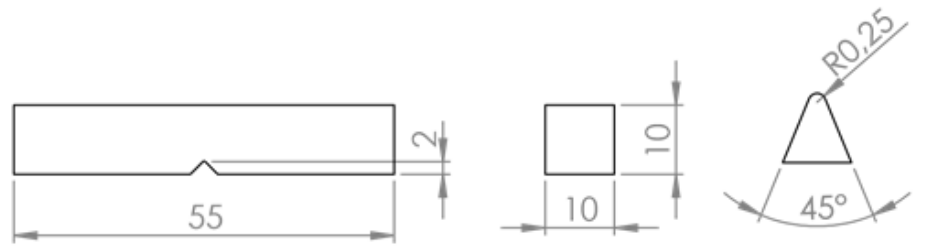
Kırılma (darbe) enerji miktarı fazla olan malzemenin kırılma tokluğu yüksek olur [62].

Endüstriyel uygulamalarda malzemelerin çalışma şartlarında maruz kaldıkları ortam sıcaklığına ve yüke göre hasara uğradıkları görülmektedir. Bu bağlamda malzemenin çalışması sırasında oluşabilecek kırılmalara (sünek veya gevrek) karşı ne kadarlık bir enerjiyi sönümleyebileceğinin bilinmesi ve malzeme seçiminin buna göre yapılması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, malzemelerin dinamik zorlanmalara karşı gösterebilecekleri maksimum darbe dirençlerini ya da ani darbe esnasında soğurma edebileceği enerji miktarlarını belirleyerek malzemenin sünek ve gevrek davranışları üzerine bilgi edinebilmek amacıyla Charpy darbe testleri yapılmaktadır [63].

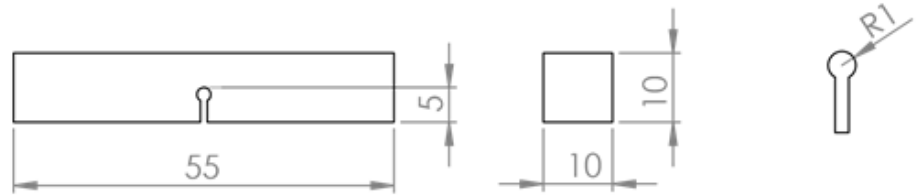
3.7.1 Charpy Darbe Testi

Charpy darbe testinde test numunesi deney cihazına yatay olarak yerleştirilir. Test cihazının kırma çekici test numunesinin tam ortasına açılmış olan çentiğin arkasından vurarak test numunesini kırar. Böylece malzemenin kırılma esnasındaki absorbe ettiği enerji miktarı ölçülmüş olur [64].

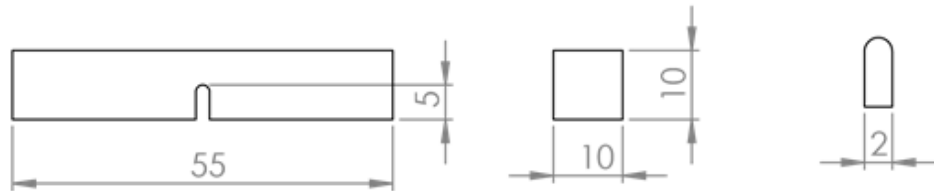
Charpy test numunesi ASTM, DIN, TS standartlarına göre V çentikli, U çentikli, anahtar deliği çentikli olarak Şekil 3.17’de görüldüğü gibi üç farklı geometride ve ölçülerde hazırlanmaktadır [62].



a) V çentikli Charpy test numunesi



b) Anahtar deliği çentikli Charpy test numunesi

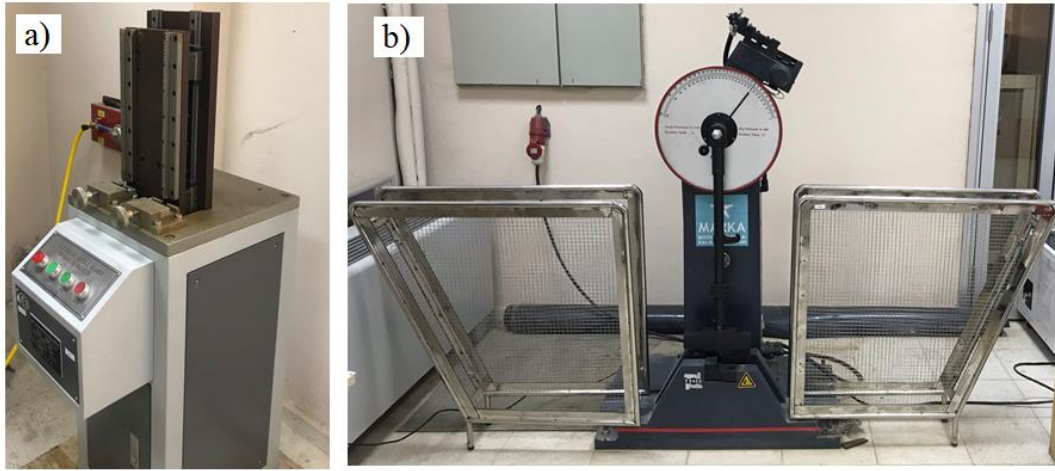


c) U çentikli Charpy test numunesi

Şekil 3.17. Uluslararası standartlara göre Charpy test numuneleri.

3.7.2. Charpy Darbe Testinin Yapılması

AISI 8620 çelik numunelerinin ısıtıl işlem sonrasında sünek ve gevrek davranışları hakkında bilgi edinebilmek amacıyla charpy darbe testleri yapılmıştır. Darbe test numuneleri standartlara uygun olarak Şekil 3.5’de verilen ölçülerde hazırlanmıştır. Numuneler üzerine açılan v çentiğın açısı 45° derinliğı 2 mm olarak Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Araştırma Merkezi bünyesindeki Şekil 3.18a’da görülen v çentik açma cihazı, darbe testleri için ise Şekil 3.18b’de görülen charpy darbe cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.18. a) V çentik açma cihazı b) Charpy darbe test cihazı.

Charpy darbe testinde AISI 8620 çelik numuneleri Şekil 3.19’da görölmektedir.



Şekil 3.19. Darbe test numuneleri.

3.7. AŞINMA TESTİ

Metal ve metalik olmayan malzemelerin yüzeylerini ve bu yüzeylere bağlı olarak oluşan hareketler davranışlarıyla etkileşimlerini inceleyen bilim dalına triboloji denilmektedir [65]. Triboloji, bir veya birden fazla yüzeyin temas içerisinde, bir bekleme süresinde ve parametreler dâhilindeki pozisyonunda, malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak özelliklerinden etkilenilmesidir [66]. Bu bağlamda triboloji aşınma, sürtünme, yağlama gibi kavramları incelemekte ve malzemelerin aşınma ile ilgili sorunlarına çözüm yolları aramaktadır [67], [68].

Metal ve metalik olmayan malzemelerin yüzeyleri ile çalışma şartlarında mekanik, fiziksel ve kimyasal olarak temas halinde olan parçaların malzeme yüzeylerinden mikroskobik boyutlarda parçalar koparmaları neticesinden meydana gelen malzeme kayıpları aşınma olarak tanımlanmaktadır. Aşınma, malzemede gerçekleşen bir tahribat oluşumu olarak görülmekte ve metal-metal olmayan malzemelerde gerçekleşebilmektedir [69]. Aşınmanın gerçekleşebilmesi için, malzeme yüzeylerinin birbirleri ile bağıntılı çalışması, temas halindeki malzemelerden en az birinde mekanik veya fiziksel yollar ile malzeme kayıplarının istem dışında oluşması gerekmektedir [70].

Malzemede meydana gelen tahribatın aşınma olarak görülebilmesi için bazı koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar şöyledir;

- Mekanik veya fiziksel bir etki olmalı,
- Sürtünme oluşmalı,
- Yavaş ve sürekliliği olmalı,
- Malzeme yüzeyinde tahribat oluşmalı,
- İstemli veya istemsiz şekilde gerçekleşmeli [71].

Aşınma fiziksel, mekanik, elektriksel, ısııl nedenler ve korozyon sonucunda meydana gelebilmektedir [72]. Bu bağlamda malzemeyi aşındıran etken maddenin katı, sıvı, gaz hallerinde veya bunların karışımları halinde olabilir [73]. Alman standardı DIN 50320 göre aşınma; abrasiv, adheziv, yorulma ve koroziif aşınma olarak dört farklı türde oluşabilmektedir [74]. Aşınma bu dört farklı türde temas hallerinde birbirleri ile çalışan parçaların yüzeylerinde meydana gelmektedir. Bu bağlamda sanayide, çalışma ortamlarına göre aşınma dayanımları yüksek ve ekonomik olarak ucuz malzeme üretimi yapmak oldukça zordur. Bu duruma çözüm olarak her çalışma ortamlarına uygun

mikroyapı da ve sertlikte malzeme üretimi yapılmıştır. Böylece birbirleriyle temas halinde çalışan malzemelerde aşınmanın en az seviyelerde tutulması sağlanmıştır.

3.7.1. Aşınma Testlerinin Yapılması

Numunelerin ısıtılma işlemi sonrasındaki aşınma dayanımlarını belirleyebilmek amacıyla pin-on-disk aşınma testleri yapılmıştır. Bu kapsamda testler Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) bünyesindeki Şekil 3.20’de gösterilen deney düzeneğinde yapılmıştır.



Şekil 3.20. Pin-on-disk aşınma deney düzeneği.

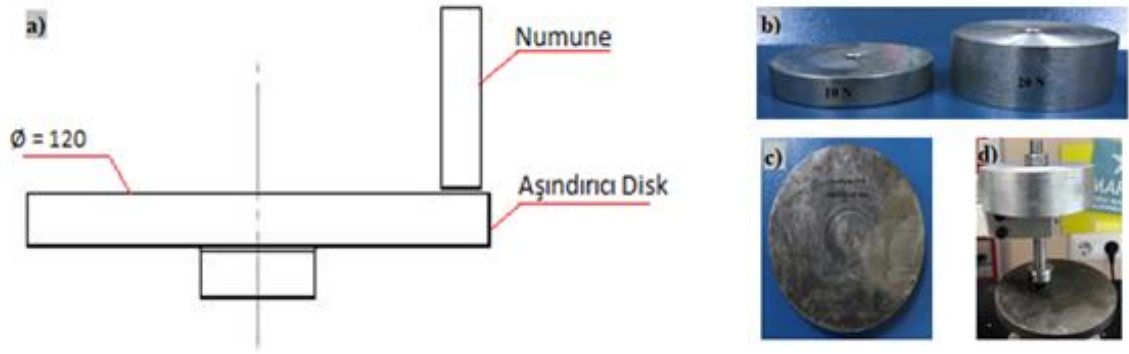
Aşınma testlerinde kullanılan TRD marka aşınma test cihazına ait özellikler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. TRD aşınma test cihazı özellikleri [75].

Devir Aralığı (dev/dk)	75-800	Test Standartları	ASTM G99, ASTM G133
Yük Kapasitesi (N)	50	Deney Tipleri	Pin-on-disk, Ball-on-disk
Numune Ebatları (mm)	Ø40 max	Cihaz Ebatları (mm)	250 x 450 x 175
Bilgisayar Yazılımı	TRDWear	Yağlayıcı Ortam	Var
Veri Toplama Hızı (Hz)	10		

Aşınma test numuneleri Şekil 3.6’daki ölçülerde standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Numunelere test öncesinde yüzey pürüzlülüklerini gidermek amacıyla Şekil 3.16’da görülen zımparalama cihazında sırasıyla 180, 400, 800 ve 1200 derece zımpara kâğıtlarında 90°’lik açı ile döndürülerek zımparalama işlemleri yapılmıştır. Aşınma

testleri Şekil 3.21’de şematik olarak gösterilen pin-on-disk aşınma test düzeneği kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır.

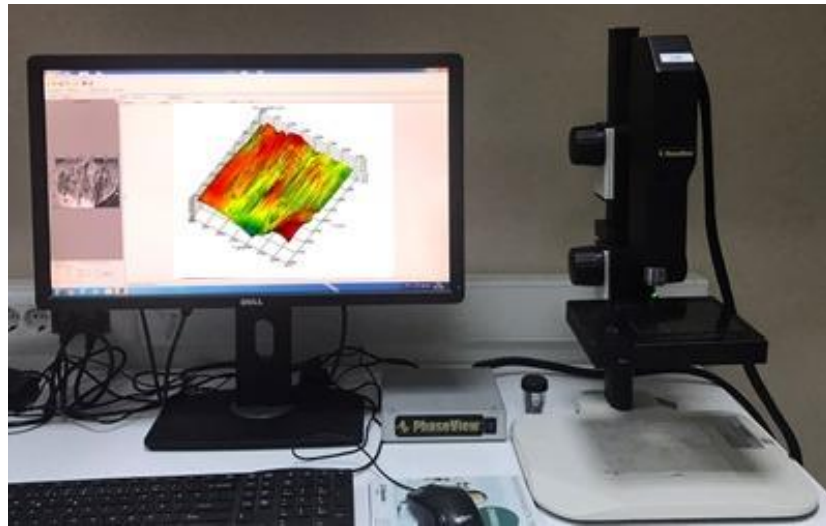


Şekil 3.21. a) Pin-on- disk aşınma testi şeması, b) Testte kullanılan yükler, c) Aşındırıcı disk, d) Aşınma testi.

Aşındırma işlemleri 127 dev/dak hızda dönen 65 HRc sertliğe sahip disk üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çevresel hız 0,2 m/s olarak 250 m yol mesafesinde uygulanmıştır. Ayrıca uygulanan yükün aşınma davranışlarına etkisini belirlemek amacıyla 10 N ve 20 N olmak üzere iki farklı yük uygulanarak 30 mm’lik iz çapında testler yapılmıştır.

3.7.2. Optik Profilometre İncelemeleri

Numunelere 10 N ve 20 N yük altında uygulanan pin-on-disk aşınma testi sonrasında yüzeylerinde oluşan aşınmaları incelemek amacıyla Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesindeki Şekil 3.22’de gösterilen Phaseview model optik profilometre cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.22. Phaseview model optik profilometre cihazı.

3.8. KOROZYON TESTİ

Metalik malzemelerin içerisinde bulunduğu ortam ile zamanla kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girmeleri sonucunda malzemenin fiziksel olarak deformasyona uğraması korozyon olarak tanımlanmaktadır [76].

Korozyon, maliyetli ve malzeme emniyeti açısından risk taşımaktadır. Bu sebeple hiç istenmeyen bir olaydır. Malzemeyi korozyon oluşumundan korumak veya korozyona uğramamış bir malzemeyi yenisi ile değiştirmek ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Ekonomiden daha önemli olan bir diğer konu ise emniyettir. Korozyona uğrayan malzemelerin hiç beklenmedik bir anda kırılıp kopması ciddi yaralanmalara ve ölümlere sebebiyet vermektedir [77], [78], [79].

Malzemelerin koroziif hasara uğramasını tepkime türüne göre kimyasal ve elektrokimyasal olarak sağlayan iki farklı korozyon olayı vardır. Metal ve alaşımlarının gaz ortam içerisinde zamanla oksitlenmesi kimyasal (kuru) korozyon olarak tanımlanmaktadır [80]. Elektrokimyasal korozyon ise anot görevinde bulunan bir metalin moleküllerine (elektron ve iyon) ayrıştığı korozyon olayıdır [81]. Metal ve metal alaşımlarının [82]-[83], korozyon olaylarına karşı göstermiş oldukları dayanım korozyon hızı olarak ifade edilir ve malzemenin birim zamandaki çözünme miktarı olarak tanımlanır [84]. Bu bağlamda korozyon hızı bir metalin ömrünü belirleyen önemli parametrelerden birisidir. Korozyon hızı, metalin boyutu, fonksiyonu, yapısı ve çevre üzerindeki etkisi gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak değişim göstermektedir [85].

Metal ve alaşımları içerisindeki bulundukları ortam koşullarına göre birçok biçimde korozyona uğrarlar. Bunlardan başlıcaları;

- Üniform korozyon
- Pullanma korozyonu
- Galvanik korozyon
- Çatlak korozyonu
- Filiform korozyonu
- Çukur korozyonu
- Taneler arası korozyon
- Seçimli korozyon

- Erozyonlu korozyon
- Aşınmalı korozyon
- Yorulmalı korozyon
- Mikrobiyolojik korozyon
- Yüksek sıcaklık korozyonu
- Stres korozyonudur [86].

Şekil 3.23'te zaman içerisinde korozyona uğramış metale ait bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.23. Korozyona uğramış metal.

3.8.1. Korozyon Testinin Yapılması

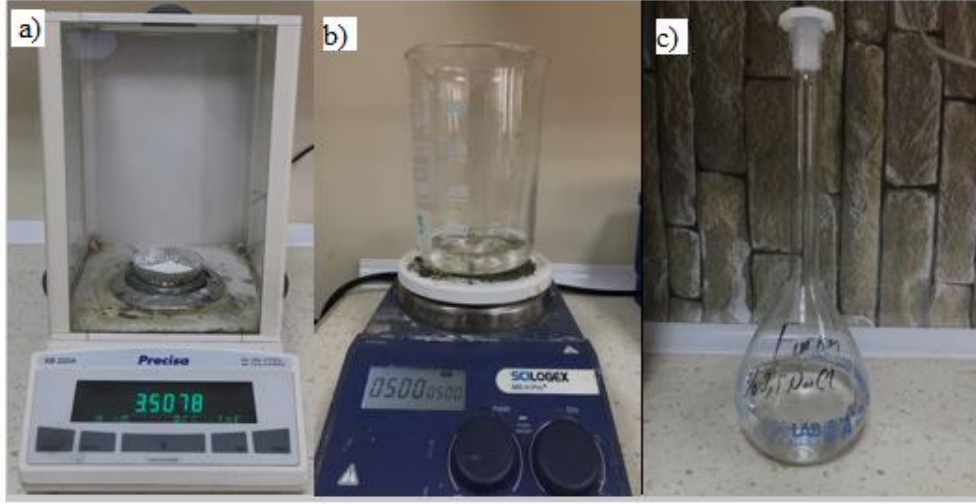
Numunelerin ısıtılma işlemi sonrasındaki korozyon davranışlarını belirleyebilmek amacıyla elektrokimyasal korozyon testleri yapılmıştır. Bu kapsamda testler Düzce Üniversitesi Korozyon Araştırma Laboratuvarı bünyesindeki Şekil 3.24'de gösterilen test düzeneğinde yapılmıştır.



Şekil 3.24. Elektrokimyasal korozyon test düzeneği.

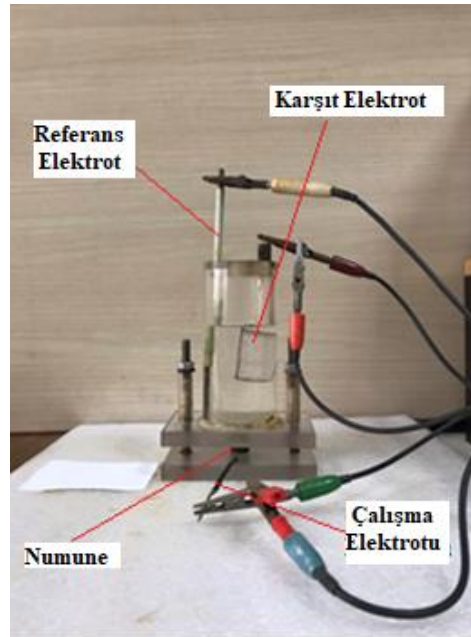
Elektrokimyasal ölçümler öncesinde korozyon ortamı olarak % 3,5 NaCl çözeltisi kullanılmıştır. Bu ortam yapay deniz suyunu karşılayacak oranda NaCl içermektedir. Yolların kışın tuzlanması ile sulu çözeltinin de benzer bir konsantrasyonda olduğu kabul

edilmektedir [87]. Her test öncesinde çözeltiyi hazırlamak için 100 ml saf suyun içerisine 3,5 g NaCl dökülmüş ve çözelti tamamen homojen olana kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır [88], [89]. Şekil 3.25’de çözeltinin hazırlanma süreci gösterilmiştir.



Şekil 3.25. a) Hassas terazi, b) Manyetik karıştırıcı, c) Homojen çözelti.

Korozyon test numuneleri Şekil 3.2’deki ölçülerde standartlara göre hazırlanmıştır. Testlerde Şekil 3.26’da gösterilen test hücresi kullanılarak oda sıcaklığında OCP, EIS ve TP ölçümleri yapılmıştır. Test güvenilirliğini arttırmak amacıyla her bir numune için 6 defa ölçüm yapılmış (OCP, EIS, TP) ve ortalama değere en yakın veriler alınmıştır. Her test öncesinde numunelere test hücresine alınmadan önce yüzeylerinde oluşan oksit tabakasını temizlemek amacıyla 1200 sınıfındaki zımpara kâğıt ile zımparalanmış ve pürüzsüz olması sağlanmıştır.



Şekil 3.26. Elektrokimyasal deney hücresi.

Şekil 3.26’da gösterilen deney hücresinde referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrotu, karşıt elektrot olarak 2 cm² alana sahip Pt elek kullanılmıştır. Test numune yüzeyleri 0,785 cm² kesit alanına sahip hücre bölümünden koroziif ortama maruz bırakılmıştır [88], [89]. Elektrokimyasal deney ölçümlerinde Şekil 3.27’de gösterilen GAMRY marka PC3/600 potansiyostat/ galvanostat/ ZRA model cihaz kullanılmıştır. Deneylerde, çalışma elektrotu standartlara uygun olarak hazırlandıktan sonra [90] ilk olarak 7200 s (2 saat) süre ile OCP ölçümleri yapılmıştır. EIS ölçümleri 0,01 Hz final frekans hızında yapıldıktan sonra TP ölçümleri ± 250 mV potansiyel enerji verilerek 1 mV/s tarama hızında anodik ve katodik doğrultuda yapılmıştır. EIS yöntemi sonucunda sırasıyla nyquist, bode ve angle grafikleri elde edilmektedir. Bu grafiklerin ZSimpWin 3.21 yazılımı kullanılarak analiz gerçekleştirilmektedir [91].



Şekil 3.27. GAMRY marka PC3/600 potansiyostat/ galvanostat/ ZRA model deney cihazı.

Çalışma elektrotlarının % 3,5 NaCl ortamındaki korozyon dirençleri 2 saat OCP ölçümünden sonra belirlenen frekans aralığına bağlı olarak bir sistemin empedansını ölçmek için kullanılan Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi ile araştırılmıştır [92]. EIS yöntemi sonunda numuneler desikatörde 2 saat bekletildikten sonra yüzey görüntüleme işlemleri için hazırlanmıştır. Şekil 3.30’da görülen taramalı elektron mikroskobu ile metal yüzeyinin ne kadar bozulduğu görsel olarak incelenmesinin ardından enerji dağılımlı X-ray kırınımı (EDS) analizi sayesinde araştırılan metal yüzeyde oluşan elementlerin yüzdeleri belirlenmiştir.

Enerji dağılımlı X-ray kırınımı (EDS) yöntemi, malzemeye özgü elementleri

belirlememize olanak sağlamaktadır. Odaklanmış elektron demeti ile bombardıman edilerek malzeme yüzeyinden X-ışınları salınmaktadır. EDS detektörü ile belirlenen bu ışınlar malzeme yüzeyinin kimyasal kompozisyonu hakkında bilgi sağlamaktadır [93]. EDS analizleri 20 KeV'lik hızlandırma voltajı uygulanarak 10 mm çalışma mesafesinde Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Araştırma Merkezi bünyesindeki Şekil 3.28'de görülen SEM Quanto FEG 250 model cihaz ile incelenmiştir.



Şekil 3.28. SEM Quanto FEG 250 model EDS cihazı.

3.9. MİKROYAPININ İNCELENMESİ

AISI 8620 çelik numunelerinin ısıtılma işlem sonrasında yapılarındaki morfolojik değişimleri gözlemlemek amacıyla mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Bu kapsamda Şekil 3.2'deki ölçülerde 4 ayrı kategoride sınıflandırılan numunelere iç yapı inceleme sürecinin ilk aşaması olarak Şekil 3.29'da görülen Metkon marka cihazda sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 derece zımpara kağıtlarında 90°'lik açı ile döndürülerek zımparalama işlemleri yapılmıştır. Zımparalama işlemleri sonrasında 1 µm elmas pasta ile parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Şekil 3.30'da zımpara, parlatma ve dağlama işlemi yapılmış numuneye ait görüntü verilmiştir.



Şekil 3.29. Metkon marka Forcipol 1V model zımpara ve parlatma cihazı.



Şekil 3.30. Parlatma ve dağlama işlemi yapılmış numune.

Numunelere % 2 nital (HNO_3) çözeltisi kullanılarak dağlama işlemi uygulanmıştır. Morfolojik inceleme öncesinde numuneler çift taraflı bant kullanılarak alüminyum üzerine monte edilmişlerdir. Bu kapsamda numunelerin yüzey morfolojileri 10 KeV'lık elektron hızlandırma voltajı kullanılarak Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama Araştırma Merkezi bünyesindeki Şekil 3.31'de görülen SEM Quanto FEG 250 model cihaz (FEI, Hollanda) ile incelenmiştir.



Şekil 3.31. Mikroyapı incelemesinde kullanılan SEM Quanto FEG 250 model cihaz.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

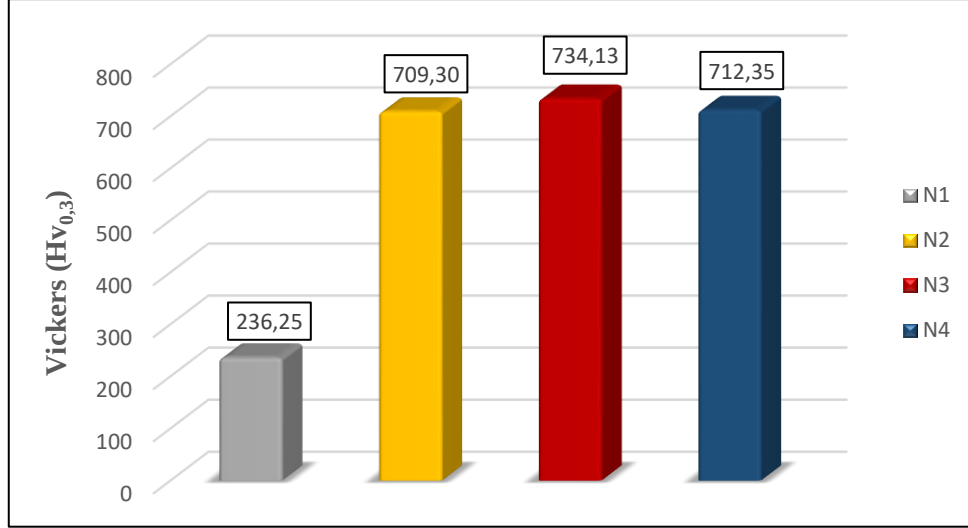
Bu bölümde ise bu çalışmanın test aşamalarında elde edilen verilere ve test sonuçlarına yer verilmiştir. Ayrıca yapılan testler sonucunda alınan veriler karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda, farklı ısıtım işlem parametrelerine sahip AISI 8620 sementasyon çeliklerinin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla testler yapılmış ve bu testlerin sonuçları altı başlık altında değerlendirilmiştir:

- Mikro-makro sertlik bulguları
- Çekme testi bulguları
- Darbe testi bulguları
- Aşınma testi bulguları
- Korozyon testi bulguları
- Mikroyapı bulguları

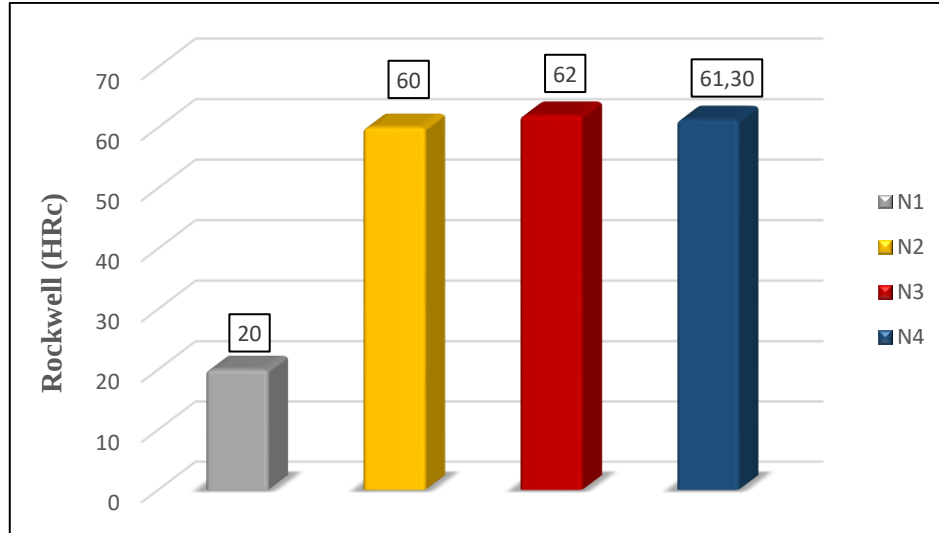
4.1. MİKRO-MAKRO SERTLİK BULGULARI

AISI 8620 sementasyon çeliğinden hazırlanan dört farklı parametreye sahip numunelerin her birinden altı adet sertlik değeri ölçülerek aritmetik ortalamaları alınmıştır. Şekil 4.1’de mikro (Vickers), Şekil 4.2’de makro (Rockwell) sertlik ölçümleri yapılan numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Grafiklerde görülen standart numune N1 kodu ve gri renkle ifade edilmektedir. Sementasyon ve temperleme işlemi görmüş numune N2 kodu ve sarı renkle, Sementasyon, 24 saat bekletme süreli kriyojenik işlem ve temperleme işlemi görmüş numune N3 kodu ve kırmızı renkle, sementasyon, 36 saat bekletme süreli kriyojenik işlem ve temperleme işlemi görmüş numune N4 kodu ve mavi renkle ifade edilmektedir.



Şekil 4.1. Vickers (Hv) sertlik değerleri.

Şekil 4.1’deki numunelere ait mikro (Vickers) sertlik verileri incelendiğinde, kriyojenik işlem görmüş N3 numunesinde sementasyon işlemi görmüş N2 numunesine göre % 3,50’luk olumlu bir artışın yaşandığı görülmektedir. N4 kodlu numunede uygulanan kriyojenik işlemin bekletme sürelerine bağlı olarak sertlik değerlerin de azalmanın yaşandığı görülmektedir.

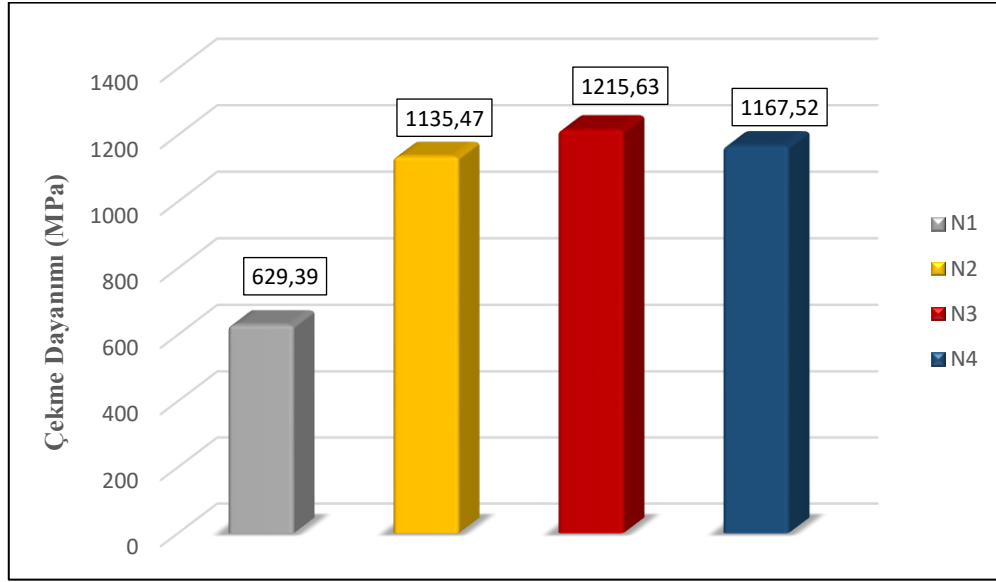


Şekil 4.2. Rockwell (HRC) sertlik değerleri.

Şekil 4.2’deki numunelere ait makro (Rockwell) sertlik verileri incelendiğinde, kriyojenik işlem görmüş N3 numunesinde sementasyon işlemi görmüş N2 numunesine göre % 3,33’lük olumlu bir artışın yaşandığı görülmektedir. N4 kodlu numunede uygulanan kriyojenik işlemin bekletme sürelerine bağlı olarak sertlik değerlerinde azalmanın yaşandığı görülmektedir.

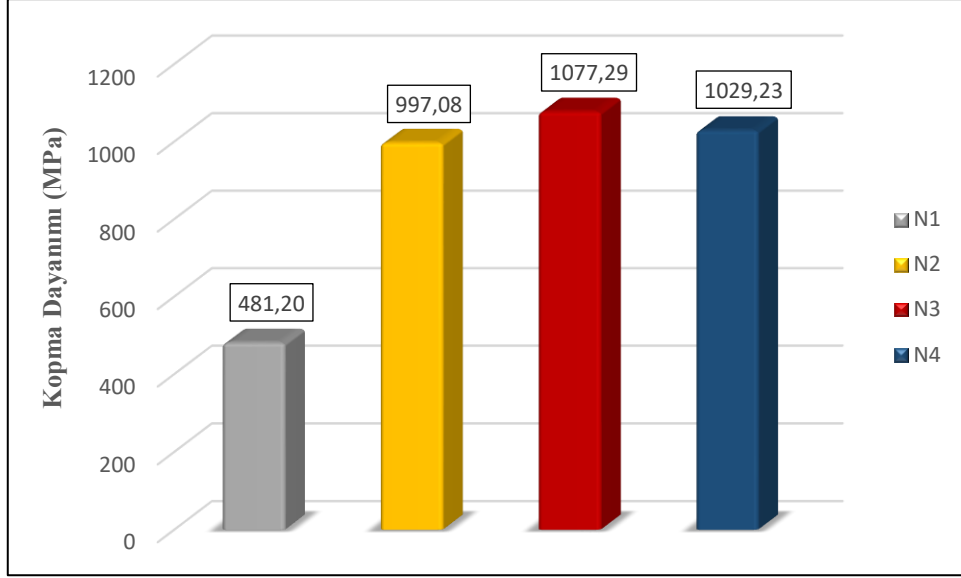
4.2. ÇEKME TESTİ BULGULARI

AISI 8620 sementasyon çeliğinden hazırlanan dört ayrı kategoride sınıflandırılan numunelerin her bir kategorisi için üç adet çekme testi yapılmış ve ortalamaları alınmıştır. Elde edilen bulgulara göre numunelere ait ortalama maksimum çekme dayanımı Şekil 4.3'te, ortalama kopma dayanımı Şekil 4.4'te ve ortalama yüzde uzama miktarı Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.6'da ise dört numuneye ait gerilme yüzde uzama grafiği verilmiştir.



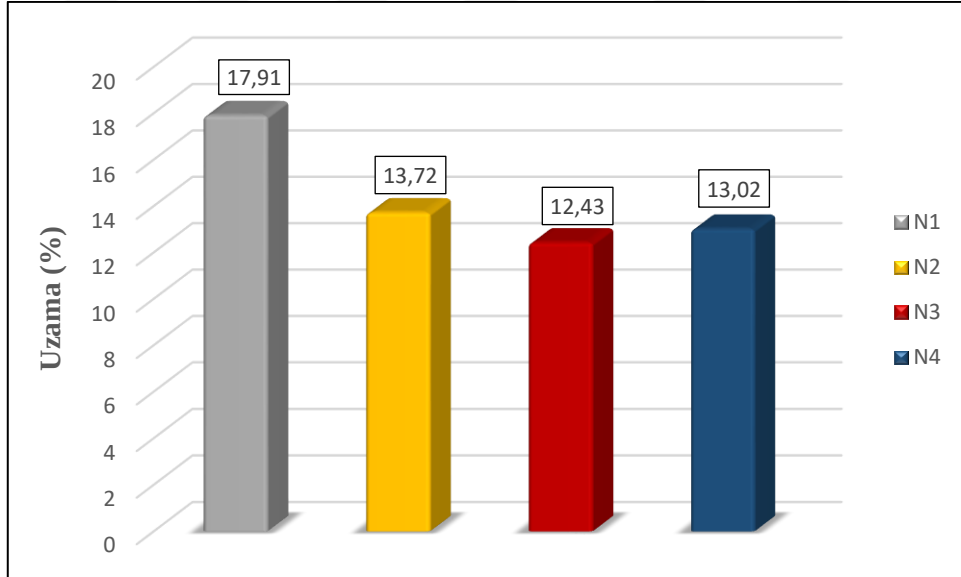
Şekil 4.3. Numunelerin ortalama maksimum çekme dayanımı.

Şekil 4.3 incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının 1215,63 MPa ile kriyojenik işlem uygulanmış N3 numunesinde olduğu görülmektedir. Bu bağlamda en yüksek çekme dayanım değerinin N3 numunesinde olmasının nedeni, kriyojenik işlem sonrasında malzemenin mikroyapısında bulunan yumuşak östenit fazının homojen dağılmış olan ince taneli martenzit fazına dönüşerek sert bir yapı oluşturmasıdır [94], [95]. Ayrıca, çeliklerde çekme dayanım değerleri sertlik değerleri ile orantılı olduğundan yaptığımız makro-mikro sertlik testinde en yüksek değere sahip olan N3 numunesi dayanım değeri sertlikle orantılı olarak en yüksek olarak görülmüştür [46].



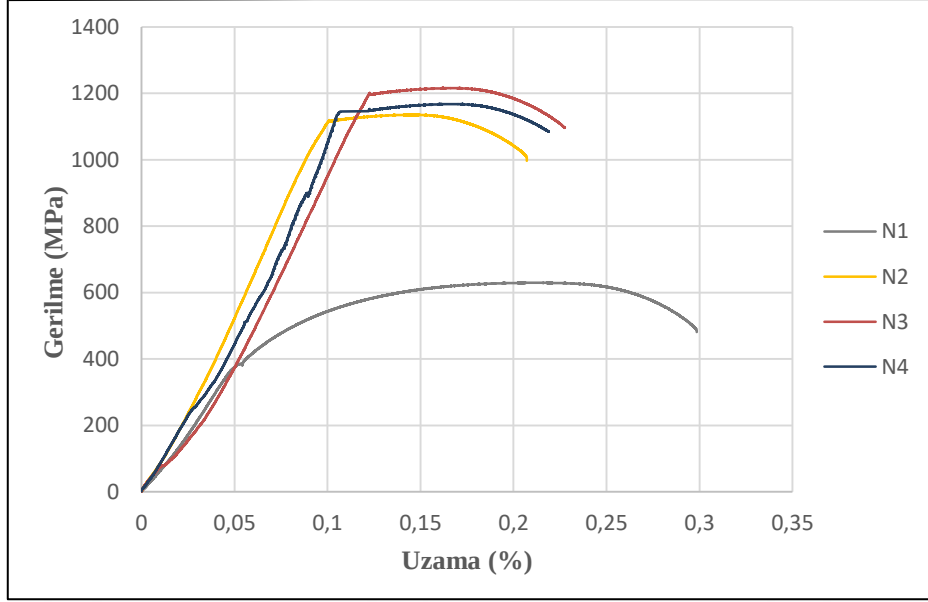
Şekil 4.4. Numunelerin ortalama kopma dayanımı.

Şekil 4.4 incelendiğinde çekme dayanım değeriyle orantılı olarak en yüksek kopma dayanımı değerinin 1077,29 MPa ile N3 numunesinde yaşandığı görülmüştür. Ayrıca kriyojenik işlemin bekletme süresinin artmasıyla birlikte N4 numunesinde çekme değerinde olduğu gibi kopma dayanımı değerinde de azalma yaşanmıştır.



Şekil 4.5. Numunelerin ortalama yüzde uzama değerleri.

Şekil 4.5 incelendiğinde en düşük yüzde uzama değerinin sırasıyla N3, N4, N2, N1 numunelerinde olduğu görülmüştür. Yüzde uzama değerleri çekme dayanımlarına göre ters orantılı olarak değişim göstermiştir. Bu durum malzemenin sünekliğine bağlıdır [96].



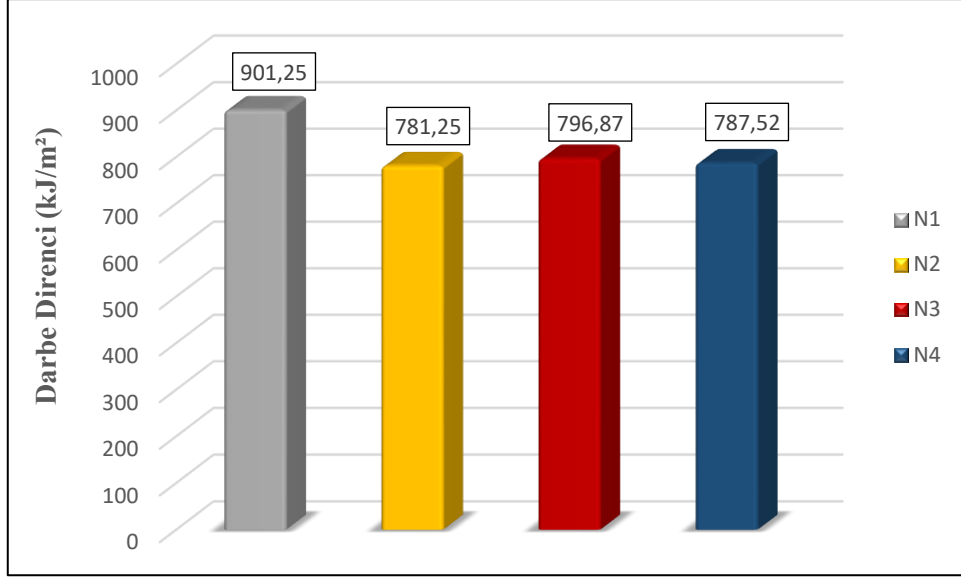
Şekil 4.6. Gerilme uzama grafiği.

Şekil 4.6'daki gerilme uzama grafiği incelendiğinde, derin kriyojenik işlem ile birlikte sertlik değeri artan N3 numunesi diğer numuneler ile kıyaslandığında yapısının daha sert olması sebebiyle en yüksek çekme dayanım değerine yükselerek kopmuş ve bu duruma ters olarak daha az oranda uzamaya uğramıştır. Bu bağlamda derin kriyojenik işlemin çekme dayanımı, kopma dayanımı ve uzama miktarları üzerinde olumlu etkilerinin olduğu gözlenmiştir. 24 saat bekletmeli derin kriyojenik işlem uygulanmış numunenin sementasyon işlemi uygulanmış numuneye göre çekme ile kopma dayanımlarında % 7 ve % 8'lik artış, uzama değerinde % 10'luk azalmanın yaşandığı görülmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalarda kriyojenik işlem görmüş numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşmelerin yaşandığı saptanmıştır. Özden ve Anık yapmış olduğu çalışmada, 52CrMoV4 çeliğine geleneksel ısıtılma işlemi ardından -196°C 'de 24 saat bekletmeli derin kriyojenik işlem uygulamışlardır. Sonuç olarak derin kriyojenik işlem görmüş numunenin çekme dayanımının sementasyon işlemi görmüş numuneye göre % 7'lik bir artış yaşadığını belirtmiştir [97]. Bu çalışmada elde edilen çekme testi sonuçlarının literatür verilerini destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

4.3. DARBE TESTİ BULGULARI

AISI 8620 çeliğinden hazırlanan farklı ısıtılma işlem parametrelerine sahip numunelere darbe testleri yapılmıştır. Şekil 4.7'de N1, N2, N3 ve N4 numunelerine ait darbe test sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.7. Numunelerin darbe test sonuç grafiği.

Metallerin özellikle gevrek kırılmaya elverişli şartlardaki mekanik özellikleri hakkında doğru bilgi elde etmek amacıyla kullanılır. Uzama (%) değerleri yüksek olan bir metalin sünek olacağı, yani statik ve dinamik yüklemeler altında kırılmaya karşı daha dirençli olacağı tahmin edilebilir. Ancak, numuneler arasında karşılaştırma yapabilmek için darbe testi yapılmıştır. Numunelere uygulanan charpy darbe testi sonucunda elde edilen darbe direnci değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Bu verilere göre, sünek olduğundan dolayı en yüksek darbe direnci değeri standart numunede görülmüştür. 24 saat kriyojenik işlem görmüş N3 numunesi sementasyon işlemi görmüş N2 numunesiyle karşılaştırıldığında % 2’lik bir artışın yaşandığı görülmektedir. Bu durum uygulanan kriyojenik işlemin etkisi ile birlikte homojen bir yapının oluşmasıyla ilişkilendirilebilir [98], [99]. Kriyojenik işlemin bekletme süresinin artması makro-mikro sertlik ve çekme dayanımlarına orantılı olarak malzemenin darbe dirençlerinde de azalmaya neden olduğu görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda derin kriyojenik işlemin bekletme süresine bağlı olarak numunelerin darbe direncinde iyileşmeler sağladığı bilinmektedir [100], [101], [102]. Dhokey ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, kriyojenik işlemin etkisiyle malzemenin sertlik ve darbe enerjisi değerlerinin birbirleriyle orantılı olarak arttığını belirtmiştir [27].

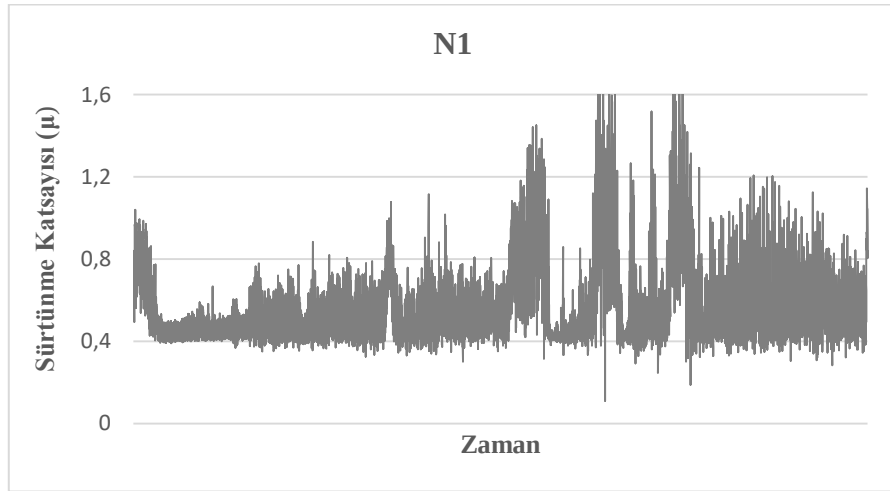
4.4. AŞINMA TESTİ BULGULARI

Numunelere 10 N ve 20 N yük altında uygulanan aşınma testlerin sonuçları incelenmiştir. Çizelge 4.1’de numunelere ait ortalama sürtünme katsayısı tablosu verilmiştir.

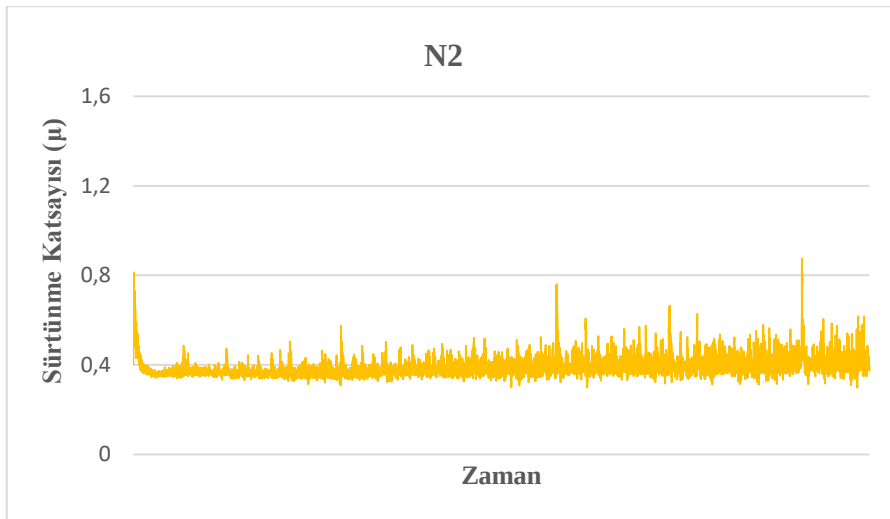
Çizelge 4.1. 10 N ve 20 N yük altında aşınma testi ortalama sürtünme katsayıları (μ).

	N1	N2	N3	N4
10 N	0,553	0,381	0,459	0,427
20 N	1,080	0,787	0,878	0,835

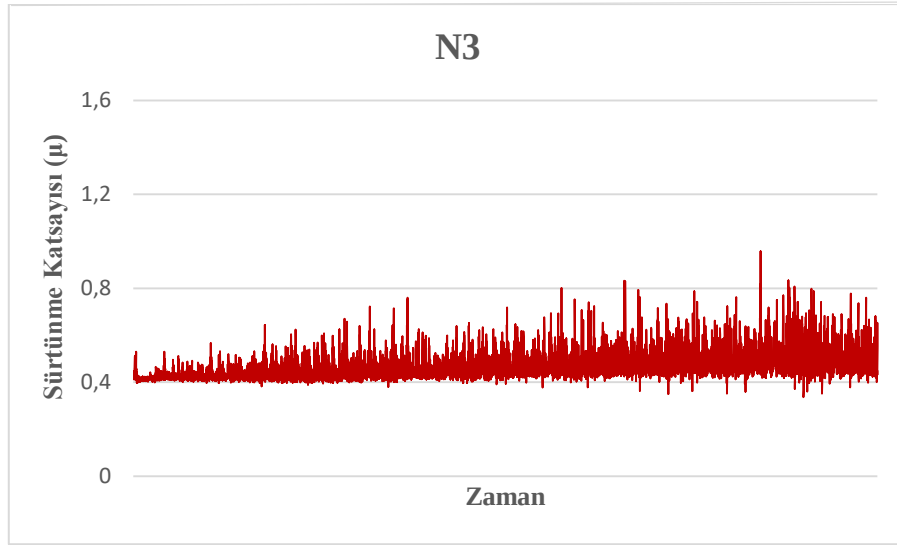
Numunelere 10 N yük altında uygulanan aşınma testlerinin sonuçları grafik haline dönüştürülmüştür. Şekil 4.8’de N1 numunesine ait, Şekil 4.9’da N2, Şekil 4.10’da N3, Şekil 4.11’de N4 ve Şekil 4.12’de dört numuneye ait sürtünme katsayısı-zaman grafikleri verilmiştir.



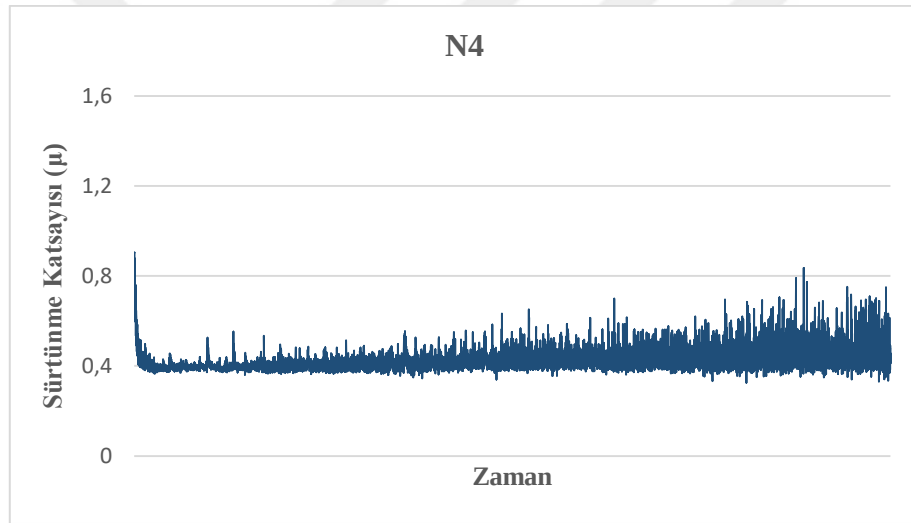
Şekil 4.8. N1 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.



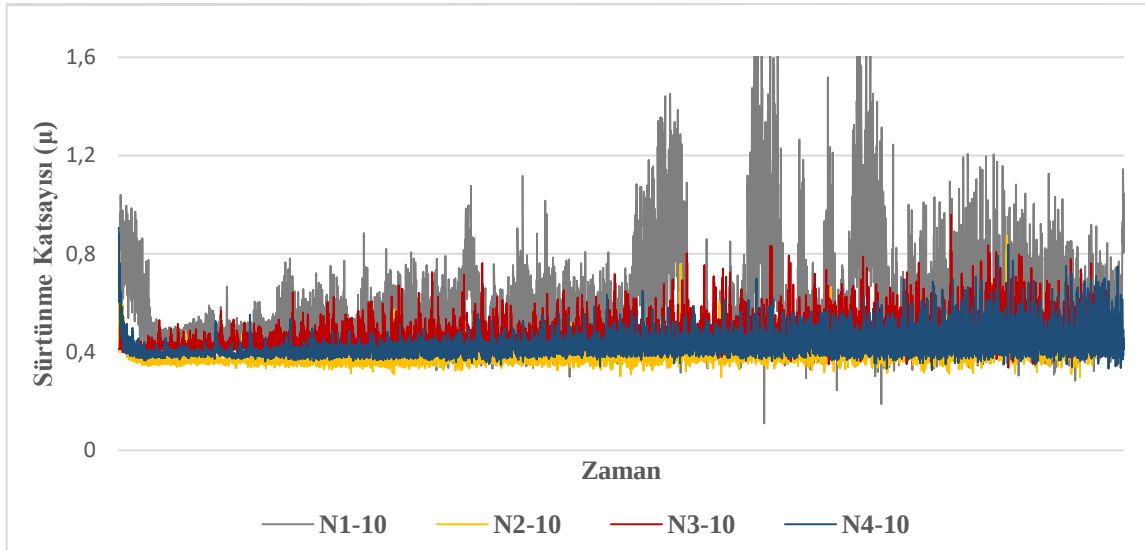
Şekil 4.9. N2 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.



Şekil 4.10. N3 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.



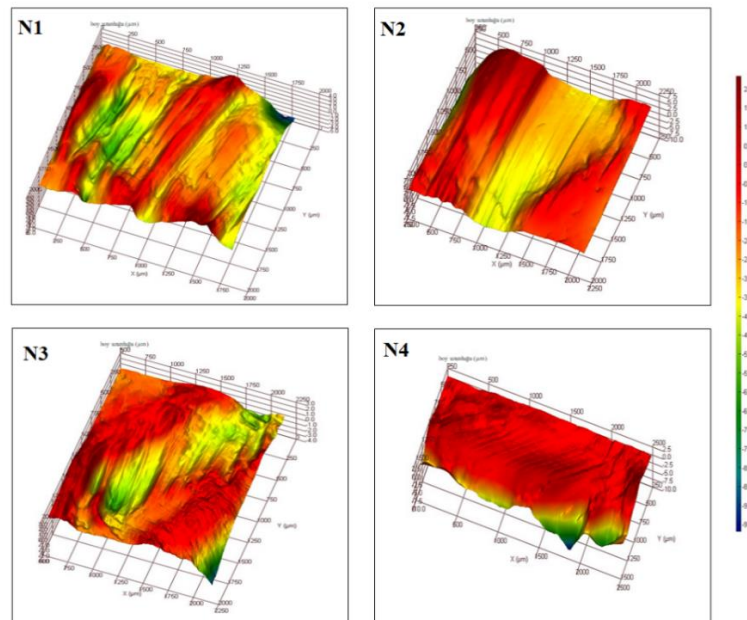
Şekil 4.11. N4 numunesine 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.



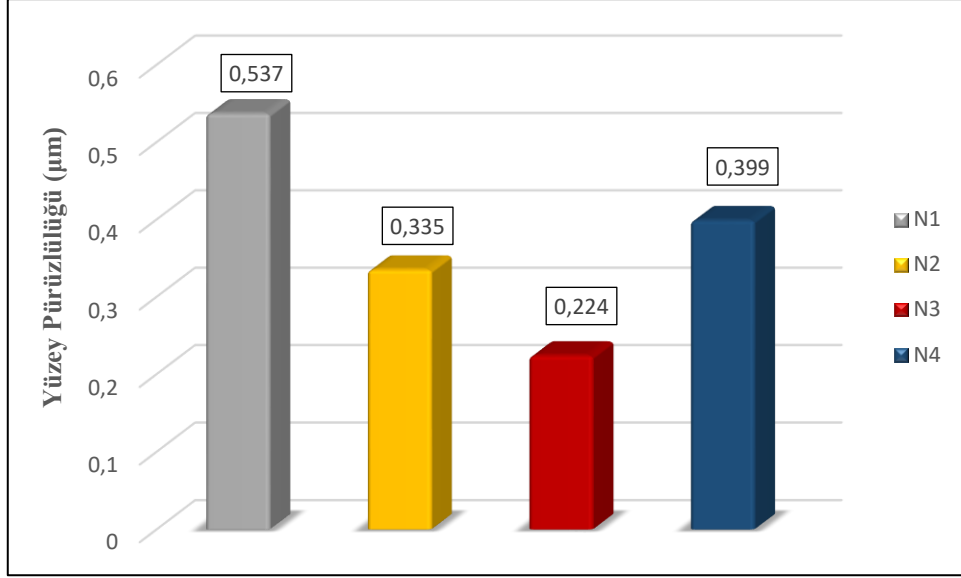
Şekil 4.12. Numunelere 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.

Numunelere 10 N yük altında uygulanan aşınma test grafiklerine bakıldığında Şekil 4.8’de işlem görmemiş N1 numunesinin başlangıç anında sürtünme katsayısı değerinin yüksek olduğu ardından düşüşe geçtiği ve zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.9’daki N2 numunesine ait grafik incelendiğinde başlangıç anında yüksek sürtünme katsayısı değerinin görüldüğü zamana bağlı olarak düşüş eğiliminin yaşandığı, kayma mesafesi ve zamana bağlı olarak eğilimin artışa geçtiği görülmüştür. Şekil 4.10’daki N3 numunesinin grafiği incelendiğinde başlangıç anından itibaren sürtünme katsayısı değerinin zamana bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.11’deki N4 numunesinin grafiği incelendiğinde N2 numunesine ait grafik ile aynı eğilimin yaşandığı görülmüştür. Dört numuneye ait Şekil 4.12’deki grafiği bakıldığında sarı renkli sementasyon işlemi uygulanmış N2 numunesinin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değerleri kriyojenik işlem uygulanmış numunelere göre daha düşük eğilimde stabil olarak ilerlediği görülmektedir. Çizelge 4.1’deki 10N altında aşınma testi verilerini incelediğimizde, 24 saat bekletmeli derin kriyojenik işlem uygulanmış numunenin sementasyon işlemi uygulanmış numuneye göre sürtünme katsayısı değerinde % 20’lik bir artış yaşanmıştır.

Numunelere 10 N yük altında uygulanan testlerin sonrasında yüzeylerde oluşan aşınmaların optik profilometre ile üç boyutlu görüntüleri alınmış ve aşınan yüzeylerin pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Numunelerin 10 N yük altında aşınan yüzeylerin üç boyutlu görüntüleri Şekil 4.13’te ve yüzeylerinde oluşan izlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.14’te verilmiştir.



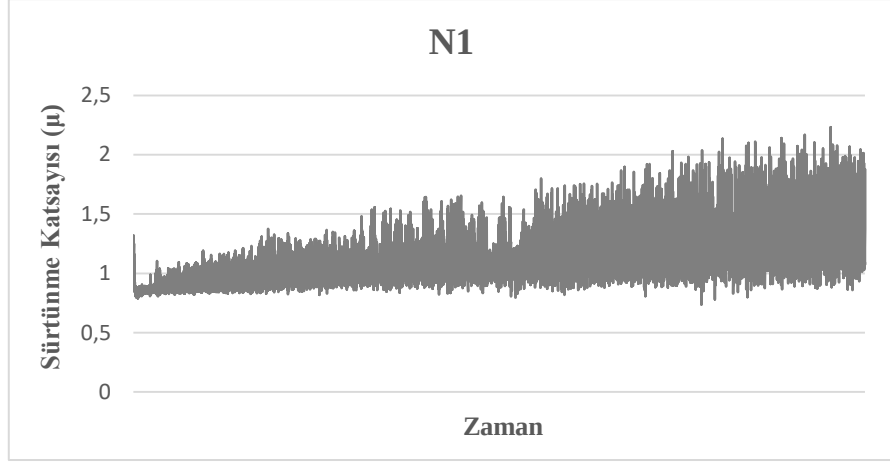
Şekil 4.13. Numunelerin 10 N yük altında aşınan yüzeylerinin üç boyutlu görüntüsü.



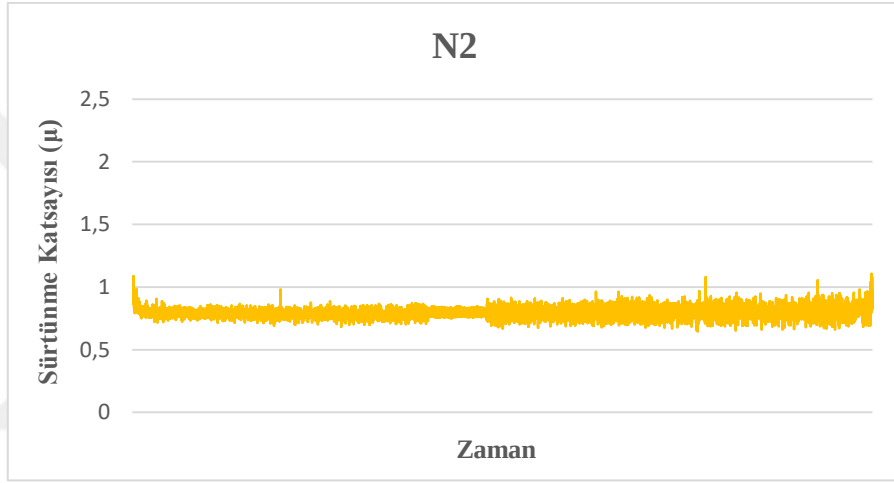
Şekil 4.14. Numunelerin 10 N yük altında yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 incelendiğinde en fazla aşınmanın sürtünme katsayı ve yüzey pürüzlülüğü değeri en yüksek olan N1 numunesinde olduğu anlaşılmaktadır. İşlem uygulanmış numunelere bakıldığında 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış N3 numunesinin sürtünme katsayısı değeri sertlik değerleriyle orantılı olarak N2 ve N4 numunelerinden daha yüksek olmasına rağmen yüzey pürüzlülüğü değerinin ters orantılı olarak en düşük değerde olduğu görülmektedir. Sertlik değerinin daha yüksek olması nedeniyle en az aşınma oranının N3 numunesinde olduğu görülmüştür. Dhokey ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kriyojenik işlemin AISI 8620 ve D3 çeliklerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu doğrultuda yaptıkları sertlik ve aşınma testleri sonucunda kriyojenik işlemin etkisi ile her iki çeliğin sertlik değerlerinde artış, aşınma oranlarında ise azalma yaşandığını belirtmişlerdir [27].

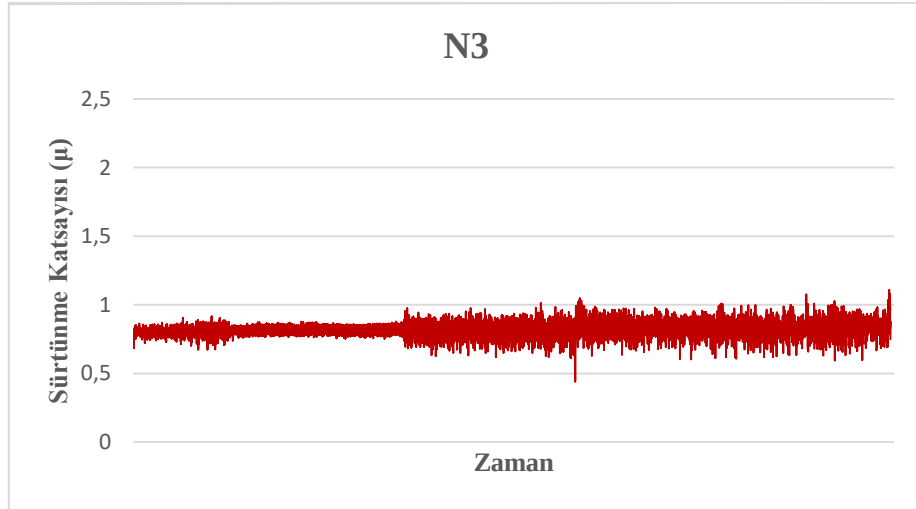
Numunelere 20 N yük altında uygulanan aşınma testlerinin sonuçları grafik haline dönüştürülmüştür. Şekil 4.15'te N1 numunesine ait, Şekil 4.16'da N2, Şekil 4.17'de N3, Şekil 4.18'de N4 ve Şekil 4.19'da ise dört numuneye ait sürtünme katsayısı-zaman grafikleri verilmiştir.



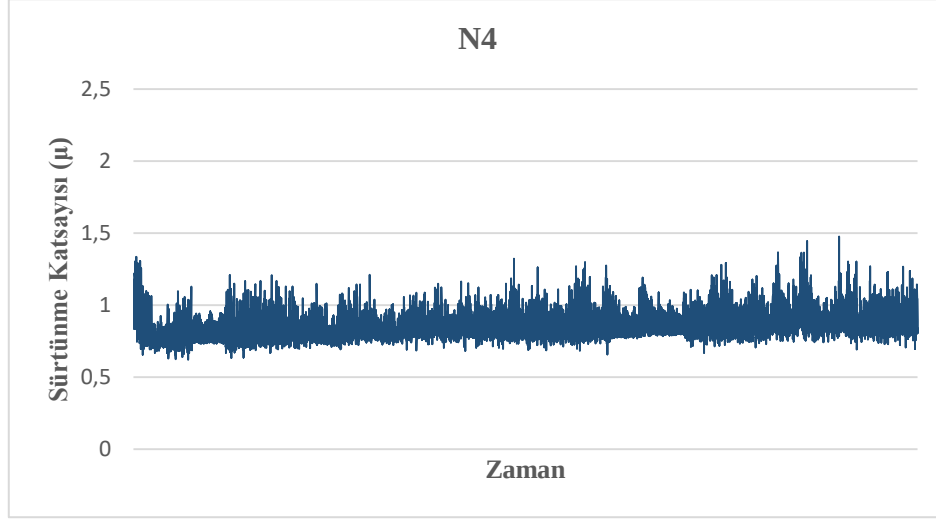
Şekil 4.15. N1 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.



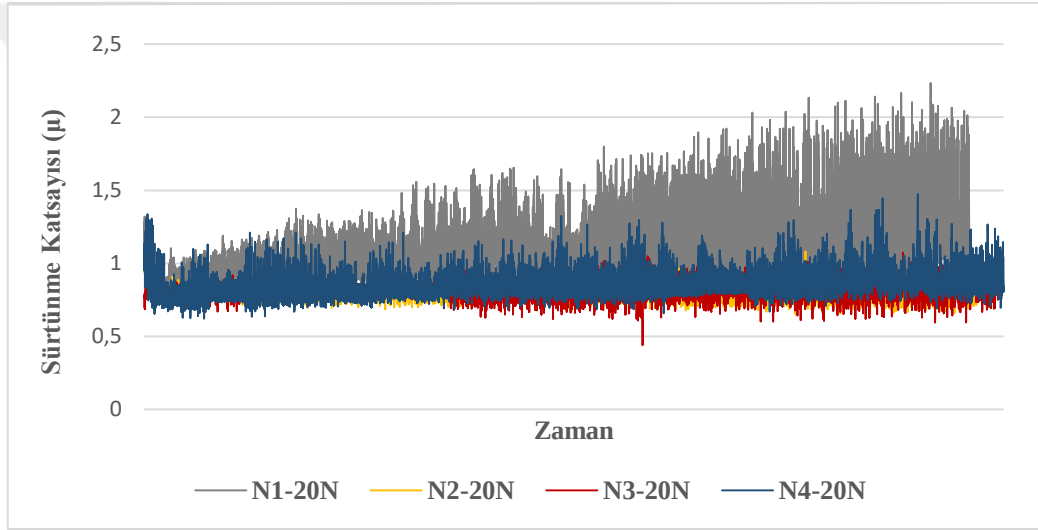
Şekil 4.16. N2 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.



Şekil 4.17. N3 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği



Şekil 4.18. N4 numunesine 20 N yük altında uygulanan aşınma test grafiği.

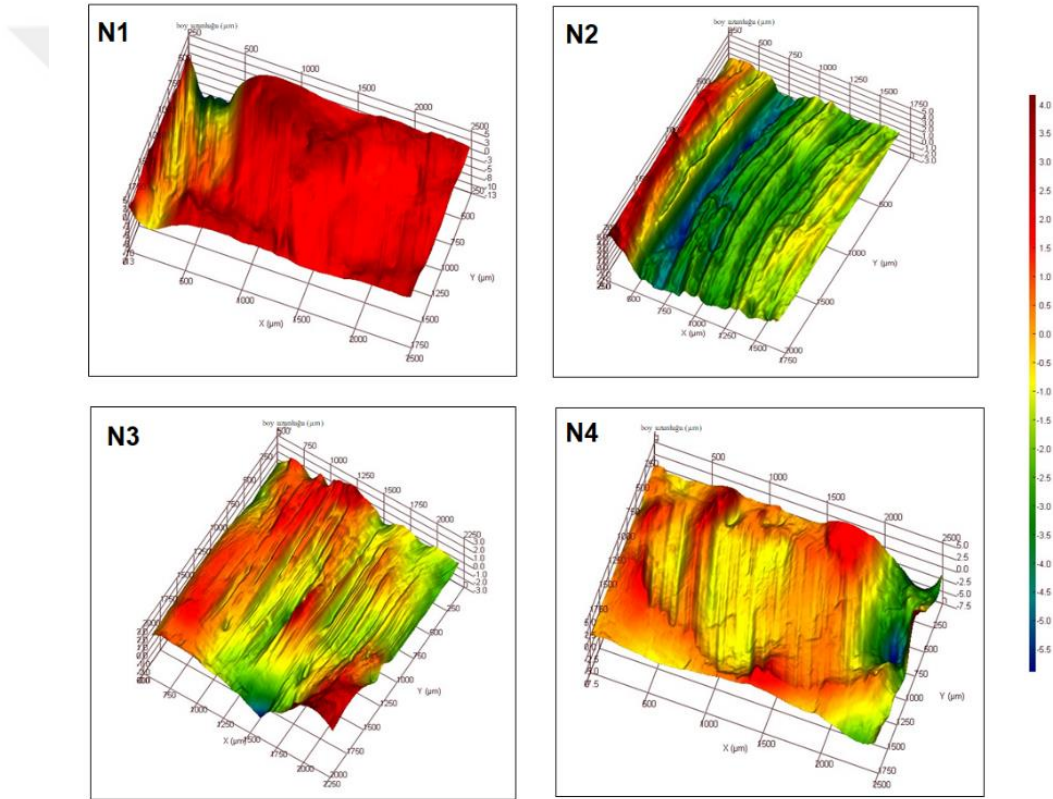


Şekil 4.19. Numunelere 20 N altında uygulanan aşınma test grafiği.

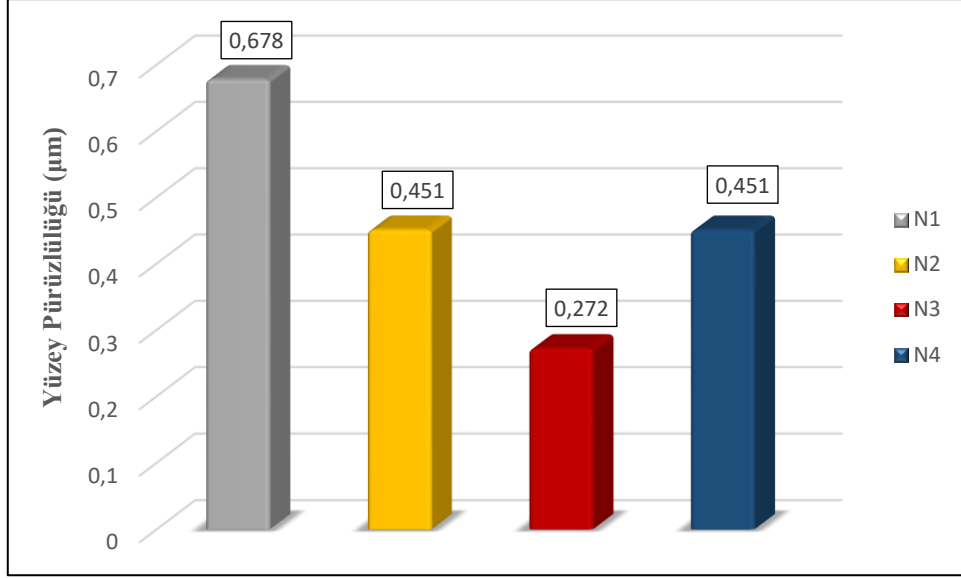
Numunelere 20N yük altında uygulanan aşınma test grafiklerine bakıldığında, Şekil 4.15'te işlem görmemiş N1 numunesi zamana bağlı olarak sürtünme katsayısının artarak ilerlediği görülmektedir. Şekil 4.16'daki N2 numunesine ait grafik incelendiğinde başlangıç anından itibaren sürtünme katsayısının stabil olarak ilerlediği görülmektedir. Şekil 4.17'deki N3 numunesinin grafiği incelendiğinde N2 numunesine benzer olarak başlangıçtan itibaren stabil olarak ilerlemesinin ardından zaman bağlı olarak sürtünme katsayısında artış eğiliminin yaşandığı görülmüştür. Şekil 4.18'deki N4 numunesinin grafiği incelendiğinde sürtünme katsayısı değerinin başlangıç anından itibaren artarak ilerlediği zamana bağlı olarak eğilimin başlangıç anındaki değerlere azaldığı görülmektedir. Dört numuneye ait Şekil 4.19'daki grafiği bakıldığında sementasyon ve temperleme işlemi görmüş N2 numunesinin sürtünme katsayısı diğer numunelere göre

daha düşük eğilimde ve stabil olarak ilerlediği görülmektedir. Başlangıç ve bitiş zaman dilimlerinde en yüksek değer N4 numunesinde olduğu görülmektedir. Çizelge 4.1'deki 20 N yük altında aşınma testi verilerini incelendiğinde, 24 saat bekletmeli derin kriyojenik işlem uygulanmış numunenin sementasyon işlemi uygulanmış numuneye göre sürtünme katsayısı değerinde % 12'lik bir artış yaşanmıştır.

Numunelere 20 N yük altında uygulanan testlerin sonrasında yüzeylerde oluşan aşınmaların optik profilometre ile üç boyutlu görüntüleri alınmış ve aşınan yüzeylerin pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Numunelerin 20 N yük altında aşınan yüzeylerin üç boyutlu görüntüleri Şekil 4.20'de ve yüzeylerinde oluşan izlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Şekil 4.14'de verilmiştir



Şekil 4.20. Numunelerin 20 N yük altında aşınan yüzeylerinin üç boyutlu görüntüsü.



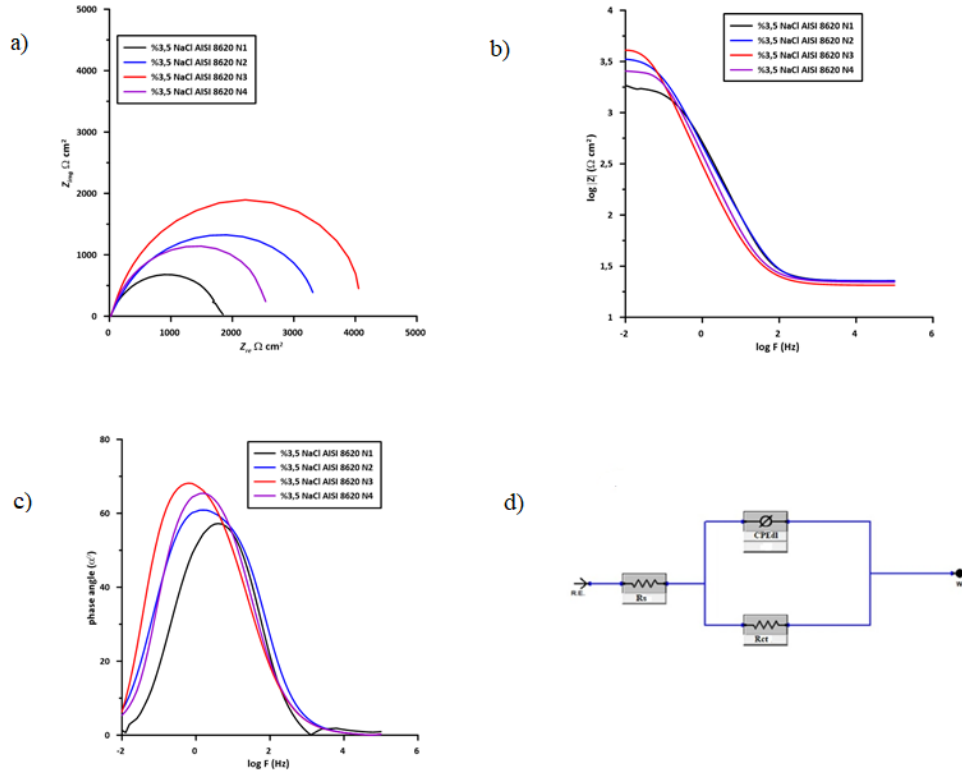
Şekil 4.21. Numunelerin 20 N yük altında yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 incelendiğinde Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te olduğu gibi en fazla tahribata uğrayanın işlem görmemiş N1 numunesi, en az tahribata uğrayanın ise 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış N3 numunesinin olduğu görülmektedir. Ghosh ve Dhokey yaptıkları çalışmada kriyojenik işlemin AISI 8620 sementasyon çeliğinin aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak kriyojenik işlemin etkisi ile 44 HRC de en yüksek sertlik değerine sahip numunenin daha az aşınmaya uğradığını belirtmişlerdir [25]. Elde edilen verilerin literatür ile örtüştüğü gözlenmiştir.

4.5. KOROZYON TESTİ BULGULARI

4.5.1. EIS Bulguları

EIS yöntemi analizi çalışma elektrotu ile çözelti arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucu oluşan elektriksel parametreler hesaplanmaktadır. Şekil 4.22’de EIS analizleri sonucunda elde edilen veriler sırasıyla nyquist, bode ve angle grafikleri şeklinde sunulmuştur. Bu grafiklerin elde edilmesinde kullanılan elektriksel devre R(QR) Şekil 4.22 d’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. EIS Nyquist (a), Bode (b), Angle (c) ve R(QR) devresi (d).

R(QR) devresindeki ilk R (Direnç); çözelti direncini (R_s), ikinci R ise yük transfer direncini (R_{ct}) ifade etmektedir. Sabit faz elemanı, kusurlu bir kapasitör olan çift katmanın davranışını modelleyen eşdeğer bir elektrik devre bileşenidir ve “Q” ile gösterilir. “Q” değeri; eşdeğer devre modellemesinde ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi verilerinin uydurmasında da kullanılır [103]. Elde edilen tüm elektriksel parametreler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. EIS yöntemi sonunda elde edilen elektriksel parametreler

Ortam	R_s	Q	n_{layer}	R_{ct}
	Ω	P ($\mu F/cm^2$)	$0 \leq n \leq 1$	$\Omega \cdot cm^2$
N1	22,59	292,55	0,78	1806,63
N2	22,40	465,80	0,81	3467,20
N3	21,10	668,50	0,83	4706,95
N4	22,41	322,30	0,80	2770,23

R_s değerinin tüm numuneler için yaklaşık olarak aynı değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durum, çözeltilerin hep aynı standartlarda hazırlandığını göstermektedir.

Sementasyon, kriyojenik işlem ve temperleme işlemleri yapılmayan N1 numunesinin R_{ct} değerinin $1807 \Omega.cm^2$ ile diğer çeşitli işlemler yapılan numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Sementasyon ve temperleme işlemi yapılan N2 numunesinin R_{ct} değeri $3467,20 \Omega.cm^2$ 'dir. Bu sonuç işlem yapılmayan numuneyle karşılaştırıldığında N2 numunesinin korozyon direncinde % 47,9 düzeyinde bir artış olmuştur.

Sırasıyla 24 ve 36 saat bekletmeli derin kriyojenik işlem gören N3 ve N4 numunelerinin R_{ct} değerlerindeki artış, uygulanan derin kriyojenik işlemin bekletme süresiyle orantılı olmadığı görülmüştür. 24 saat kriyojenik işlem yapılan N3 numunesinin R_{ct} değeri ($4706 \Omega.cm^2$) 36 saat kriyojenik işlem yapılan numunenin (N4) R_{ct} değerlerinden daha fazladır.

Oda sıcaklığına kadar yapılan geleneksel soğutmayla çelik numunelerin içyapısında yüksek oranda kalıntı östenit olarak bilinen metastabil faz oluşmaktadır. Östenit fazını gidermek için uygulanması gereken en etkin yöntem geleneksel soğutmanın ardından kriyojenik işlemin uygulanmasıdır [104]. Kriyojenik işlem uygulanan N3 ve N4 numunelerinin; EIS yöntemi ile elde edilen Q ve yüzey pürüzlüğü değerleri (n) de R_{ct} değerleri ile aynı oranda değişmektedir. Kriyojenik işlemle en yüksek R_{ct} değerine sahip olan N3 numunesinin n değeri 0,83 iken, 36 saat kriyojenik işlem yapılan N4 numunesinin n değeri 0,80 düşmüştür. Yani N4 numunesi N3 numunesine göre daha çok korozyona uğradığı için yüzeyi daha çok bozulmuştur.

Kriyojenik işlemle çeşitli çelik alaşımların ömrünü artırmak ve aşınmaları azaltmak istenmektedir [105]. Ancak kriyojenik işlemin metallerin korozyona uğrama hızında artışa da neden olduğuna dair çalışmalar bulunmaktadır [106].

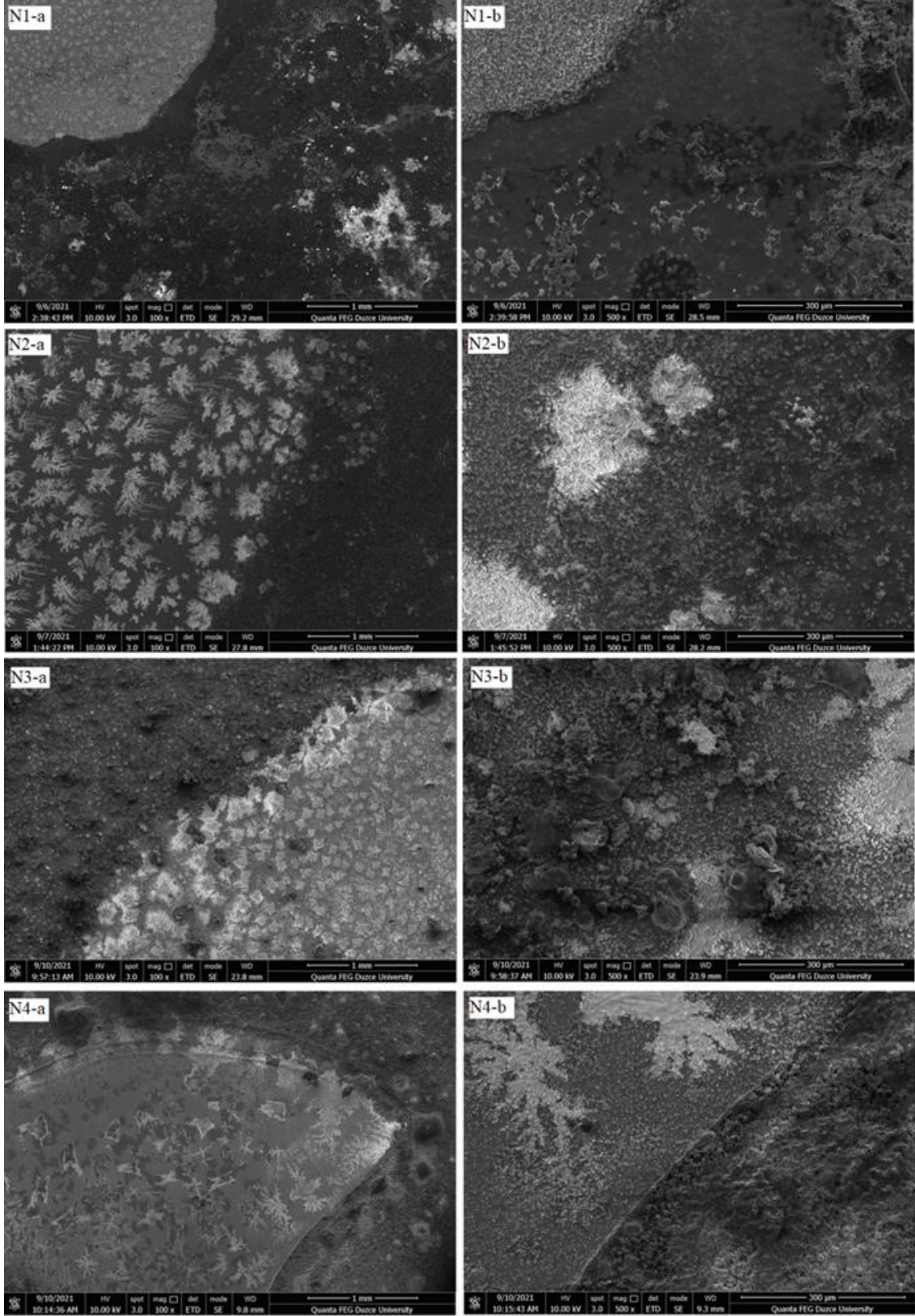
Şekil 4.22 b ve c'de Bode ve Angle diyagramları verilmiştir. Bu diyagramlarda görülen tam yarı dairesel olmama durumu Nyquist diyagramını desteklemektedir [107], [108]. Nyquist, Bode ve Angle diyagramlarında bir kapasitif lup oluştuğu görülmektedir [109] Bu durum metalin çözelti içerisinde korozyon direncinin yük transfer direnci ile kontrol edildiğini göstermektedir [110]. Sementasyon, kriyojenik işlem ve temperleme işlemleri yapılmayan N1 numunesinin Bode eğrisine bakıldığında $\log|Z|$ değeri $3,26 \Omega.cm^2$, faz açısını gösteren angle diyagramı ise $56,84^\circ$ 'yi göstermektedir. Sementasyon ve temperleme yapılan N2 numunesinin Bode eğrisine bakıldığında $\log|Z|$ değeri $3,55 \Omega.cm^2$, faz açısını gösteren Angle diyagramı ise $64,88^\circ$ 'yi göstermektedir. Sementasyon ve temperleme işlemi sayesinde numunenin Bode ve Angle değerlerindeki artış korozyon direncindeki artış ile doğru orantılı olarak bulunmuştur. Sırasıyla 24 ve 36 saat kriyojenik

işlem yapılan N3 ve N4 numunelerinin Bode eğrisi $\log|Z|$ değerleri $3,61 \Omega.cm^2$, $3,37 \Omega.cm^2$ 'dir. Angle değerleri ise sırasıyla, $68,15^\circ$ ve $60,43^\circ$ 'dir. Uygulanan kriyojenik işlem süresi ile Bode ve Angle değerleri orantılı olarak artmamaktadır. Fakat en yüksek değer 24 saat kriyojenik işlem yapılan N3 numunesinde görülmüştür. Bu durum Nyquist diyagramı ile Bode ve Angle diyagramlarının benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir.

4.5.2. SEM-EDS Bulguları

Niteliksel analizlere ait bulguları doğrulamak amacıyla SEM yöntemi ile metal yüzeyinde oluşan korozyon ürünlerinin daha ayrıntılı incelemesi yapılmıştır. Şekil 4.23'de korozyon deneyleri sonrasında numunelere ait 100x ve 500x büyütmelede elde edilen SEM görüntüleri yer almaktadır.





Şekil 4.23. Korozyon testi sonrası numunelerin SEM görüntüleri; a) X100, b) X200.

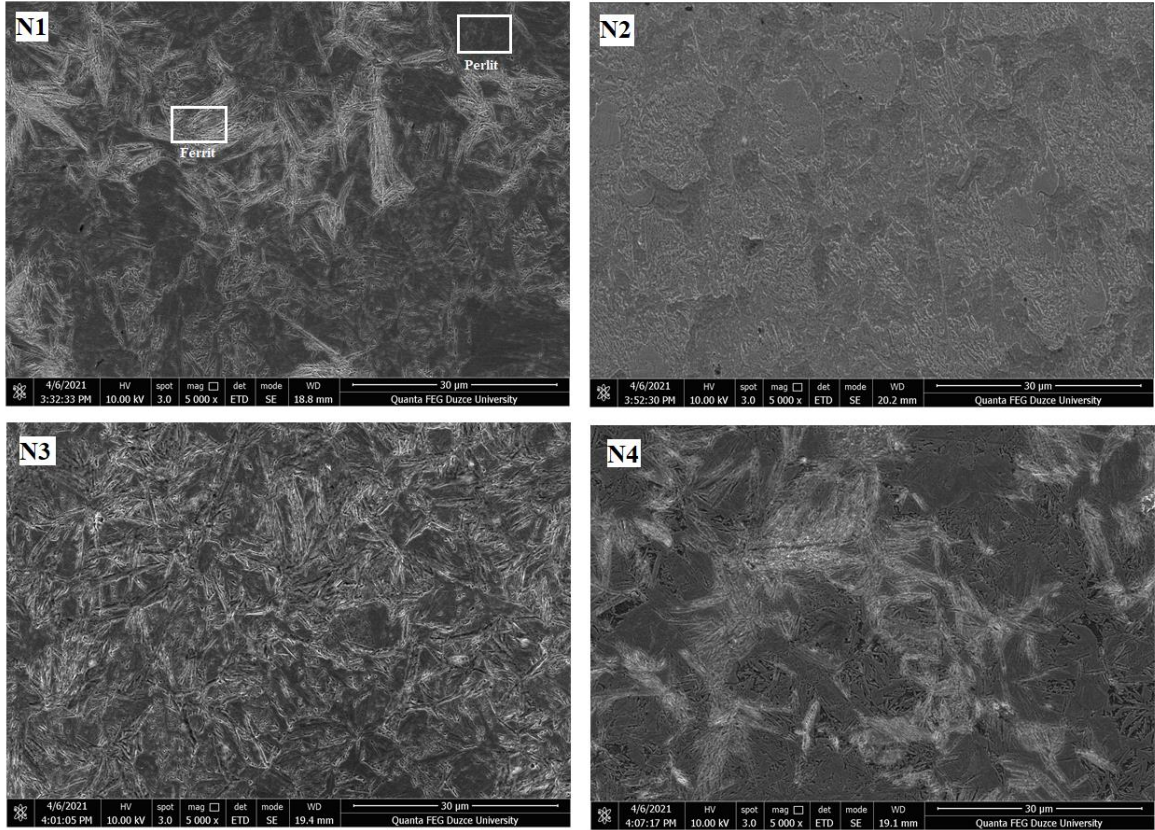
EIS deneyleri sonrasında referans numune (N1) ve ısıt ışılem uygulanan metallerin (N2, N3 ve N4) yüzeylerinde oksit tabakanın oluşumu gözlenmiştir. Numunelere uygulanan sementasyon, kriyojenik ve temperleme işlemleri sonrasında AISI 8620 metaline ait yüzey görüntülerinde önemli bir değışiklik olmadığı görülmüştür. Ayrıca kimyasal bileşimlerine göre çeşitli korozyon ürünlerinin varlığını belirlemek amacıyla tamamlayıcı teknik olan EDS yöntemi kullanılmıştır. EDS yöntemi sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.3'te verilmiştir. EDS analizinde görülen sodyum ve klor deneyin yapıldığı ortamdan kaynaklanmaktadır. EDS verilerine göre N1 numunesinin yüzeyinde oksijen (% 20,54), demir (% 59,03) ve mangan (% 0,94) tespit edilmiştir. Numunelere ısıt ışılem uygulanması ile bu elementlere ait oranların referans numuneye kıyasla azaldığı belirlenmiştir. EDS sonuçlarına göre N1 numunesinde oksijen, demir ve mangan oranının daha yüksek değerde olması yüzeyin daha çok demir-oksit veya mangan-oksit tabaka ile kaplandığını dolayısıyla daha fazla korozyon olduğunu ifade etmektedir. Sementasyon, kriyojenik ve temperleme gibi işlemler yapılan N2, N3 ve N4 numunelerinin EDS analizinde referans alınan diğerelementlerin (karbon, silisyum, fosfor, molibden, krom, nikel) oranlarında belirgin bir değışim tespit edilmemiştir.

Çizelge 4.3. EIS testleri sonrası EDS analiz sonuçları.

Element (Wt %)	N1	N2	N3	N4
C	1,67	1,28	1,14	1,37
O	20,54	14,32	14,41	14,56
Na	5,62	14,62	16,22	16,59
Si	0,27	0,22	0,19	0,20
P	0,07	0	0,14	0,16
Mo	0,72	0,67	0,15	0,65
Cl	10,09	10,54	11,07	10,38
Cr	0,55	0,52	0,58	0,47
Mn	0,94	0,77	0,75	0,65
Fe	59,03	56,28	55,03	54,58
Ni	0,50	0,78	0,32	0,39

4.6. MİKROYAPI BULGULARI

Farklı parametrelerde ısıt işlemler görmüş numunelerle, ısıt işlem görmemiş numunelerin metalografik incelemeleri için yüzey pürüzlülükleri giderilmiş ve % 2 nital dağlayıcı ile dağlanmış. Dağlanmış numunelerin taramalı elektron mikroskobu ile incelemeleri yapılmıştır. Numunelere uygulanan ısıt işlemler sonrası yapıdaki değişimlerin incelenmesi için mikroyapı görüntüleri alınmış ve Şekil 4.24'te X5000 büyütme olarak verilmiştir.



Şekil 4.24. Numunelerin X5000 büyütme SEM görüntüleri.

Numunelerin elektron mikroskobuyla X5000 büyütme mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, N1 numunesinde görülen beyaz bölgelerin ferrit, koyu bölgelerin ise perlit olduğu görülmektedir. Belirli bölgelerde yoğunluklu olarak ferrit fazlarının bir arada olduğu görülmektedir [111], [112], [113], [114].

Sementasyon görmüş N2 numunesinde yumuşak östenit ve martensitik bir yapının olduğu görülmektedir. Pekgöz ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, AISI 8620 çeliğine uyguladıkları sementasyon işleminin sertlik değerleri ve mikroyapıları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak sementasyon işlemin etki ile sertlik

değerlerinde artış, mikroyapıda genel olarak martenzitik bir yapı oluştuğunu görmüşlerdir [31]. Sementasyon işlemi sonrasında tamamlayıcı olarak uygulanan kriyojenik işlem ile N3 numunesinde içyapının ince martenzitik yapıya dönüştüğü ve homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Bu bağlamda homojen olarak dağılmış ince iğneli taneler sertlik değerini yükseltecek ve su verme işlemi sonucunda oluşan kalıntı östenit miktarını düşürecek, böylece sert ve tok bir yapı sağlanmış olacaktır [115], [116].

Kriyojenik işlem ile birlikte içyapıda bulunun yumuşak östenit fazının sert yapıya sahip martenzit fazına dönüşümünün ardından martenzitin kriyojenik sıcaklıkta uzun bekletme sürelerinde tutulması, dislokasyonlara ve kristal kusurları oluşturan iç gerilmelere neden olur [117], [118]. Bu bağlamda kriyojenik sıcaklıkta bekletme süresinin artması N4 numunesinde görüldüğü üzere martenzitin doygunluğunu artırarak belli bölgelerde yoğunluklu olarak toplanıp küme oluşumuna neden olacaktır [119]. Bu nedenle numunelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan AISI 8620 sementasyon çeliklerine uygulanan farklı ısıtım işlem metotlarının mekanik özellikleri, korozyon dirençleri ve mikroyapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dört farklı kategoride sınıflandırılan test numunelerine, makro-mikro sertlik, çekme, darbe, aşınma, korozyon testleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Alınan test sonuçlarının analizleri yapılarak birbirleri ile karşılaştırılmış, sonuçlar ve öneriler bu bölümde verilmiştir.

5.1. SONUÇLAR

Sertlik test sonuçlarında, en iyi mikro-makro sertlik değerinin 24 saat kriyojenik işlem görmüş numunede olduğu görülmüştür.

Çekme test sonuçlarında, en iyi çekme - kopma dayanımı değerleri ve en az uzama değerinin 24 saat kriyojenik işlem görmüş numunede olduğu görülmüştür.

Darbe test sonuçlarında, en iyi darbe direnç değeri 24 saat kriyojenik işlem görmüş numunede olduğu gözlenmiştir.

10 N ve 20 N yük altında uygulanan aşınma test sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, tüm numuneler arasında en düşük sürtünme katsayısının sadece sementasyon işlemi uygulanmış numunede olduğu görülmüştür.

10 N ve 20 N yük altında uygulanan aşınma testi ortalama sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında 24 saat bekletmeli kriyojenik işlem uygulanmış numunenin sementasyon işlemi uygulanmış numuneye göre sürtünme katsayısı değerinde sırasıyla % 20 ve % 12'lik bir artış yaşanmıştır.

10 N ve 20 N yük altındaki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre 24 saat bekletmeli kriyojenik işlem uygulanmış numunenin sadece sementasyon işlemi uygulanmış numuneye göre sırasıyla % 33 ve % 39'luk bir azalma yaşanmıştır.

Korozyona karşı en duyarlı numunenin, standart numune olduğu, EIS yöntemi ile hesaplanan R_{ct} ($1806,63 \Omega.cm^2$) değerinden anlaşılmaktadır. Korozyona en az uğrayan numunenin ise 24 saat kriyojenik işlem görmüş numune ($4706,95 \Omega.cm^2$) olduğu tespit edilmiştir.

Farklı bekletme süreli (24 ve 36 saat) kriyojenik işlem yapmanın, doğru orantılı olacak şekilde direkt olarak korozyon mekanizmasına olumlu etkisi görülmemiştir. Ancak, 36 saat kriyojenik işlem yapılan numunenin R_{ct} değeri $2770,23 \Omega.cm^2$ olarak bulunmuştur. Bu değer 24 saat kriyojenik işlem yapılan numuneye ait değere kıyasla yaklaşık % 25 daha düşüktür.

Tüm numunelerin yüzeyinde oluşan siyah oksit filmin ağırlıklı olarak magnetite (Fe_3O_4) yapısında olabileceği EDS verilerinden öngörülmektedir.

EIS yöntemi ile elde edilen sonuçlar, SEM ve EDS verilerini desteklemektedir.

SEM analizine göre 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede içyapının ince martenzitik yapıya dönüştüğü ve homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir. Kriyojenik işlemin kristal yapıyı etkileyerek mekanik özellikleri iyileştirmede önemli bir etken olduğu anlaşılmıştır. Ancak bekletme süresinin doğru orantılı olacak şekilde artırmanın mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir.

Sonuç olarak, 24 saat bekletme süreli kriyojenik işlemin bu malzemenin mekanik özelliklerini, korozyon direncini ve mikroyapısını iyileştirmede optimum bekletme süresi olduğu anlaşılmıştır.

5.2. ÖNERİLER

Kriyojenik işlemin 36 saat bekletme süresinde mekanik özellikleri geliştirmediği görülmüş, 24 saat üzerinde bekletme yapılmayabilir.

Sığ ve derin kriyojenik işlem prosesleri uygulanarak bu malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenebilir.

Temperleme işlemi sıcaklığı ve süreleri değiştirilerek bu malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenebilir.

Kriyojenik işlem uygulanmış AISI 8620 çeliğinin işlenebilirliği ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

Aşınma testinde, uygulanan kuvvet ve dönüş hızı değerleri artırılarak sürtünme katsayısına etkisi değerlendirilebilir.

Korozyon testinde, numune sayısı artırılarak zamana bağlı elektrokimyasal parametrelerin ölçülebildiği Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS)

yöntemi kullanılarak, AISI 8620 çeliğinin korozyon mekanizmasına sementasyon, temperleme ve kriyojenik işlemin etkisinin incelenebilir.



6. KAYNAKLAR

- [1] Ş. Ekinci, A. Akdemir, “Nitrürlenmiş AISI 4140 çeliğine uygulanan yükün aşınma hızına etkisi”, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergisi*, c. 10, sayı 1, ss. 38-52, 2011.
- [2] S. Ulu, H. Aytekin ve G. Said, “4 Farklı çeliğin bazı mekanik özelliklerine Fe-Fe₃C faz diyagramında A1-A3 arasında yapılan ısıt işlemlerin etkisi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2, ss. 1-9, 2006.
- [3] U. Özsera, R. Yılmaz, F. A. Ekerer ve H. Uzun, “Sementasyon işlemi yapılan çeliklerde mikro sertlik ve mikroyapı değişiminin incelenmesi”, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, c.127, ss. 34–38, 2012.
- [4] A. Ç. Can ve M. Yüksel, “Sementasyonla sertleştirilen parçalar için çelik ve boyut seçimi”, *Metalurji*, sayı 66, ss. 42-46.
- [5] B. Uluğ, M. Baydoğan, E. S. Kayalı ve H. Çimenoglu, “Semente edilmiş 8620 kalite çeliğin özelliklerine sıfırlı işlemin etkisi”, 4. *Demir Çelik Kongresi*, 2007.
- [6] D. Senthilkumar, I. Rajendran, M. Pellizzari ve J. Siiriainen, “Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 211, ss. 396-401, 2011.
- [7] Technical Transfer Dispatch, *ULSAB-AVC Body Structure Materials*, 2001.
- [8] O. Asi, “Sementasyon yapılan SAE 8620 çeliğinde meydana gelen kalıntı östenit miktarlarının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 17, sayı 4, ss. 103-113, 2004.
- [9] S. Paul ve A.B. Chattopadhyay, “Determination and control of grinding zone temperature under cryogenic cooling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, c. 36, sayı 4, ss. 491-501, 1996.
- [10] P. Baldissera ve C. Delprete, “Effects of deep cryogenic treatment on static mechanical properties of 18NiCrMo5 carburized steel”, *Materials & Design*, c. 30, sayı 5, ss. 1435- 1440, 2009.
- [11] A. Bensely, A. Prabhakaran, D. Mohan Lal ve G. Nagarajan, “Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment”, *Cryogenics*, c. 45, sayı 12, ss. 747-754, 2005.
- [12] A. Bensely, L. Shyamala, S. Harish, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, K. Junik ve A. Rajadurai, “Fatigue behaviour and fracture mechanism of cryogenically treated En 353 steel”, *Materials & Design*, c. 30, sayı 8, ss. 2955-2962, 2009.
- [13] P. Baldissera, “Fatigue scatter reduction through deep cryogenic treatment on the 18NiCrMo5 carburized steel”, *Materials & Design*, c. 30, sayı 9, ss. 3636-3642, 2009.
- [14] V. Firouzdar, E. Nejati and F. Khomamizadeh, “Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 206, sayı 1-3, ss. 467-472, 2008.

- [15] M. Subaşı, F. Kafkas ve Ç. Karataş, “AISI 4140 çeliğinde sertlik ve kalıntı gerilme ilişkisi”, 2. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 2010, ss. 211- 220.
- [16] Z. Demirkaya, “Sementasyon yapılan SAE 8620 kalite çeliğe kriyojenik soğutma uygulaması yapılarak kalıntı gerilmelerinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [17] A. H. Falah, M. A. Alfares ve A. H. Elkholy, “Failure investigation of a tie rod end of an automobile steering system”, *Engineering Failure Analysis*, c. 14, sayı 5, ss. 895–902, 2007.
- [18] İ. Yeğen ve M. Usta, “The effect of salt bath cementation on mechanical behavior of hot-rolled and cold-drawn SAE 8620 and 16MnCr5 steels”, *Vacuum*, c. 85, sayı 3, ss. 390-396, 2010.
- [19] M. Erdogan ve S. Tekeli, “The effect of martensite volume fraction and particle size on the tensile properties of a surface-carburized AISI 8620 steel with a dual-phase core microstructure”, *Materials Characterization*, c. 49, sayı. 5, ss. 445–454, 2002.
- [20] S. Roy ve S. Sundararajan, “The effect of heat treatment routes on the retained austenite and tribomechanical properties of carburized AISI 8620 steel”, *Surface and Coatings Technology*, c. 308, ss. 236–243, 2016.
- [21] D. Das ve K. K. Ray, “Structure–property correlation of sub-zero treated AISI D2 steel”, *Materials Science and Engineering: A*, c. 541, ss. 45– 60, 2012.
- [22] K. G. Thirugnanasambantham “Mechanistic studies on degradation in sliding wear behavior of carburized AISI 8620 steel at 100 °C under unlubricated conditions”, *Materials Today: Proceedings*, c.5, sayı 2, ss. 6258–6267, 2018.
- [23] K. Krishnakumar ve A. Selvakumar, “Investigation on metallurgy and material strength enhancement of 20MnCr5 forged link chain in cement mill”, *World Review of Science, Technology and Sustainable Development (WRSTSD)*, c.17, sayı 2-3, ss. 197-210, 2021.
- [24] İ. Karagöz, “Hardness change due to carburization time and material thickness during heat treatment of SAE 8620 (21NiCrMo2) plates”, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, c. 6, sayı 3, ss. 748-754, 2019.
- [25] P. Ghosh ve N. B. Dhokey, “Optimization of cryosoaking period and microstructural transformation on wear mechanism of SAE 8620 gear steel”, *Tribology Transactions*, c. 60, sayı 6, ss. 1070-1077, 2017.
- [26] P. Ghosh ve N. B. Dhokey, “Refinement of tempered martensite structure and its effect on wear mechanism in SAE 8620”, *Tribology - Materials, Surfaces & Interfaces*, c. 10, sayı 4, ss. 178-184, 2016.
- [27] N. B. Dhokey, A. R. Hâke, V. T. Thavale, R. Gite ve R. Batheja, “Microstructure and mechanical properties of cryotreated SAE 8620 and D3 steels”, *Current Advances in Materials Sciences Research (CAMSR)*, c. 1, sayı 1, ss. 23-37, 2014.
- [28] Massachusetts Institute of Technology Department of Mechanical Engineering Cambridge, “Heat treatment of plain carbon and low alloy steels: effects on macroscopic mechanical properties”, *Mechanics and Materials II Spring 2004 Laboratory Module No. 5*, 2009.

- [29] S. Ulu, “DIN17CrNiMo6 çeliğinin mikroyapı özelliklerine kritik sıcaklıklar arası ısıtma işlemlerinin etkisi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, ss. 79–88, 2009.
- [30] M. A. Topbaş, *Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı*, İstanbul, Türkiye: Prestij Yayıncılık, 1998, ss. 134-168.
- [31] B. Pekgöz, S. Sarıdemir, İ. Uygur ve Y. Arslan, “The effects of carburisation process on the hardness values and microstructure for steels”, *Electronic Journal of Machine Technologies*, c.10, sayı 1, ss. 19-24, 2013.
- [32] Voestalpine Steel Division, *Hot-dip galvanized steel strip*, 2017.
- [33] Asil Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Kalite Belgesi/Quality certificate, Rapor no:103012, 1s. 2019.
- [34] Asil Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Kalite Belgesi/Quality certificate, Rapor no:103243, 1s. 2019.
- [35] Aydınlar Mak. Met. LTD. ŞTİ. Kalite Belgesi/Mill Test Certificate, Rapor no:83816, 1s. 2016.
- [36] E. Kesti, “Ç-4140 çeliğinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [37] M. Kam, “Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [38] Anonim, (2021, 15 Mayıs). [Online]. Erişim: <http://kalitemetalurji.com.tr/urunlerimiz/sementasyon-cesitleri/8620-sementasyon-celigi/>
- [39] G. Krauss, “Steels: heat treatment and processing principles”, *American Society for Metals International*, 1990, ss. 497.
- [40] A. Ç. Can ve M. Yüksel, “Sementasyonla sertleştirilen parçalar için çelik ve boyut seçimi”, *Metalürji*, c. 66, ss. 42-46.
- [41] G. Parrish, “Carburizing: microstructures and properties, *American Society for Metals International*, 1999.
- [42] W. V. Sciver, *Helium Cryogenics*, New York, USA: Plenum Press, 1986, ss. 7-9.
- [43] O. Asi ve A. Ç. Can, “Sementasyon çeliklerinde körsertleştirilmiş ve sementasyon yapılmış durumlarda meydana gelen artı gerilmelerin karşılaştırılması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 2, ss. 183-187, 2001
- [44] T. Kivak, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti-6AL-4V alaşımının delinebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması”, Doktora tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi Ankara, 2012.
- [45] J. D. Fuerst, “Cryotreatment”, *Panacea or Black Magic*, 1996.
- [46] M. Kam ve H. Saruhan, “Derin kriyojenik işlemin farklı bekletme sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) çeliğin mekanik özelliklerine etkisi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, sayı 3, ss. 553-564, 2018.

- [47] Anonim, (2021, 10 Ağustos). [Online]. Erişim: [http://en.wikipedia.org/ Cryogenics](http://en.wikipedia.org/Cryogenics)
- [48] T. M. Robenson, H.O Heymann ve E. J. Swift, *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry*, 5. Baskı, Ostim; Ankara, 2011, c. 5, ss. 138-49.
- [49] E. G. Dieter ve D. Bacon, *Mechanical Metallurgy: SI Metric Edition*, London, UK: McGraw-Hill Book Company, 1988, ss. 325-333.
- [50] N. A. A. Alkılanı, "Prediction of tensile mechanical properties of TIN-BISMUTH alloys by vickers hardness test", Master's Thesis, Manufacturing Engineering, Institute of Science, Atilim University, Istanbul, Turkey, 2018.
- [51] V. Türel, "Restoratif dental materyallerin yüzey mekanik özellikleri", *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, c. 11, ss. 77-82, 2015.
- [52] A. H. Tedric, "Rolling bearing analysis", *John Willey and Sons, Inc*, c. 4, ss. 6-7, 2001.
- [53] L. Sidjanin, D. Rajnovic, J. Ranogajec ve E. Molnar, "Measurement of vickers hardness on ceramic floor tiles", *Journal of the European Ceramic Society*, c. 27, ss. 1767-1773, 2007.
- [54] K. Palaniradja, N. Alagumurthi ve V. Soundararajan, "Residual stresses in case hardened materials", *The Open Materials Science Journal*, c. 4, sayı 1, ss. 92-102, 2010.
- [55] J. Schey, "Introduction to manufacturing processes", *McGraw-Hill Book Co*, ss. 230, 1987.
- [56] Anonim, (2021, 20 Eylül). [Online]. Erişim: <https://imalusulleri.com/gerilim-gerinim-egrisi/>
- [57] T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, İstanbul, Türkiye: Derya Kitabevi, 1999.
- [58] E. Karadeniz, "Çeliklerde dövülebilirliğin burma, basma ve çekme deneyleriyle incelemesi", Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1997.
- [59] E. Akın, "Çentikli çekme deneyinin sonlu eleman yöntemi ile incelenmesi", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2006.
- [60] A. Kaya, "SAE 5120 ve 8620 çeliklere uygulanan sementasyon işleminin mikroyapı ve sertlik değişimlerine etkisinin araştırılması", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2015.
- [61] Anonim, (2021, 2 Ekim). [Online]. Erişim: <https://cdn.bartın.edu.tr/makine/darbedeneyleri>
- [62] A. Çanakçı, Çentik Darbe Deneyi Föyü, *Ders Notları*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2020.
- [63] M. Albayrak ve M. O. Kaman, "Charpy darbe testinin deneysel ve sayısal analizi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 10, sayı 3, ss. 945-957, 2019.
- [64] Anonim, Metalik Malzemelerin Darbe Deney, *Ders Notları*, Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2019.

- [65] R. L. Kobrick, "Characterization ve measurement standardization of lunar dust abrasion for spacecraft design and operations", PhD thesis, Department of Space sciences, University of Colorado, Colorado, United States of America, 2010.
- [66] B. Bhushan, *Modern Tribology Handbook*, Florida, ABD: Chemical Rubber Company Press, 2000.
- [67] M. Akkurt, *Makina Elemanları ve Konstrüksiyonu Kürsüsü*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 1986, c. 2, ss. 418.
- [68] G. W. Stachowiak ve A. W. Batchelor, *Engineering Tribology*, Tribology Series, Elsevier, 1993, c. 24
- [69] G. W. Stachowiak ve A. W. Batchelor, *Engineering Tribology* 3. baskı, Butterworth-Heinemann, 2005.
- [70] D. Boynueyri, "PVD yöntemi ile ince kaplanmış kesici takımların mikro ölçekli aşınma dayanımlarının belirlenmesi", Yüksek lisans tezi, Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2019.
- [71] M. S. Gök, "Taneleri inceltirilmiş mangan ıslah çeliğinin aşınma davranışlarının araştırılması", Yüksek lisans tezi, Metalürji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2001.
- [72] K. C. Ludema, *Friction, Wear, Lubrication, A Textbook in Tribology*, Florida, ABD: Chemical Rubber Company Press. 1996.
- [73] Z. G. Karl-Heinz ve J. A. Williams, *Microstructure and Wear of Materials*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1987, c. 10.
- [74] S. Özel, "Cu-Sn-Zn-Al bronz alaşımlı yüzeyine ferromangan kaplamasının aşınma direncine etkisinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek lisans tezi, Metalürji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2004.
- [75] Anonim, (2021, 15 Ekim). [Online]. Erişim: <http://www.dubit.duzce.edu.tr/5862-sayfa-tasarimprototipleme-ve-test-laboratuvarı>
- [76] H. Erge, "Kaynaklı 5086-H32 alüminyum alaışımının korozyon ve korozyonlu yorulma davranışlarına ultrasonik darbe işleminin etkisi", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2021.
- [77] M. Doruk, *Metalik Malzemeler ve Korozyon*, Ankara, Türkiye: Korozyon Derneği Yayını, 2014.
- [78] H. Yalçın ve T. Koç, *Mühendisler İçin Korozyon*, Ankara, Türkiye: Korozyon Derneği Yayını, 2014.
- [79] S. Üneri, *Korozyon ve Önlenmesi*, Ankara, Türkiye: Korozyon Derneği Yayını, 2011.
- [80] M. Doruk, *Korozyon ve Önlenmesi*, Ankara, Türkiye: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, 1982.
- [81] W. J. Qi, X. Qi, B. Sun, C. Wang, J. R. Jin ve R. G. Song, "Study on electrochemical corrosion of 7050 aluminum alloy", *Materials Performance*, c. 56, sayı 11, ss. 58-61, 2017.
- [82] H. Gerengi, Y. Koçak, M. Kurtay ve H. Durgun, "Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS)

- yöntemi ile incelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, sayı 2, ss. 0-0, 2016.
- [83] H. Gerengi, M. Kurtay ve H. Durgun, “Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatının 1 M HCl çözeltisi içerisindeki korozyonu”, *2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, ss. 221, 2015.
- [84] M. Erbil, *Korozyon-1*, Ankara, Türkiye: Segem Yayınları, 1984.
- [85] L. L. Shreir, *Corrosion: Corrosion Control*, Newnes, 2013, c. 2.
- [86] H. Yalçın ve T. Koç, *Mühendisler İçin Korozyon*, Ankara, Türkiye: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası Yayını, 1997.
- [87] H. Gerengi, C. Akcay, E. Ozgan ve I. Arslan, “Investigation on the corrosion of low carbon steel placed in asphalt concrete in 3.5% NaCl environment”, *Mehmet Akif Ersoy University, Journal of the Science and Technology*, ss. 5-11, 2012.
- [88] J. Ryl, J. Wysocka, M. Cieslik, H. Gerengi, T. Ossowski, S. Krakowiak ve P. Niedzialkowski, “Understanding the origin of high corrosion inhibition efficiency of bee products towards aluminium alloys in alkaline environments”, *Electrochimica Acta*, c. 304, ss. 263-274, 2019.
- [89] H. Gerengi, M. M. Solomon, E. Kaya, F. E. Bagci ve E. J. Abaib, “An evaluation of the anticorrosion effect of ethylene glycol for AA7075-T6 alloy in 3.5% NaCl solution”, *Measurement*, c. 116, ss. 264-272, 2018.
- [90] M. Rizvi, H. Gerengi, S. Kaya, I. Uygur, M. Yıldız, I. Sarioglu ve B. El Ibrahimi, “Sodium nitrite as a corrosion inhibitor of copper in simulated cooling water”, *Scientific Reports*, c. 11, sayı 1, ss. 1-16, 2021.
- [91] H. Gerengi, H. I. Uğraş ve M. Yıldız, “Bor katyonu içeren iyonik sıvıların 0.1 M HCl ortamında korozyon inhibitörü olarak kullanılması”, *Journal of Advanced Technology Sciences*, c. 6, sayı 1, ss. 11-12, 2017.
- [92] H. Gerengi, R. Cakmak, B. Dag, M. M. Solomon, H. A. Tuysuz ve E. Kaya, “Synthesis and anticorrosion studies of 4-[(2-nitroacetophenonylidene)-amino]-antipyrine on SAE 1012 carbon steel in 15 wt.% HCl solution”, *Journal of Adhesion Science and Technology*, c.34, sayı 22, ss. 2448–2466, 2020.
- [93] M. Abd Mutalib, M. A. Rahman, M. H. D. Othman, A.F. Ismail ve J. Jaafar, “Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy”, *Membrane Characterization*, ss. 161-179, 2017.
- [94] M. Koneshlou, K. Meshinchi ve F. Khomamizadeh, “Effect of cryogenic treatment on microstructure mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel”, *Cryogenics*, c. 51, sayı 1, ss. 55-61, 2011.
- [95] M. Kam ve U. Kabasakaloğlu, “Surface roughness analysis of cryo-treated and tempered steels in cylindrical grinding operation”, *Surface Review and Letters*, c. 28, sayı 11, ss. 2150107, 2021.
- [96] M. Kam, H. Saruhan, U. Kabasakaloğlu ve T. Guney, “Vibration damping capacity of a rotating shaft heat treated by various procedures”, *Materials Testing*, c. 63, sayı 10, ss. 966-969, 2021.
- [97] R. C. Özden ve M. Anık, “Effects of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of 52CrMoV4 steel”, *UDCS'19 Fourth International Iron and Steel Symposium*, 2019

- [98] D. Senthilkumar, I. Rajendran, M. Pellizzari ve J. Siirainen, "Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, c. 211, sayı 3, ss. 96-401, 2011.
- [99] K. Gu, H. Zhang, B. Zhao, J. Wang, Y. Zhou ve Z. Li, "Effect of cryogenic treatment and aging treatment on the tensile properties and microstructure of Ti-6Al-4V alloy", *Materials Science and Engineering: A*, c. 584, ss. 170-176, 2013.
- [100] O. Asi, A. Ç. Can, J. Pineault ve M. Blassel, "The relationship between case depth and bending fatigue strength of gas carburized SAE 8620 steel", *Surface & Coatings Technology*, c. 201, sayı 12, ss. 5979-5987, 2007.
- [101] S. Li, X. Yuan, W. Jiang, H. Sun, J. Li, K. Zhao ve M. Yang, "Effects of heat treatment influencing factors on microstructure and mechanical properties of a low-carbon martensitic stainless bearing steel", *Materials Science and Engineering: A*, c. 605, ss. 229-235, 2014.
- [102] M. Koneshlou, K. Meshinchi ve F. Khomamizadeh, "Effect of cryogenic treatment on microstructure mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel", *Cryogenics*, c. 51, sayı 1, ss. 55-61, 2011.
- [103] H. Gerengi, "Anticorrosive properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit juice on 7075 type aluminum alloy in %3,5 NaCl solution", *Industrial Engineering Chemistry Research*, c. 51, sayı 39, ss. 12835-12843, 2012.
- [104] Y. Arslan ve A. Özdemir, "Farklı sürelerde kriyojenik işlem uygulanmış AISI D3 soğuk iş takım çeliği zımbalarda aşınma davranışları ve takım ömrü", *Journal of Advanced Technology Sciences*, c. 2, sayı 3, ss. 87-99, 2013.
- [105] V. Firouzdor, E. Nejati ve F. Khomamizadeh, "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill", *Journal of Materials Processing Technology*, c. 206, sayı 1-3, ss. 467-472, 2008.
- [106] I. Uygur, H. Gerengi ve M. Kutay, "The effects of cryogenic treatment on the corrosion of AISI D3 steel", *Materials Research*, c. 18, sayı 3, ss. 569-574, 2015.
- [107] F. Wang ve J. Rick, "Synergy of nyquist and bode electrochemical impedance spectroscopy studies to commercial type lithium ion batteries", *Solid State Ionics*, c. 268, ss. 31-34, 2014.
- [108] M. M. Solomon, H. Gerengi, T. Kaya, E. Kaya ve S. A. Umoren, "Synergistic inhibition of St37 steel corrosion in 15% H₂SO₄ solution by chitosan and iodide ion additives", *Cellulose*, c. 24, sayı 2, ss. 931-950, 2017.
- [109] X. Jiang, W. Wang, B. Wang, L. Zhang, L. Yin, H. V. Bui, J. Xie, H. Lu and L. Deng, "Enhanced anti-corrosion ve microwave absorption performance with carbonyl iron modified by organic fluorinated chemicals", *Applied Surface Science*, c. 572, ss. 151320, 2022.
- [110] Y. Liu, X. Guo, D. Liu, Y. Wang, L. Hao, Y. Jin, H. Li ve Y. Wu, "Inhibition effect of sparteine isomers with different stereochemical conformations on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution", *Journal of Molecular Liquids*, c. 345, ss. 117833, 2022.
- [111] K. E. Thelning, *Çelik Isıl İşlemi-Befors El kitabı*, İstanbul, Türkiye: Hakan Ofset Yayınevi 1984, ss. 6-29.
- [112] K. E. Thelning, *Çelik Isıl İşlemi-Befors El kitabı*, İstanbul, Türkiye: Hakan Ofset

Yayınevi 1984, ss. 344-373.

- [113] H. J. Bargel ve G. Schulze, *Malzeme Bilgisi*, İzmit, TÜBİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, 1987, ss. 1-2.
- [114] H. J. Bargel ve G. Schulze, *Malzeme Bilgisi*, İzmit, TÜBİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, 1987, ss. 159-160.
- [115] N. B. Dhokey, A. Hake, S. Kadu, I. Bhoskar ve G. K. Dey, “Influence of cryoprocessing on mechanism of carbide development in cobalt-bearing high-speed steel (M35)”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, c. 4, sayı 3, ss. 1508 – 1516, 2014.
- [116] N. B. Dhokey ve J. V. Dandawate, “Study of wear stabilization in cryoprocessed cobalt-based high speed steel”, *Transactions of the Indian Institute Metals*, c. 65, sayı 4, ss. 405-412, 2012.
- [117] D. N. Collins, “Deep cryogenic treatment of tool steels: a review”, *Heat Treatment of Metals*, c. 2, ss. 40–42, 1996.
- [118] D. Yun, L. Xiaoping ve X. Hongshen, “Deep cryogenic treatment of high-speed steel and its mechanism”, *Heat Treatment of Metals*, c. 3, ss. 55–59, 1998.
- [119] J. Y. Huang, Y. T. Zhu, X. Z. Liao, I. J. Beyerlein, M. A Bourke ve T. E. Mitchell, “Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel”, *Materials Science and Engineering: A*, c. 339, ss. 241–244, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan GÜNEY

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Makine Mühendisliği	N. Erbakan Üniversitesi	2019
Lise	Makine Teknolojisi	Düzce Teknik Lisesi	2012

YAYINLAR

F. Güney ve M. Kam, “AISI 8620 çeliğinin mekanik özellikleri üzerinde kriyojenik işlemin etkisi üzerine bir değerlendirme”, 6. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, 2021, ss. 430-438.