



**ELEKTROT VE GAZ ALTI KAYNAĞI İLE
KAPLANMIŞ ST37 MALZEMESİNİN EROZİF
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Enes AĞAR

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU**

**ELEKTROT VE GAZ ALTI KAYNAĞI İLE KAPLANMIŞ ST37
MALZEMESİNİN EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Enes AĞAR

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Nisan 2023

Enes AĞAR tarafından hazırlanan “ELEKTROT VE GAZ ALTI KAYNAĞI İLE KAPLANMIŞ ST37 MALZEMESİNİN EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/04/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. M. Hüseyin ÇETİN (KTUN)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU (KBÜ)

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

Prof. Dr. Müslüm KUZU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Enes AĞAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROT VE GAZ ALTI KAYNAĞI İLE KAPLANMIŞ ST37 MALZEMESİNİN EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Enes AĞAR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU

Nisan 2023, 52 sayfa

Günümüzde kullanılan makine elemanlarının ve parçalarının hasara uğramasında ve kullanım ömürlerinin azalmasında erozif aşınma mekanizmasının önemli bir etkisi vardır. Yapılan bu çalışmada farklı parametrelerin erozif aşınma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Farklı çarpma hızları ve açılarında kaplamasız ve 2 farklı yüzey kaplama uygulanmış numunelerin aşınma davranışları incelenmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere kum su karışımı hazırlanmış ve sulu çamur erozif aşınma deney düzeneğinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Sıvı ortamında yer alan katı parçacıkların yüzeylere temas ederek malzemeyi aşınmaya uğrattığı mekanizma sulu çamur erozyonu olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada ortam konsantrasyonu %10 olarak belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Deneyler, 1,5 m/s, 3 m/s ve 4,5 m/s hız değerlerinde ve 15°, 30°, 45° partikül çarpma açılarında gerçekleştirilmiştir. Numune olarak belirlenen ST37 çeliğine gaz altı kaynak ve elektrot kaynak yöntemleri uygulanarak yüzeyleri kaplanmıştır. Aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla,

SEM'den (Taramalı Elektron Mikroskopi) elde edilen görüntüler ile yüzey morfolojisi incelenmiştir. Sabit ortam konsantrasyonunda tüm numunelerde çarpma açısı ve çarpma hızı arttıkça aşınma miktarının ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte yüzeyi kaplanan numunelerde sertliğin artması aşınma miktarını azaltmıştır.

Anahtar Sözcükler : Eroziyon aşınma, ST37, kaplama, gaz altı kaynağı, elektrot kaynağı,

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EROSIIVE WEAR BEHAVIOR OF ST37 MATERIAL COATED WITH ELECTRODE AND GAS WELDING

Enes AĞAR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Ahmet Emrah ERDOĞDU

April 2023, 52 pages

The erosive wear mechanism has an important effect on the damage and reduction of the service life of the machine elements and parts used today. In this study, the effects of different parameters on erosive wear were investigated. The wear behavior of the uncoated and 2 different surface coatings applied samples at different impact speeds and angles were investigated. Sand-water mixture was prepared to be used in the experiments and experiments were carried out in a slurry erosive wear test setup. The mechanism in which the solid materials in the liquid medium come into contact with the surfaces and exceed or spoil the material is concentrated as sludge erosion.. In the study, the concentration was determined as 10% and kept constant. The experiments were carried out at 1.5 m/s, 3 m/s and 4.5 m/s velocities and particle impact angles of 15°, 30° and 45°. The surfaces of ST37 steel, which was determined as a sample, were coated by applying gas metal arc welding and electrode welding methods. In order to better understand the wear mechanisms, the surfaces morphology was examined with

the images obtained from SEM (Scanning Electron Microscope). It was observed that the wear amount and surface roughness increased as the impact angle and impact speed increased in all samples at constant concentration. However, the increase in hardness of the surface coated samples decreased the amount of wear.

Keywords : Erosive wear, ST37, coating, gas metal arc welding, electrode welding.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmam sűresince öncelikle bu konuyu seçmemde bana yol gösteren ve birçok konuda yardımcı olan, saygıdeğer danıŐman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĖDU' ya, çalıŐmamın hayata geçmesinde sağladığı imkanlar sebebi ile Ergin DEMİRSOY' a,

Bu çalıŐmayı yapabilmem için benim kadar fedakârlık yapan, beni cesaretlendiren ve en zor zamanlarımda yanımda olan sevgili eŐim Yasemin DEMİRSOY AĞAR' a,

Son olarak bu mesleği seçmemde ve eğitim hayatımın başladığı günden itibaren maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen ve büyük emekleri olan babam Ramazan AĖAR ve annem Sema AĖAR' a űükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
AŞINMA MEKANİZMALARİ VE KAPLAMA TEKNİKLERİ.....	3
2.1. AŞINMA	3
2.1.1. Aşınmaya Etki Eden Etmenler	4
2.1.1.1. Sertlik.....	4
2.1.1.2. Malzeme Cinsi ve Özellikleri	4
2.1.1.3. Yüzey İşlemi	5
2.1.1.4. Pürüzlülük	5
2.1.1.5. Temas Geometrisi	5
2.1.1.6. Yağlama	5
2.1.1.7. Ortam	6
2.2. AŞINMA ÇEŞİTLERİ	6
2.2.1. Adhesif Aşınma	6
2.2.3. Abrasif Aşınma.....	7
2.2.4. Korozyon Aşınması	8
2.2.5. Yorulma Aşınması	9
2.2.6. Kavitasyon Aşınması	9

	<u>Sayfa</u>
2.2.7. Eroziyon Aşınma	10
2.3. KAPLAMALAR VE YÜZEY İŞLEMLERİ	11
2.4. ARK ESASLI YÜZEY MODİFİKASYON YÖNTEMLERİ.....	12
2.4.1. Gaz Tungsten Ark Kaynağı	12
2.4.2. Plazma Ark Kaynağı.....	13
2.4.3. Tozaltı Ark Kaynağı	14
2.4.4. Gaz Altı Ark Kaynağı.....	15
2.4.5. Elektrod Kaynağı.....	16
2.5. KAYNAK YÖNTEMLERİNE GÖRE YÜZEY KALİTELERİ.....	16
BÖLÜM 3	18
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	18
3.1. LİTERATÜR ÖZETİ	24
BÖLÜM 4	25
METARYAL METOT.....	25
4.1. MALZEME SEÇİMİ VE YÜZEY KAPLAMA	26
4.2. DENEY TASARIMI, PARAMETRELERİ VE SÜRECİ	28
4.3. REGRESYON ANALİZİ.....	31
BÖLÜM 5	32
DENEYSEL SONUÇLAR	32
5.1. SERTLİK ÖLÇÜMÜ	32
5.2. KÜTLE KAYBI	33
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	34
5.4. REGRESYON ANALİZLERİ	36
5.4.1. Kütle Kaybı İçin Regresyon Sonuçları.....	36
5.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü İçin Regresyon Sonuçları.....	37
5.5. AŞINMA YÜZEYLERİ.....	39
BÖLÜM 6	45
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
6.1. SONUÇLAR	45

	<u>Sayfa</u>
6.2. ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tribolojik sistemin şematik gösterimi	3
Şekil 2.2. Adhesif aşınmanın şematik gösterimi	7
Şekil 2.3. Abrazif aşınmanın şematik gösterimi	8
Şekil 2.4. a) İki gövdeli abrazif aşınma, b) Üç gövdeli abrazif aşınma	8
Şekil 2.5. GTA veya TIG kaynağının şematik gösterimi	13
Şekil 2.6. Plazma arkının şematik görünüşü	14
Şekil 2.7. Tozaltı kaynağının şematik görünüşü	15
Şekil 2.8. MIG / MAG Kaynak Metodunun Uygulaması	15
Şekil 4.1. Deney süreci akış diyagramı	25
Şekil 4.2. Saç plakadan kesilen malzemeler	27
Şekil 4.3. Deneyde kullanılacak numuneler	27
Şekil 4.4. Deney düzeneği ve elektrik motorlarının panosu	29
Şekil 4.5. Deneyde kullanılan kum	29
Şekil 4.6. a) Numunelerin tartıldığı hassas terazi, b) Aşındırıcı kumun tartıldığı hassas terazi	30
Şekil 4.7. Tutucuya bağlanmış numune	30
Şekil 5.1. Mikro sertlik ölçüm noktalarının numune üzerinde şematik gösterimi	32
Şekil 5.2. Numunelerin Ra yüzey pürüzlülük değerleri	35
Şekil 5.3. Numunelerin Rz yüzey pürüzlülük değerleri	36
Şekil 5.4. Kütle kaybı için lineer regresyon sonucu elde edilen normal olasılık grafikleri, a) Yüzey kaplamasız ST37 numunesi, b) Gaz altı kaynak kaplamalı numune, c) Elektrod kaynak kaplamalı numune	37
Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü için lineer regresyon sonucu elde edilen normal olasılık grafikleri, a) Yüzey kaplamasız ST37 numunesi, b) Gaz altı kaynak kaplamalı numune, c) Elektrod kaynak kaplamalı numune	39
Şekil 5.6. Farklı hızlarda sabit açı değerinde (15°) deneyleri gerçekleştirilen kaplamasız numunelerin 500X SEM görüntüleri, a) 1,5 m/s b) 3,0 m/s c) 4,5 m/s	40
Şekil 5.7. Farklı açı değerlerinde sabit hızlarda (1,5 m/s) deneyleri gerçekleştirilen kaplamasız numunelerin 500X SEM görüntüleri, a) 15°, b) 30°, c) 45° ...	41
Şekil 5.8. Sabit açı (15°), sabit hız (1,5 m/s) ve farklı yüzey kalitelerindeki numunelerin deneylerinden elde edilen 500X SEM görüntüleri, a) kaplamasız, b) gaz altı kaplama, c) elektrod kaplama	42

- Şekil 5.9. Sabit açı (45°), sabit hız (4,5 m/s) ve farklı yüzey kalitelerindeki numunelerin deneylerinden elde edilen 500X SEM görüntüleri, a) kaplamasız, b) gaz altı kaplama, c) elektrod kaplama. 43
- Şekil 5.10. Kaplamasız numuden alınan SEM görüntüsünde aşınma yönü, mikro çatlak, saplanmış parça, oksit tabakası, pulluklama ve krater bölgelerinin gösterimi 44
- Şekil 5.11. Kaplamalı numuden alınan SEM görüntüsünde aşınma yönü, mikro çatlak, oksit tabakası, pulluklama ve krater bölgelerinin gösterimi 44

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1. Elde edilen mikro sertlik değerleri.....	33
Tablo 5.2. Aşınma numunelerinden elde edilen kütle kaybı sonuçları.	34
Tablo 5.3. Deney Koşulları	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- α : Aşındırıcı çarpma açısı (°)
HT : Numune sertlik değeri (HV)
V : Aşındırıcı çarpma hızı (m/s)

KISALTMALAR

- AC : Alternatif Akım (Alternative Current)
AISI : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
ASTM : Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (American Society for Testing and Materials)
DC : Doğru Akım (Direct Current)
DIN : Alman Standartlar Enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
EDX : Enerji Dağıtıcı X-Işını Analizi (Energy Dispersive X-Ray Analysis)
HRc : Rockwell C Sertlik Testi (Rockwell C Hardness Test)
HV : Vickers Sertlik Testi (Vickers Hardness Test)
HVOF : Yüksek Hızda Oksi-Yakıt Püskürtme (High Velocity Oxygen Fuel)
ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG : Aktif Gaz Atmosferi Altında Kaynak (Metal Active Gas)
MIG : Soygaz Atmosferi Altında Kaynak (Metal Inert Gas)
OES : Optik Emisyon Spektrometresi (Optical Emission Spectroscopy)
PTA : Plazma Arkı Kaynağı (Plasma Transferred Arc)
PVD : Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapor Deposition)
SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TIG : Tungsten Asal Gaz Kaynağı (Tungsten Inert Gas)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Karşılıklı olarak birbirini etkileyen yüzeylerden, herhangi bir mekanik sebep ile oluşan malzeme kaybı mekanik problem olarak değerlendirilmektedir. Mevcutta bulunan mekanik enerjinin, yüzde otuzuna yakın kısmının mekanik kayıplarda harcandığını düşünürsek, aşınma ve sürtünmenin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Mekanik etkenlerden dolayı küçük ebatlarda taneciklerin tekrarlı olarak malzeme yüzeyinden koparak ayrılması ile meydana gelen, malzemede istenilmeyen değişikliklerin oluşmasına aşınma denir. Aşınma; farklı ortamlarda ve koşullarda kullanılan malzemenin ömür süresini önemli derecede azaltmakta ve ekonomik olarak büyük kayıplara neden olmaktadır [1,2].

Malzeme bilimciler, hızla değişen teknolojiyi takip edebilmek adına, sert, yeterli yüksek tokluğa, sürtünme ve aşınma direncine sahip yeni malzemeler geliştirme çabalarını arttırmışlardır. Ayrıca, işletme koşullarına bağlı olarak aşınma oranını tahmin etmeye yönelik stratejiler geliştirmek büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamdaki Ar-Ge çalışmaları oldukça önemlidir ve bu nedenle bu çalışmalara ayrılan bütçe miktarı da fazladır [3].

Malzeme yüzeyinin aşınmaya dayanıklı yapıda ve sert olması, alt tabakanınsa sünek ve yeterli mukavemette olması gereken durumlarda; tercihen yüzey sertleştirme ya da yüzey kaplama yöntemleri uygulanmaktadır. Alaşımız veya düşük alaşımda olan malzemelerin tribolojik özelliklerini geliştirebilmek için yüzey kaplama yöntemleri son zamanlarda araştırmacıların dikkatini çekmektedir [4-6].

Kaplama malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla öncelikle; sürtünmeye maruz kalan makine elemanlarında ortaya çıkan aşınma kaynaklı sorunları en aza indirmek ve metaller ile takım yüzeylerinin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan yüzey işlemleridir [7]. Yüzey kaplama süreci, kaynak tekniklerinden

yararlanılarak altık metalinden farklı özelliklere ve kimyasal bileşime sahip metal ya da alaşımlarının yüzey tabakasını yenilemek amacıyla yüzeye kaplanması olarak tanımlanmaktadır. Yüzey kaplama işlemleri, maruz kalınan darbeyi, çeşitli nedenlerle ortaya çıkan aşınmayı, malzeme de meydana gelebilecek erozyonu ve oyulmayı azaltmak bununla birlikte yüzeylerin sahip olduğu özellikleri iyileştirmek amacıyla hasar görmemiş parçalara uygulanabildiği gibi hasar gören parçaların onarımı içinde uygulanabilmektedir [8].

Sade karbonlu çelikler, hem kolay şekillendirilebilme yeteneğine sahip olması ve hemde maliyetsiz olması sebebiyle yapı çeliklerinde önemli bir yer tutar. St 37 çeliğinin yapısında bulundurduğu karbon miktarı çelik üretimi sırasında mekanik özelliklerin değişmesine sebep olmaktadır. ST37 çeliği sektörde bir çok alanda tercih edilmektedir, köprü yapımından, demir yollarına, elektrik direklerinden, kutu profillere kadar çok geniş kullanım alanı bulunmaktadır [9].

Sanayide çok sık kullanılan St 37 çeliğinin yüzey kaplama yöntemleri kullanılarak yüzeyinin kaplanması sonucundaki erozif aşınma davranışını incelenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmuştur. Gaz altı kaynağı ve elektrot kaynağı ile yüzeyine kaplama yapılan St37 çeliğinin erozif aşınma davranışının incelenmesi için sulu-çamur deney düzeneği kullanılmıştır. Ortam konsantrasyonunun sabit tutulduğu (%10) deneylerde, farklı çarpma açıları ve hız parametrelerinin numunelerin erozif aşınma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Numunelerin sertlikleri, deneyler neticesinde meydana gelen kütle kayıpları ve yüzey pürüzlülükleri belirlenerek aşınma performansları elde edilmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca, yüzey yapıları SEM ile görüntülenerek sonuçlar irdelenmiştir.

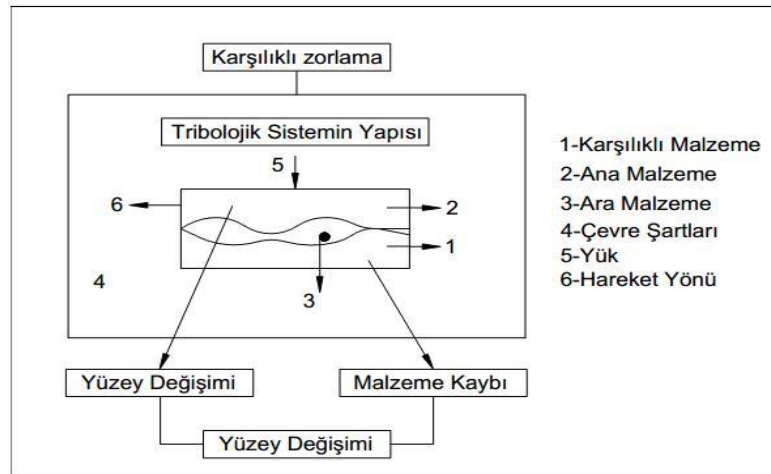
BÖLÜM 2

AŞINMA MEKANİZMALARI VE KAPLAMA TEKNİKLERİ

2.1. AŞINMA

Tanım anlamıyla aşınma, malzeme yüzeyine değen parçaların fiziksel, kimyasal ve mekanik etkileri nedeniyle, malzemeden küçük parça kopmaları sonucu oluşan malzeme kaybına denir. Ayrıca aşınma, malzemenin yüzeyine sıvı, gaz ve katıların teması neticesinde malzemenin yüzeyinden küçük parçaların ayrılmasıyla oluşan yüzey bozulması olarak tanımlanmaktadır. Yayınlanma tarihi 1979 olan Alman DIN 50320 standardına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin diğer malzemeler ile teması sonucunda mekanik etkiler ile beraber yüzeyden küçük parçaların ayrışması ile oluşan ve oluşması istenmeyen yüzey hasarlarıdır.” şeklinde açıklanmaktadır [10-12].

Aşınmanın meydana gelmesi için, malzeme yüzeylerinin birbirleri ile bağlantılı hareket etmesi, birbirine temasta bulunan malzemelerden enaz birinde mekanik etki yardımı ile malzeme kaybı oluşması, bu kaybın istenmeyerek olması gerekmektedir. Aşınma olayı “triboloji” olarak tanımlanan sistemde incelenmektedir [13]. Tribolojik sistem Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Tribolojik sistemin şematik gösterimi [13].

Tribolojik sistem birden fazla elemandan meydana gelmektedir. Bu elemanlar aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Karşı malzeme: Aşındıran malzemedir ve katı, sıvı ve gaz halinde olabilmektedir.
- Ara malzeme: Katı, sıvı ve gaz halinde veya tümünün karışımı halinde bulunan, aşınan ile aşındıran malzeme arasında bulunan malzemedir.
- Yük: Aşınma çiftinin temas alanını etkileyen önemli bir etkidir. Uygulanan yük artan ve azalan şekilde olabilirken titreşimli, darbeli, dinamik ve statik gibide olabilmektedir.
- Aşınan malzeme: Malzeme özelliklerini önceden belirleyip, aşınması istenen malzeme olup, her zaman katıdır.
- Çevre: Tribolojik sistemin içinde bulunduğu ortama denir.
- Hareket: Tribolojide temel ve karşı öğelerin birbirlerine göre yaptıkları bağıl harekete denilmektedir. Hareket şekli kayma yuvarlama, yuvarlanma, kayma veya çarpma şeklinde olabilmektedir [14].

2.1.1. Aşınmaya Etki Eden Etmenler

2.1.1.1. Sertlik

Malzemelerde diğer etkenler sabit tutularak aşınma miktarını azaltmak için sertliğin artırılması gerekmektedir. Aşınma direncine etkisi bulunan sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki belirli bir seviyeye kadar doğrusal olarak değişim göstermektedir. Aşınma direncinin artması için sertliğinde artması gerekmektedir. [15].

2.1.1.2. Malzeme Cinsi ve Özellikleri

Aşınmaya etki eden parametrelerin başında sertlik gelmektedir, bununla birlikte akma dayanımı, kırılma dayanımı, elastiklik modülü, mikro yapı, kimyasal bileşim ve kompozisyon gibi özelliklerde aşınma sürecinde önemli bir etkiye sahiptir. Karşılıklı etkileşim şeklinde çalışan parçaların aşınma dayanımını artırabilmek için çalışma

ortamı ve malzemelerin mekanik özelliklerini iyi bir şekilde değerlendirmek gerekmektedir. Doğru malzemelerin seçilmesi aşınma direnci için önem arz etmektedir [16,17].

2.1.1.3. Yüzey İşlemi

Birbirine temas ederek çalışan iki metal arasındaki sürtünme katsayısını ve tutunabilme özelliğinin, malzemede aşınmaya karşı iyi yönde etkide bulunabilmek için azaltılması gerekmektedir. Elektrokimyasal, kimyasal veya termo-kimyasal yöntemler kullanılarak malzeme yüzeyinde oluşturulacak tabaka ile aşınma direnci arttırılabilmektedir [17].

2.1.1.4. Pürüzlülük

Yüzeyin pürüzlülüğünün büyüklüğü ya da küçüklüğü, temas davranışını etkileyebileceğinden; aşınmada önem teşkil etmektedir. Yüzeylerin kaba olarak işlenmesi gerçek temas alanında azalmaya neden olacağından, yüzeyde tek bir pürüze gelen yük miktarının büyümesine buna bağlı olarak aşınmanın artış göstermesine neden olmaktadır [18].

2.1.1.5. Temas Geometrisi

Birbirine temas eden malzemelerin temas geometrisi aşınmasına da etkilemektedir. Örnek olarak, malzemede oluşan abrazyon aşınmasının azaltılabilmesi için aşınma artıklarının iki yüzey arasından daha kolay dışarı çıkması gerekmektedir. Aşınma sürecinde temas yüzeyi arttıkça aşınma zamana bağlı olarak artış gösterecektir [17].

2.1.1.6. Yağlama

Kolay uygulanabilir ve ekonomik de olması nedeniyle, aşınmaya karşı direnç sağlamak adına en fazla uygulanan yöntemdir. Sürtünen yüzeyler arasında yağlama işlemiyle metal-metal sürtünmesinin yerine sıvı-metal sürtünmesi oluşturulmaktadır.

Kullanılan yağlarda dikkate alınacak özellik yüksek sıcaklar dahil yağlama özelliğini uzun süre sağlayacak niteliği taşıyor olmasıdır [17].

2.1.1.7. Ortam

Ortam faktöründe aşınma miktarında etkilidir. Yüzeide koruyucu oksit tabakası atmosferde bulunan oksijen sayesinde oluşmaktadır. Ortamda soy gaz bulunduğunda oksit oranında azalma görülecektir. Azalan oksit tabakalarının koparılması sonucunda malzemede meydana gelecek metal-metal teması, aşınmanın oluşmasına sebebiyet verecektir. Atmosferde bulunan bağıl nem oranı aşınma olayını etkileyen diğeri bir etmendir ve bağıl nem oranı azaldıkça, aşınma miktarı artmaktadır. Aşınma miktarını artırmak için, aşınma alanında artan sıcaklık, plastik deformasyonu kolaylaştırdığı, yüzeyin sertliğini düşürdüğü ve oksidasyona yol açması gerekmektedir. Şiddetli aşınmada, yüzeyin özelliğini iyileştirdiği için artan ortam sıcaklığının aşınmaya katkısı pozitif şekilde olmaktadır [17,19].

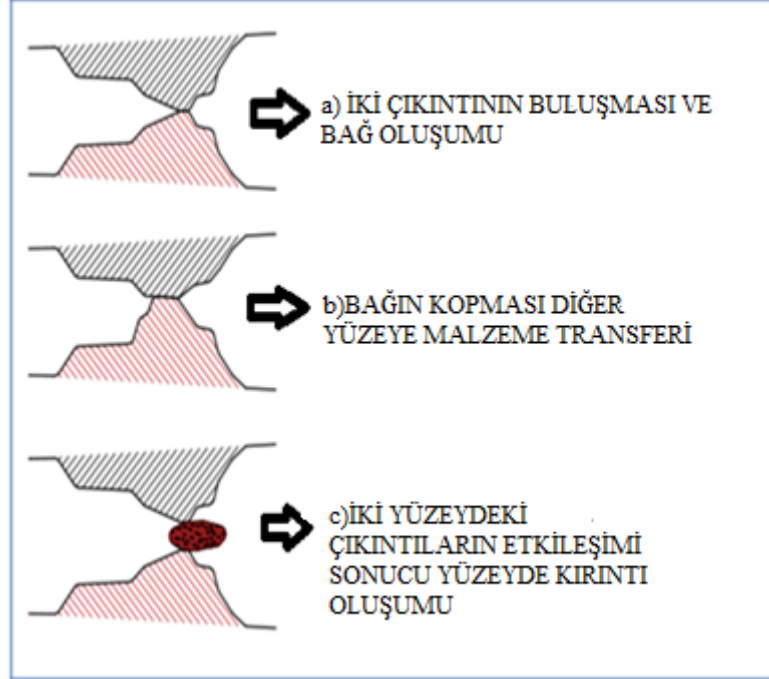
2.2. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

Aşınma, performansı etkileyen bir süreç olsa da tasarım söz konusu olduğunda ihmal edilmektedir. Bu durum sonrasında tamir ve yenileme masraflarını ortaya çıkartmakta hatta ürünün kullanılma oranını düşürmektedir. Aşınan parça değiştirilmeden kullanıldığında makinenin performansında düşüşe neden olacaktır. Bu sebeple, aşınma aslında tasarım sürecinde de düşünülerek kullanım sırasında oluşacak sorunlardan kaçınılmalıdır. Aşınma farklı şekillerde meydana gelebilmektedir [20].

2.2.1. Adhesif Aşınma

Aşınma çeşitleri arasında en sık rastalanan aşınmadır. Adhesif aşınmada birbiri ile etkileşim halinde olan iki metalin yüzeyinde, yüksek basınçta oluşan sıcaklığın yükselmesi neticesinde kaynama oluştuğu, daha sonra yüzeylerin birbirinden ayrıldığı görülür. Adhesif aşınma genelde katı malzemeler arasında ve bu malzemelerin birbirlerine karşı uyguladıkları baskı sonucunda veya birbirinin üzerinde kaymasıyla

oluşmaktadır. Bundan dolayı malzeme kaybı meydana gelmektedir [21,22]. Adhesif aşınmanın oluşumunun şematik gösterimi Şekil 2.2’de görülmektedir.

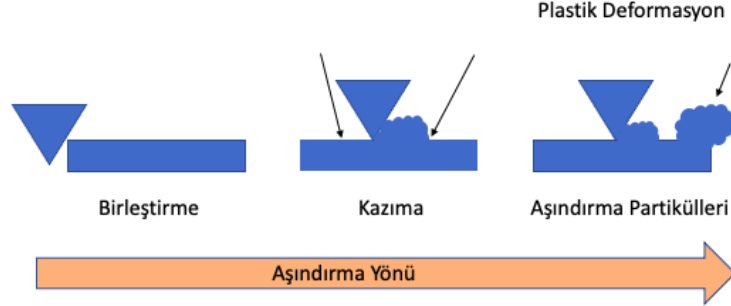


Şekil 2.2. Adhesif aşınmanın şematik gösterimi [21].

2.2.3. Abrasif Aşınma

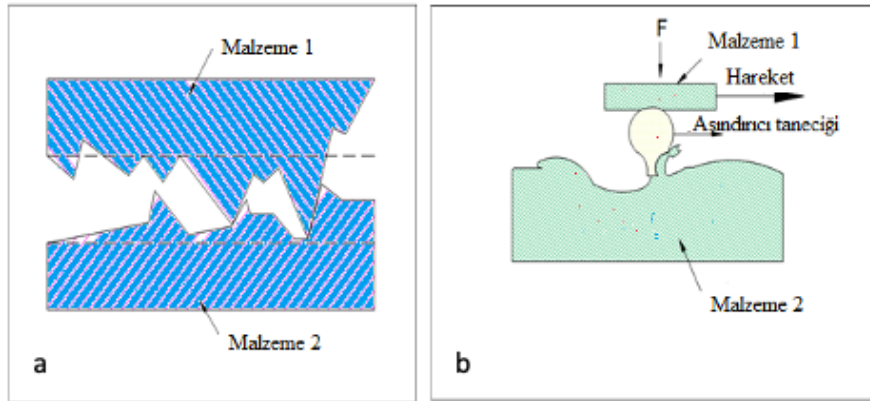
Birbirine temas eden iki malzemeye, uygulanan hareket ve yük nedeniyle, sürtünen iki cisimden sert olanın, pürüzleri yardımı ile cismi çizerek oluşturduğu mikro talaş kaldırmasına abrasif aşınma denilmektedir. Bu tanım abrasif aşınmada katı-mineral, katı-katı ve katı ve sıvı arasındaki aşınma için kullanılmaktadır. Genelde abrasif aşınma, sürtünen cisimlerin karşılıklı doğrudan etkileşimleri ile oluşuyorsa iki cisimli abrasif aşınma, ara yüzeylerde sürtünme elamanlarını çizerek zarar veren sert tanecikler bulunuyor ise üç cisimli abrasif aşınma olarak tanımlanmaktadır. Genelde aşınma mekanizması, iki cisimli abrasif ya da adhesif aşınma şeklinde meydana gelmektedir. Sonrasında üç cisimli abrasif olarak devam etmektedir. Çizilme neticesinde serbestleşen mikro talaşlar, parçalanmış oksit parçacıkları ortaya çıkan toz, üçüncü cisim olarak mineral tanelerini oluşturabilmektedir. Aşınmaya hızlandırıcı etkiyi yapan aşınma üçüncü cisim abrasif aşınmadır. Erozyon olarak bilinen abrasif aşınmanın özel şeklini, yüksek hızlı parçacıkların akışı oluşturmaktadır. Abrasif

aşınmanın malzemede oluşabilmesi için sürtünme esnasında, aşınan malzemenin, aşındırıcı malzemeden daha yumuşak olması gerekmektedir [23,24]. Abrasif aşınmanın şematik gösterimi Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Abrasif aşınmanın şematik gösterimi [24].

Mikro talaş kaldırma, malzemeler arasında sert olan cismin pürüzlerinin yumuşak olan malzemeyi çizmesi ile oluşmaktadır. Abrasif aşınmada mikro boyutlu talaş kaldırma etkisini oluşturmak için keskin ve sert parçacıklar kullanılmaktadır. İki ve üç gövdeli olarak iki şekilde abrasif aşınma oluşmaktadır. İki gövdeli ve üç gövdeli abrasif aşınmanın şematik gösterimi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. a) İki gövdeli abrasif aşınma, b) Üç gövdeli abrasif aşınma [24].

2.2.4. Korozyon Aşınması

Parçaları meydana getiren metaller ve alaşımlar birleşik oluşturarak korozif bir ortamda, çevre ile kimyasal olarak reaksiyona girmektedirler. Bu sebepten dolayı birden farklı bileşik oluşturarak metalin iç yapısında zayıflamaya neden olmaktadır.

Oluşan bu bileşikler sebebiyle temel metal ile bağlantıları zayıflayıp, bileşikler temel metalden koparak, korozyon aşınması meydana gelmektedir. Metallerde korozyon ve aşınmanın birlikte oluşmasına korozyon aşınması denilmektedir. Temas halinde olan yüzeyler ortam ile reaksiyona girip yüzeyde bir tabaka meydana getirmektedir. Zaman ile birlikte temas noktalarında çatlak oluşturarak veya abrasif etkiler sonucunda meydana gelen reaksiyon neticesinde yüzey hasara uğramaktadır. Bu aşınmada hava koşullarının olumsuz olması çok önemlidir. Korozyon aşınması sonucunda meydana gelen ürünler aşınma hızını arttırmaktadır. Korozyon aşınması genel olarak mekanik aşınmaya sebep olmaktadır [14].

2.2.5. Yorulma Aşınması

Belli sayıda titreşim tekrarlanması ve sürtünme sırasında oluşan gerilmelerin sonucunda yorulma aşınması oluşmaktadır. Yüzeyde meydana gelen tekrarlı yük sayısının yüksek veya düşük olmasına bağlı olarak yüksek çevrimli veya düşük çevrimli yorulma mekanizmaları oluşmaktadır. Yorulma aşınması birçok yerde görülmektedir. Tribolojik zorlanmalar genellikle yüzeyde görülmek ile beraber büyüklüğüne, konumuna ve zamanına göre sabit olmayan mekanik gerilmeler neticesinde oluşabilmektedir. Sonuç olarak malzeme yüzeyinde çatlaklar meydana gelmektedir, bundan dolayı da yüzeyden parçacıkların ayrılmasına, çukur oluşmasına sebep olmaktadır [25].

2.2.6. Kaviteasyon Aşınması

Sıvı içinde kaviteelerin ya da kabarcıkların sürekli büyüme, çekirdeklenme ve şiddetli çarpmalarına kaviteasyon, sıvılardaki kabarcıklardan dolayı malzemelerin mekanik olarak bozulmasına kaviteasyon aşınması denilmektedir. Yüzeye yakın ya da yüzeyde kabarcıkların patlamaları ile katı yüzeyde mekanik bir yük oluşmaktadır. Bu şekilde oluşan patlamalar doğrudan yüzeye yönelmiş sıvı mikrojetlere neden olmaktadır. Küçük kabarcıkların konsantre bir şekilde patlamalardan dolayı şiddetli yerel mekanik yükler oluşur ve bu sebeple yüzeyde deformasyon meydana gelir. Sürekli yükleme, yüzeyden malzeme kaybına ve neticesinde aşınmaya neden olmaktadır. Kaviteasyon aşınması, sıcak buhar ortamına maruz kalan pervaneler, türbin kanatları gibi parçalarda

ve valf gövdelerinde oluşmaktadır. Kaviteasyon aşınması, kaviteasyonun gerçekleştiği bölgelerde delikler ya da çukurların oluşması ile meydana gelmektedir [26,27].

2.2.7. Eroziyon Aşınma

Katı parçacıklar taşıyan bir akışkanın bir katı ile teması esnasında izafi hareketler nedeniyle yüzeyinde oluşan malzeme kaybına eroziyon aşınma denilmektedir. Parçacık malzemesi, çarpma hızı, çarpışma açısı ve parçacık boyutu gibi birden fazla faktör eroziyon aşınmanın mekanizmasını oluşturmaktadır. Katı ve sert parçacık, abrazyon aşınmaya benzeyen bir aşınma oluşturmaktadır. Sıvı parçacıklar aşındırıcı etkiyle, abrazyon oluşturmaz ve aşınma sistemleri darbe sonucu meydana gelen sürekli gerilmelerle alakalıdır. Çarpma açısı, aşınan yüzey ve parçacığın çarpma öncesi geliş şekli arasındaki ilişki denilmektedir [27,28].

Çarpma açıları 0° ile 90° aralığında olabilmektedir. Sıfır derecede gerçekleşen aşınma göz ardı edilebilir, çünkü aşındırıcı parçacık yüzeye çarpmamaktadır. Buna rağmen 20° gibi düşük açıda, parçacık sert ve yüzey yumuşak olduğunda, önemli bir aşınma oluşabilmektedir. Abrazyon aşınmaya benzer bir aşınma bu şartlar altında gerçekleşir. Şiddetli aşınma görülebilmesi için, yüzey kırılkan olduğunda ve en yüksek hıza 90° 'ye yakın açılarda sahip olduğunda yüzey parçalanmasıyla olur. Çarpma açısı ile aşınma hızı arasındaki ilişki, kırılkan ve sünek malzemeler için ayrı ayrı Şekil 2.9 'da gösterilmiştir. Düşük çarpma açısında aşınmanın en üst seviyede olduğu durumlarda, sünek eroziyon aşınma modu geçerli kabul edilmektedir. Aksine, en yüksek aşınma yüksek açılarda gözüküyor ise kırılkan eroziyon aşınma geçerli kabul edilmektedir [27].

Aşınma sürecinde eroziyon parçacığının hızı bir etki oluşturmaktadır. Hız çok düşük olduğunda, darbe esnasındaki gerilmeler, plastik deformasyon oluşturmaz ve aşınma, yüzey yorulması olarak meydana gelir. Birçok mühendislikte kullanılan üründen görülen bu sistemde aşınma, sürekli plastik şekil bozukluğu şeklinde oluşmaktadır. Parçacıklar yuvarlak uçlu ve küresel ise, fazla plastik deformasyondan sonra, aşınmış yüzeyde, aşınan malzemede ince tabakalar oluşturmaktadır. Parçacıklar sivri bir şekildeyse, kırılkan ya da kesme parçalanma görülmektedir. Kırılkan malzemeler,

yüzey altı kırılmasıyla aşınmaktadır. Oldukça yüksek parçacık hızlarında, darbeyi gören yüzeyin erimesi yüksek parçacık hızlarında gerçekleşebilmektedir [27].

2.3. KAPLAMALAR VE YÜZEY İŞLEMLERİ

Malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmesine kaplama denilmektedir. Üretilen parçanın dış yüzeyinin, her türlü şarta dayanıklı özelliğinin geliştirilmesi önemli ve gereklidir. Kaplamanın tarifine bakıldığında; malzemelerin dış yüzeylerinin olumsuzluklarını ve etkileşimlerini yok etmek, malzemenin aşınmaya daha dayanıklı olmasını sağlamak için bilerek ve kontrol ederek malzemelerin dış yüzeyindeki kimyasal ve fiziksel değişim olarak tanımlanmaktadır. Bir malzemeyi kaplama, malzemeye birden fazla üstün özellik sağlamaktadır. Sertlik, mukavemet, aşınma ve korozyona karşı direnç sağlamanın yanında güzel bir görüntü sağlamak için de kaplama yapılabilmektedir [29].

Kaplama yapım şekline bakılarak, kaplama yapısı farklılık göstermektedir. Kaplama yapmanın amacı, uygulanan malzemenin türü, kaplama kalınlığının ölçüsü, uygulanan yöntemin maliyeti ve uygulama kolaylığı gibi sebeplerle kaplama yapısının farklılığı ortaya çıkmaktadır [29].

Yüzey kaplamaları malzemenin yapısına göre metal ya da metal olmayan kaplamalar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Metal kaplamalarda elektro kaplama, sıcak daldırma, mekanik kaplama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Uygulamada ise korozyona karşı en çok alüminyum ya da çinko kaplama kullanılmaktadır. Temel parça yüzeyin korunması ve yüzey görünümünün iyileştirilmesi için metalik olmayan kaplamalar kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyinde koruyucu bir filmi boya ile oluşturulmaktadır. Boya filmi çatlamadığı ya da soyulmadığı süre içinde metal malzemeyi korozyondan korumaktadır. Buldukları ortamlarla reaksiyona giren metal malzemelerin yüzeylerinde toz ya da oksit filmi oluşmaktadır. Toz ya da oksit filmi koruyucu kaplama görevinde bulunmaktadırlar [29].

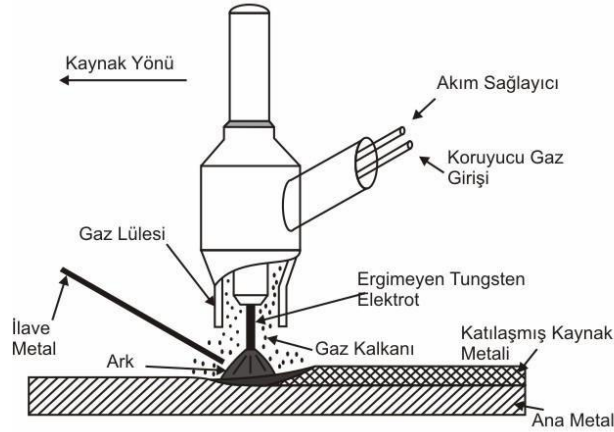
2.4. ARK ESASLI YÜZEY MODİFİKASYON YÖNTEMLERİ

Yüzey kaplama işlemi, yeni bir yüzey tabakası oluşturabilmek için, kaynak yöntemleriyle beraber ana metalden farklı özellikte, kimyasal bileşimi belli olan metal ya da alaşımın ana malzeme yüzeyinin kaplanmasına yüzey kaplama denilmektedir. Birbirine benzeyen veya aynı cinsten olan en az iki malzemeyi ısı, basınç ya da her ikisinin birlikte kullanılması ile malzeme eklenerek veya eklenmeden yapılan birleştirmeye kaynak denilmektedir. Bağlantı elemanı olarak kullanılması yanında kaplama ve kesme kaynağı olarak da kaynak uygulanabilmektedir. Kaplama kaynağında; aşınmış ya da korozyona uğramış yüzeylerin uygun alaşımda bir malzeme ile kaynatılması söz konusudur. Bu şekilde sünek içyapı yanında aşınmaya dayanıklı sert bir tabaka düşük maliyete elde edilmektedir. Kullanılmış bir makina parçasının aşınan ve kırılan kısımlarının kaynakla doldurulması ve tamiri de dolgu kaynağı ile yapılabilir. Bazı durumlarda bir parçanın dış yüzeyine farklı özellikler kazandırmak sebebi ile farklı malzeme ile kaplanması da söz konusu olabilmektedir. Yüzey kaplama yöntemleri, gaz tungsten, gaz altı, plazma, toz altı ark kaynakları ile elektron kaynağı ark temeline dayanmaktadır [29-31].

2.4.1. Gaz Tungsten Ark Kaynağı

Ergimeyen bir tungsten elektrod ile iş parçası arasında meydana gelen arkın gereken ısı enerjisini üretmesi, kaynak banyosunu koruyucu gaz olarak Ar ya da He koruması temeline dayanan yöntem gaz tungsten ark kaynağı denilmektedir. Gaz tungsten ark kaynağı yönteminde ark ana malzemeyi ergitmekte kullanılmaktadır. Ark alanı ve kaynak dikişini hava ile fiziksel ve kimyasal bileşik oluşturmadan dışarı atıp, dikiş oksijen ve azot gazlarından korumak, kaynak metalinin soğuma hızının ayarlanmasına yarar sağlamak ve istenilen ark karakteristiğini, damla geçişini sağlamak koruyucu gazın görevidir. Belirlenen koruyucu gaz türüne bağlı olarak dikiş genişliği, dikiş yüksekliği, dikiş nüfuziyetine göre değişmektedir. Genelde doğru akım demir alaşımlarda, alternatif akım ise alüminyum alaşımlarda, kullanılır. İşlemi yaparken manuel ya da otomatik olarak yapılabilir. Ark işlemi için gereken elektronların emisyonunu oluşturmak amacı ile yeteri kadar yüksek sıcaklıklarda tungsten elektrot ısıtılmaktadır. Ark bölgesinde oluşan elektromanyetik bölge neticesinde elektrot ve

parça arasındaki koruyucu gazın birazı iyonlaşmaktadır. Bundan dolayı ark alanında gaz iletken veya plazma şekline gelmektedir. İletken hale gelen asal gazdan akımın geçmesi ile elektrik arkı üretilmektedir [31]. GTA veya TIG kaynağının şematik gösterimi Şekil 2.5’te verilmiştir.



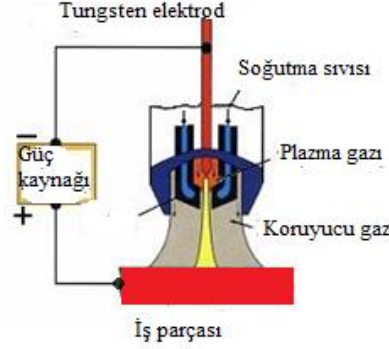
Şekil 2.5. GTA veya TIG kaynağının şematik gösterimi [30].

GTA kaplamayla aşınmış yüzeylerin tekrardan oluşturulup, farklı ilaveler ile yüzeylerin daha dayanıklı olması sağlanabilmektedir. Bu yöntemle kaplama yapılırken kullanılan ek malzeme tel ya da çubuktur. İşlem yapmadan yüzeyin hazırlanabilmesi için ve kaplama yapılacak malzemeye ön ısıtma işlemi uygulamak gerekebilmektedir. Küçük alanlara ve deliklere bu yöntem kullanılarak kaplama yapılmaktadır. Yüksek kalitede kaplamalar bu yöntem ile elde edilmektedir. İşlemin uzun ve yavaş olması, geniş yüzeylerin kaplanmasında yetersiz olması kullanımı sınırlandırabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajlarına bakıldığında; kullanılan cihazların pahalı olması, koruyucu gazlar ile çalışıldığından belli bir çalışma yeri gerekmesi, yöntemin hassas olması ve ince parçalar arasında uygulanamamasıdır. Genellikle küçük parçaların kalın kaplamalarında kullanılan yöntemdir [29].

2.4.2. Plazma Ark Kaynağı

Yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp iyonize edilmiş, elektrik iletkenliği özelliği kazanmış bir gaz olan plazma gazıyla elektrik arkının tungsten elektrodun ucundan parçaya transfer edildiği, bunun sonucunda arkın ortaya çıktığı bir koruyucu ark yöntemine plazma ark kaynağı denilmektedir. Arkı oluşturan plazma ısısı malzemeyi

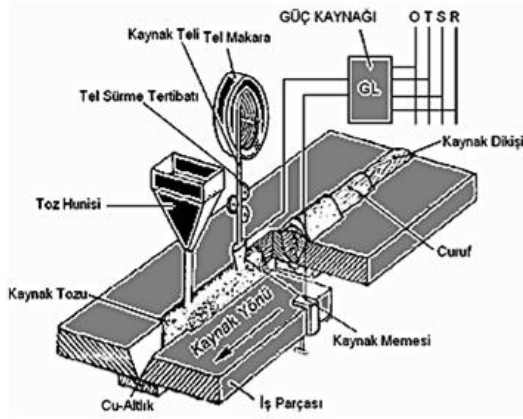
ergitmektedir. Elektrodun torçtaki yeri, kaynak mekanizması ve arkın iletim şekliyle beraber farklılık göstermektedir [29]. Plazma arkının şematik görünüşü Şekil 2.6’da görülmektedir.



Şekil 2.6. Plazma arkının şematik görünüşü [29].

2.4.3. Tozaltı Ark Kaynağı

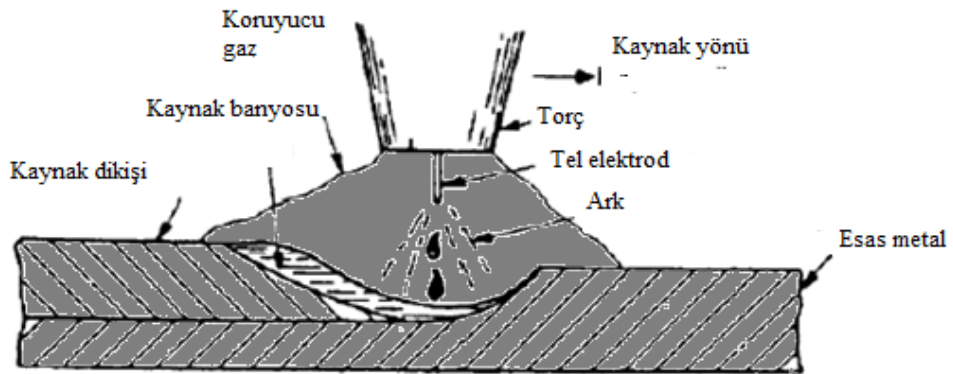
Tozaltı Ark Kaynağı elektrotla malzemenin ark oluşturup kaynak alanını korumanın bir toz yığımla sağlandığı kaynak yöntemine denilmektedir. Bir pasoyla yaklaşık olarak 75 mm, iki pasoyla 130 mm ve daha fazla pasoyla büyük kalınlıklarda kaynak yapma imkânı sağlamaktadır. Elle uygulanan kaynağa bakılarak elektrod daha fazla akım şiddeti ile yüklendiğinden büyük ergimiş kaynak banyosu ve çok derin bir nüfuziyet ortaya çıkmaktadır. Ergime bu yöntemde, tekrarlı beslenen tel şeklinde bir elektrodla malzemede meydana gelen ark yardımıyla sağlanmaktadır. Bu sırada bir toz deposunda huniyle gönderilen granül şeklindeki toz, kaynak arkını örtüp, kaynak banyosu ortamın olumsuzluklarından korumaktır. Kaynak metalinde oksit oluşumunu, koruyucu görev yapan kaynak tozu, kaynak banyosu ile tepkimeye girerek engellemektedir. Ergiyen elektrod, eriyen esas metalle karışmaktadır. Arkın yakınındaki yerlerde toz ergimektedir, kaynak banyosuna katılıp alaşımlanma yapmaktadır. Toz cama benzeyen curuf oluşturmaktadır. Ergiyen metalden daha hafif olan curuf, koruyucu tabaka halinde banyo üzerinde yüzmektedir. Tekrarlı olarak tozun artan kısmı kullanılabilir [30]. Tozaltı kaynağın şematik görünüşü Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Tozaltı kaynağının şematik görünüşü [29].

2.4.4. Gaz Altı Ark Kaynağı

Koruyucu gaz farklılığına göre gaz metal ark temelli kaynak yöntemleri, metal aktif gaz ve metal inert gaz şeklinde iki çeşidi vardır. Devamlı tükenen metal elektrodla kaynak yapılacak malzeme arasında bu tekniklerde ark oluşmaktadır. Koruyucu gaz yardımıyla kaynak banyosu korunmaktadır. Koruyucu gazın türüne göre MIG ve MAG kaynakları olarak adlandırılmaktadır. MAG kaynağında karbondioksit (CO_2), MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon (Ar) kullanılmaktadır. Yüksek akım yoğunluğuyla çalışıldığında, kaynakta iyi ergime özelliğine erişilmektedir. Akım yoğunluğu arkın şekline bakılarak 60-180 A/mm aralığında değişkenlik göstermektedir. Derin nüfuziyetli kaynak dikişleri, yüksek akım şiddetiyle oluşturabilmektedir [32]. MIG / MAG kaynak metodunun uygulama biçimi Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8. MIG / MAG Kaynak Metodunun Uygulaması [31].

2.4.5. Elektrod Kaynağı

İş parçasının elektrotla beraber meydana gelen ark aracılığı ile oluşan ergitme kaynağı şekline elektrik ark kaynağı denilmektedir. Genellikle tercih edilmesinin sebebi, kullanımı kolay ve çok yönlü bir kaynak yöntemi olmasıdır. Elektrod kaynağı, üretim ve tamirat işlerinde kullanılmaktadır. Elektrik ark kaynağında kullanılan örtülü elektrotla iş parçası ile elektrot arasında uygulanan akımın etkisi ile oluşturulan ark, nötr moleküllerin iyonize olarak yüksek ısı enerjisi oluşturmasına ve ısı enerjisinin ortaya çıkardığı etki ile elektrodun ergiyerek kaynak metaline geçebilmesine neden olmaktadır. Bu durumda örtüde kalsiyum karbonat, 900°C'ye yakın bir değerde parçalanmaktadır. Banyoda karbondioksit ve kalsiyum oksit oluşmasına neden olmaktadır. Karbondioksit gazı birleştirme sırasında, kaynak bölgesi havanın olumsuz etkilerinden korumayı hedefler ayrıca kalsiyum oksit curuf olarak dikiş alanı için koruma sağlar ve kaynak dikişinin uzun zamanda soğumasını neden olur. Diğer bir açıdan elektrot örtüsünde yer alan alaşım elementlerinden dolayı kaynak dikişini alaşımlandırılmıştır ve istenen özelliğe sahip bir kaynaklı birleşme elde edilebilmektedir [33].

2.5. KAYNAK YÖNTEMLERİNE GÖRE YÜZEY KALİTELERİ

Bir iş parçasından çoğunlukla beklenen, iç yüzeyin sünek, dış yüzeyinin sert bir yapıda olmasıdır. Bu şekilde istenmesinin sebebi dış tabakanın aşınma, korozyon vb olumsuz etkilere karşı dayanıklı olması sağlanıp, parçanın iç kısmına gelen yükler karşısında mukavemetli olmasındadır. Malzeme yüzeyinde bu şekilde tabaka oluşması için birçok yöntem oluşturulmuştur. Bu yöntemler ile oluşan yüzey tabakaları bazı durumlarda fazla ince olmakla beraber aşırı sertlikleri nedeni ile çalışma koşulları sırasında oluşan darbelere dayanıksız olmasındandır. Diğer yöntemlerin bazıları ilk yatırım ya da uygulama maliyetlerinin çok fazla olması, büyük parçalar olduğunda yetersiz kalmaları da dezavantajlardandır. Isının kaplamada bir üreteç olması, kaynak yöntemleri ile yapılan kaplamaların en önemli etkisidir. Bu sebeple kaplama işleminde kaynak yöntemlerinin bir ısı kaynağı olarak kullanılabilmesi, ek metal ve alaşımlar ile malzeme yüzeyinin kaplanması çok tercih edilen kaplama şeklidir. Bu yöntemler ile malzeme yüzeyinde ek sert tabakalar yapılıp, mevcut yüzey değiştirildiğinde

zellikleri geliştirilip, aşınmış bir alanda tamir yapılır ve güçlenmesi sağlanır. Bilinen kaynak yöntemlerinden toz altı, elektrik ark ve gazaltı kaynak yöntemleri malzeme yüzeyinde bu Şekilde eklemeler yapılması için kullanılmaktadır. Lazer ışını ve elektron ışını kaynak teknikleri yatırım maliyetleri ve uygulamaları pahalı olmasına karşın kaplama uygulamalarında da kullanılır. Bu yöntemler ile yapılan kaplamalar genellikle malzemede bozulmalara, arpımalara ve yüzey hassasiyetlerinin düzeltilmesinde talaşlı üretim ihtiyaının oluşması gibi olumsuzluklar oluşabilir. Tüm bunlara karşın bu yöntemler ile bundan farklı ergitme yöntemlerine bakılarak daha kullanışlı mikro yapı ve mekanik özelliklerde kaplama tabakası oluşturulmaktadır. [30].

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Araştırmacılar, farklı parametrelerin değişkenliği ile erozif aşınmaya olan etkilerini incelemişlerdir. Bu araştırmalardan bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Jha, yaptığı çalışmada ortam parametrelerinin erozif aşınma üzerine etkisini deneyler yaparak incelemiştir. Yapılan deney esnasında erozif aşınma tankı kullanılmaktadır. Çalışmada çarpma hızının, çarpma açısının, alüminyumun erozif aşınması üzerine etkilerini araştırmıştır. 40 vickers sertlik değerinde olan alüminyum malzeme olarak kullanılıp, ağırlıkça %40 kum/su içinde değişik çarpma açısında erozif aşınma davranışını incelemiştir. Aşındırıcı parçacık olarak boyutları 200 µm ile 300 µm arasında değişkenlik gösteren 980 vickers sertliğinde kuvarz silis kumu kullanmıştır. Numuneleri dönüş yönünde 0°, 30°, 45° ve 90° açıları ile numune tutucuya yerleştirmiştir; 300 d/dak, 400 d/dak, 500 d/dak ve 600 d/dak hızlarında döndürerek deneyleri gerçekleştirmiştir. Yüksek hızlarda oluşan farkın düşük hızlara göre daha belirgin şekilde ortaya çıktığını belirtmiştir. Kütle kaybının dönme hızına göre artış gösterdiği sonucuna varmıştır. Hedef malzemenin kütle kaybında, hareket eden aşındırıcı parçacıkların kinetik enerjilerinin en önemli etken olduğunu vurgulamıştır [34].

Yıldızlı, yüzeyi östenitik manganla kaplı ve düşük karbon içeriğiyle çeliğin erozif aşınma davranışını incelemiştir. Nominal çapı 420 mikron olan aşındırıcı parçacıklar deneylerde kullanılmıştır. Çarpma açıları 30°, 60° ve 90° olacak şekilde belirlenmiştir. Deney düzeneğinde bulunan parçacık hızının kontrolü gaz basınç regülatörü ile sağlanmıştır. Kuru hava parçacıkları ise ivmelendirmekte kullanılmıştır. Parçacık hızı 30 m/s'olarak alınmıştır. 1020 çeliği hedef malzemenin aşındırıcı parçacıklara maruz kalma zamanı toplam 27 dakikadır. Numuneler düşük basınçlı hava ve alkolle temizlenmiş ve hassas terazi ile tartılmıştır. Yüzey aşınma direncini sert kaplı yüzey

artırmaktadır. Sürekli çarpmalar sonucu yüzey sertliğinin arttığını belirtmişlerdir, bu artışın sebebinin de pekleşme ve gerilmeden dolayı martenzitik dönüşümlerin olmasına bağlamıştır. Düşük karbonlu çeliklerin tamir ve kuvvetlendirilebilmesinde ark kaynağıyla yüzey kaplamanın erozif aşınmaya karşı etkili olduğunu ve bu yöntemin kullanılabileceğini vurgulamıştır [35].

Katsich ve arkadaşları 2009 yılında yaptıkları çalışmalarında sert yüzey ile kaplanmış demir, krom ve karbon alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda erozyon etkisini incelemek adına MAG kaynak yöntemi kullanmışlardır. GMAW ile kaplanan numunelere dört ayrı sıcaklık, iki ayrı çarpma açısı ve bir sabit hız etkisinde aşınma testleri uygulamışlardır. Test alaşımların erozyon hızı, sıcaklık değerleriyle arttığını görmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde sert dolgu kaplamalarında aşınma dirençlerinin arttığı belirlenmiştir [36].

Badisch ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans sağlayabilmek adına Nb, M, ve B içeren Fe-Cr-C temelli iki sert dolgu alaşımını gaz metal ark kaynağını kullanmış, yumuşak metal üstüne çökeltmiş, iki gövde ve üç gövde aşınma davranışını 30° ve 90° lik darbe açısı olacak şekilde oda sıcaklığından 650°C ye olacak şekilde artırarak incelemişlerdir. İncemeler sonucunda sert yüzey kaplamalı alaşımların erozyon, aşınma davranışları bir hayli artmış olduğu anlaşılmıştır. Östenitik paslanmaz çeliğin aşınma esnasında aşırı aşınma, mekanik karışmış tabaka oluştuğunu gözlemlemişlerdir. [37].

Sınmazçelik ve Taşkiran (2007) yaptıkları çalışmada, mineral parçacıklar ile tesadüfi yönlenmiş kısa cam fiberler ile eklenmiş kompozitlerin katı parçacık erozyon davranışlarının ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Kompozit malzemelere ait örnekleri değişken çarpma açıları (15° – 90° aralığında) ve 20 m/s, 40 m/s ve 60 m/s olmak üzere 3 farklı hızda deneylere tabi tutmuşlardır. İşlem sırasında 150 µm – 200 µm çapındaki silis kumu aşındırıcı olarak deney ortamına eklenmiştir. Aşındırıcı parçacıklar 4,5 bar basınç değerinde numunelere çarptırılmıştır. Aşındırıcı parçacığın kütle akış hızı ise 9 g/s olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde, çarpma açısının 60° olduğu numunelerde en yüksek erozyon oranına rastlanmıştır ve bu numunenin yarı süneklikte erozyon davranışına sahip olduğu belirtilmiştir. Belirlenen

çarpma açısının erozyon davranışı üzerindeki etkisinin yüksek olduğunu dile getirmişlerdir [37].

Shipway ve Hutchings (1996), yaptıkları çalışmada gevrek malzemelerin erozif aşınmasında katı partiküllerin etkisini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada; 4 farklı aşındırıcı malzeme kullanılmıştır. Bunlar silisyum, silika, alüminyum ve silisyum karbür aşındırıcı malzemeleridir. Deneylerde kullanmak için 7 farklı malzemeyi numune olarak seçmişlerdir. Bunlar gevrek yapıdaki soda-kireç camı, borosilikat camı, silikadan elde edilmiş cam, kısmi dengelileştirilmiş zirkonya, alümina, silisyum karbür ve bor karbürdür. Aşındırıcı, hedef malzemelere ayrı ayrı uygulanmış hava üfleli tesisatla deneyler gerçekleştirilmiştir. Hareket hızı 60m/s olan katı parçacıkların numune yüzeyine çarpma açısı (90°) olacak şekilde seçilmektedir. Aşınma oranının hedef malzeme, aşındırıcı özelliklerine ve aşındırıcının çarpma şartlarından etkilendiği deneyler sonucunda anlaşılmıştır. Genellikle aşınmanın fazla ve girintiden dolayı kırık mekanizması şeklinde olması, aşındırıcının sertlik değeri hedef malzemenin sertlik değerinden fazla olduğunda oluşmaktadır. Fakat aşınmanın daha az, küçük ölçekli çentikli aşınma mekanizması şeklinde olduğunda aşındırıcı hedef malzemeden daha az sertlikte olduğu gözlemlenmektedir [39].

Kumar (2011) yapmış olduğu çalışmada sünek malzemenin kaplamasız ve kaplamalı koşullardaki erozif aşınma davranışını incelemiştir. Çalışmada, 13Cr-4Ni çeliği santral külü taşıyan sistemde boru ve pompa malzemesi olan bu çelik kullanmıştır. Malzeme yüzeyine HVOF yöntemiyle Al₂O₃ ve Cr₂O₃ toz kaplama, aşınma dayanımını artırmak amacıyla uygulanmıştır. Santral uçucu külü % 20 oranında 50 – 350 µm parçacık boyutunda bulunduran çamur ile deney tesisatı hazırlamıştır. Deneylerde hazne, pompa ve boru hatları içeren bir su jeti kullanmıştır. Yapılan deneylerde 30°, 60° ve 90° 'de 3 farklı çarpma açısında gerçekleştirmiştir. Sonuçları irdelediğinde kaplama uygulanmış her iki malzemenin, kaplamasız malzemeden daha iyi aşınma dayanımı gösterdiklerini gözlemlemiştir. Ayrıca 30° ve 90° derece çarpma açılarında hem kaplamalı hem kaplamasız malzemelerin en fazla aşınma miktarlarının olduğu sonucuna varmıştır. Kromoksit ile kaplanmış çeliğin, kaplama uygulanmamış 13Cr-4Ni çeliği ile kıyaslandığında üç kat daha fazla aşınma dayanımı sergilediğini ve hem

kaplamalı hem kaplamasız malzemede akış ve uygulama zamanı uzadıkça aşınma değerlerinin arttığını belirtmiştir [40].

Demirsöz (2018) yapmış olduğu çalışmada, deney düzeneği olarak sulu çamur erozyonu aşınma tesisatı geliştirmiştir. Yapılan çalışmalarda St 37-2 referans standart boru malzemesi, Hardox 400, W2C-NiCrBSi kaplama ve AISI 440 C martenzitik paslanmaz çelik malzemelerine, yüksek fırın granüle cürufu kullanılarak etkisini incelemiştir. Parçacık boyutu olarak ortalama 505 µm yüksek fırın granüle cürufu elenmiş ve konsantrasyon olarak % 10, % 20 ve % 30 ölçülerinde cüruf ihtiva eden sulu çamur hazırlamıştır. Deneylerde kullanılan parametreler, çevresel hızlar 2 m/s ve 4 m/s olacak şekilde ve parçacık çarpma açısında (90°) uygulanmıştır. Deneylerde oluşan sonuçlar değerlendirildiğinde hız parametresinin en önemli parametre olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca sertlik değerlerine göre en düşük yüzey sertliğe sahip St 37-2 malzemede hız artışıyla aşınma miktarlarındaki değişim diğer malzemeler ile kıyaslandığında fazla olduğunu gözlemlemiştir. Uygulamalar sonucunda numuneler arasında kütle kaybının en az olduğu malzeme AISI 440 C martenzitik paslanmaz çelik olduğu sonucuna varmıştır [46].

Erdem (2006) yapmış olduğu çalışmasında erozif aşınma deneylerini, yüksek karbon içeren AISI 1060 çeliğine çeşitli ısıl işlemler uygulayarak yapmış ve bu sonuçların karşılaştırılabilmesi adına aşınmaya karşı dirençli HARDOX400 ve HARDOX500 çelikleri erozif aşınma dayanımı açısından incelemiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, eğer erozif aşınma direncinin geliştirilmesi amaçlanıyor ve dik çarpma açısında malzeme daha çok 90° civarı erozif aşınmaya uğruyorsa, daha sünel ve yumuşak malzeme kullanılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Eğer malzeme erozif aşınmaya genellikle 30° civarında çarpma açısına uğruyorsa malzemeyi sertleştirme uygulaması yapılarak aşınma dayanımını yükseltmenin mümkün olabileceği sonucuna ulaşmıştır [47].

Gökşenli ve Kosa (2015) yılında yapmış oldukları çalışmalarında gevrek ve sünek malzemelerin Partikül Çarpma Açılarının Eroziyon Aşınma'ya etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde birlikte iki malzemenin kullanılıp sonuç alabileceği hazneli bir deney tesisatı kullanılmışlardır. St 37 çeliğine, yüzey sertliğinin aşınma oranına ve

aşınma mekanizmasına parçacık çarpma açısının etkisini incelemişlerdir. Deney malzemesi 245 HV yüzey sertliğinde olan ısıtılma maruz kalmış sünek St 37 çeliği ve ısıtılma uygulaması yapılarak yüzey sertleştirme işlemi yapılmış (510 HV) gevrek St 37 çeliği deneylerde incelenmiştir. Aşındırıcı boyutu ortalama 350 µm parçacık boyutunda silika kumu kullanılıp, malzemeler 4,76 m/s çevresel hızla hazinede döndürülmüştür. Sonuçlar irdelendiğinde gevrek malzemenin aşınma oranı, sünek malzemedeki aşınma oranından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca deney sonuçları dikkate alındığında sünek malzemedeki en yüksek aşınmanın 30° çarpma açısında gerçekleştiği ve aşınma miktarının açının artmasıyla azaldığı, en yüksek aşınma miktarının 45°'de meydana geldiği, gevrek olan malzemedeki aşınma miktarının çarpma açısının artmasıyla arttığı sonucuna ulaşılmıştır [48].

Kosa (2016) yapmış olduğu çalışmada farklı parametrelerin Eroziyon – Abrazif aşınma davranışı üzerindeki etkileri araştırmıştır. Deneylerde çelik numunelerin sertlik değerlerinin farklı olması adına farklı ısıtılma işlemlere maruz bırakılan Ck 45 ve St 37 çeliklerini kullanmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında aşınma miktarının anlaşılabilmesi için numunelerin kütlesi hassas terazi ile ölçülmüş ve kütle kaybı sonuçlarına ulaşılmıştır. Ayrıca aşındırıcı konsantrasyonunun etkisinin anlaşılabilmesi için 6 farklı kum çapı deneylerde kullanmıştır. Partikül çarpma açıları olarak ise 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° ve aşındırıcı çarpma hızı olarak da 300-700 dev/dak dönme hızlarında pervaneyle döndürülerek yapılmıştır. Deneylerden alınan sonuçlar değerlendirildiğinde çarpma hızı arttıkça kütle kaybının arttığı sonucuna ortaya çıkmıştır. En fazla aşınma değeri, 30° çarpma açısında sünek malzeme için meydana gelmiştir. Aşınma değerinin en yüksek olduğu açı olan 90°'ye doğru sertliğin arttığı görülmüştür. Çelik malzemelerin aşınmaya olan dayanımlarının sertlik arttıkça arttığı sonucu varılmıştır [49].

Kanwalpreet Sahni, Jasmaninder Singh Grewal (2022) yapmış oldukları çalışmalarında, türbinlerde kullanılan çeliğin (CF8M) çalışma ömrünün artırılmasını incelemişlerdir. Santralde çalışma erozyon nedeniyle çelik ciddi aşınmaya maruz kalması ve bu bileşenin ömrünü azaltması nedeniyle bu erozyon ve aşınma sorununun üstesinden gelmek için HVOF altlık malzeme üzerine WC-Co-Cr'nin koruyucu tabakasını uygulamak için termal püskürtme tekniğini seçmişlerdir. Farklı bulamaç

konsantrasyonlarında, bulamaç jet çarpmasında bulamaç erozyon test teçhizatında aşınma testi yapmıştır. Aşınma kaybı ölçümlerini, her işlem tamamlandıktan sonra ağırlık kaybı açısından almıştır. Kaplanmış numunelerin ve aşınmış numunelerin SEM analizi ile morfolojiyi incelemiştir. Yüzeylerde. aşınma tespit etmişlerdir [50].

Naveen Kumar, Navneet Arora (2021) yapmış oldukları çalışmalarında 21-4N Nitronic ve CA6NM martensitiğin jet tipi bulamaç erozyon davranışını incelemiştir. Bu çelikler, erozyon performanslarını iyileştirmek için jet tipi test teçhizatı kullanılarak erozif aşınmaya maruz bırakılmışlardır. Ağırlık kaybı Nitronic çelikte, martensitik çelikten çok daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Gerilme sertleşmesinin etkisini incelemek için erozyon testlerinden önce ve sonra mikrosertlik ölçmüşlerdir. Nitronic çeliğin gerinim sertleştirme kabiliyetinin martensitik çelikten çok daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yüksek sertlik ve gerinim sertleştirme yeteneği Nitronic çeliğin martensitik çelikten üstün kıldığı sonucuna ulaşmışlardır [51].

Ziyi Yang ve Ark. (2022) yapmış oldukları çalışmalarında, erozyon direnci iyi olan hidro türbin parçaları için umut verici bir kaplama olarak kabul edilmiş Stellite 6 kaplamaları hazırlamışlardır. Işın içi toz besleme yöntemi ile yüksek hızlı lazer kaplama tekniği ile kaplanmış Stellite 6 kaplamaların mikroyapısı, sertliği ve erozyon-aşınma davranışları incelemiştir. Sonuçlar, tüm parçalarda gözle görülür bir kusur olmadığını göstermektedir. Stellite 6 kaplamalar; Kaplama kalınlığı, kaplama hızı ile kademeli olarak azalırken 429,35 ila 842,19 mm arasında değişen lazer gücü ile arttığını gözlemlemiştir. Stellite 6 lazer kaplama kaplamanın aşınma direnci kaplamanın sertliği artırılarak daha da iyileştirilebileceğini gözlemlemiştir [52].

Guangjie Peng.ve Ark (2021) yapmış oldukları çalışmalarında, birçok endüstride katı malzemeleri taşımak için yaygın olarak kullanılmakta olan Santrifüj çamur pompalarını incelemiştir. Çalışmada, bir bulamaç pompasında kuvars kumu ve suyun katı-sıvı iki fazlı akışını simüle etmek için Euler-Euler karışım modelini kullanmışlardır. Pervane optimize edilmiştir. Daha sonra orijinal pompa tasarımı ve optimize edilmiş pompa tasarımı 1:0,408 geometrik benzerlik oranı için üretilmiştir.

Yapılan testler sonucunda iki bulamaç pompasındaki aşınma ve kilo kaybı ölçümleri, optimize edilmiş pompanın daha az aşınmaya ve daha uzun hizmet süresine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir [53].

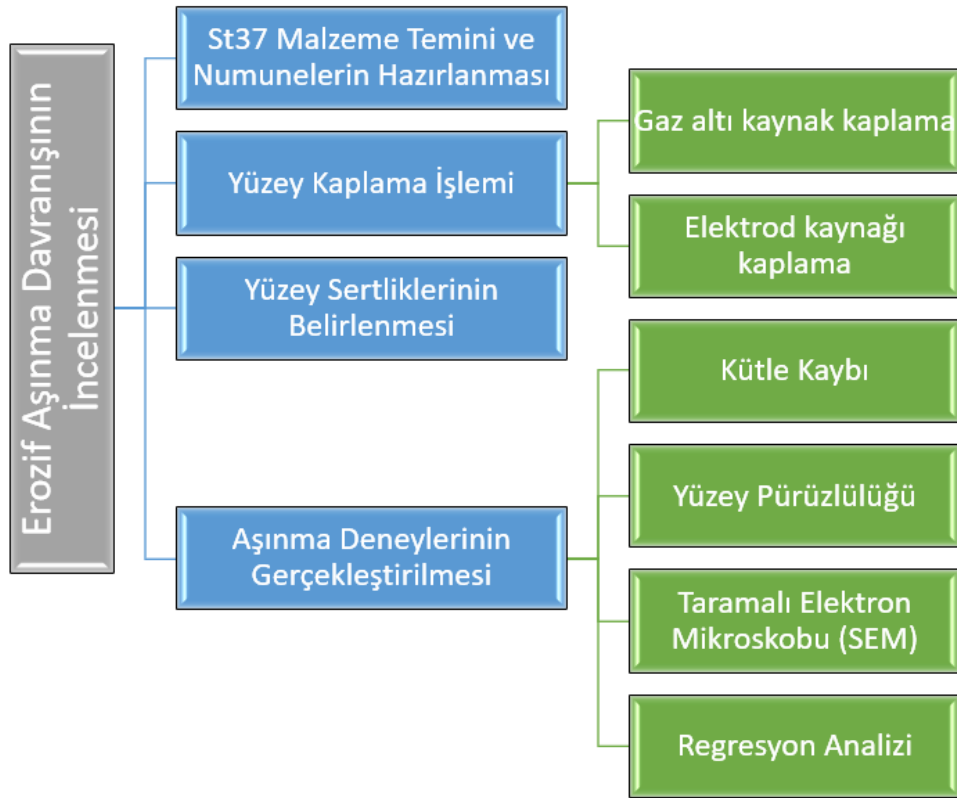
3.1. LİTERATÜR ÖZETİ

Erozif aşınmayla alakalı yapılan literatür araştırmalarının sonucunda, aşındırıcı dikkate alındığında katı parçacıkların boyutu, sıvı içindeki yoğunlunu, çarpma açısı, çarpma hızı değişkenleri ve aşınan malzemeyle alakalı uygulanan kaplama ile beraber erozif aşınma dirençlerindeki farklılıklar ön plana çıkmıştır. Genellikle kaplama uygulanan numuneler ve kaplama olmayan numunelere farklı farklı parametreler uygulanarak aşınma davranışları incelenmiştir. Aşındırıcı boyutu sabit tutularak, farklı çarpma açıları ve hız parametreleri ve konsantrasyon üzerinde çalışmalar yapılmış olup bu çalışmalarda kaplama uygulanan malzemelerin aşınma dirençlerinin kaplamasız numuneler ile aşınma dayanımları kıyaslandığında daha iyi sonuçlar ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Ayrıca açı ve hız parametrelerinin de etkili bir parametre olduğu sonucuna da varılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda yapılan bu çalışmada, ST37 çeliğine gaz altı ve elektrot kaplaması uygulanmış ve sabit konsantrasyonda, farklı çarpma açılarında ve farklı hız parametrelerinde aşınma dayanımları karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 4

METARYAL METOT

Bu çalışmada, endüstride sıklıkla kullanılan St37 malzemesinin Eroziyon aşınma davranışı incelenmiştir. Çalışma için ilk olarak malzeme temini gerçekleştirilmiş ve malzemeler numune ebadına uygun şekilde kesilmiştir. Ayrıca yüzey kaplamalarının aşınma davranışına olan etkilerini incelemek için malzemeler 2 farklı kaynak kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. Tüm numunelerin yüzey sertlikleri belirlendikten sonra aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş akabinde elde edilen numunelerin kütle kaybı, yüzey pürüzlülüğü ve sem görüntüleri elde edilerek kıyaslanmıştır. Bununla birlikte, kütle kaybı ve yüzey pürüzlülük değerleri için regresyon denklemleri elde edilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesine ilişkin akış diyagramı Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Deney süreci akış diyagramı.

4.1. MALZEME SEÇİMİ VE YÜZEY KAPLAMA

Günümüz koşullarında farklı endüstri çalışmalarında kullanılan çelikler ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Fakat bu çelikler mekanik etkiler, oksitleyici ve korozif çalışma şartlarından dolayı farklı aşınmalar neticesinde kısa ömürlü olurlar. Malzemelerin kullanım süresini doğru zamanda tutabilmek adına çeliği tanımak ve iyi tasarlanmanın yeterli olmadığı durumlarda çeliklere iyi bir kaplama işlemi yapılması gerekmektedir. Sanayi çelik malzemenin üretimine ve gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu şartlar ve durumlar söz konusu olduğunda mekanik özellikler çeliğin kullanım ömrünü arttırılabilir [41,42].

%0,2 C; % 1,4 Mn; %0,05 P; %0,05 S ve %0,07 N elementleri ihtiva eden yumuşak çeliğe St 37 çeliği denir. Ayrıca St 37 çeliği özel kullanım gerekli olmadığı sürece, direk ısıl işlem uygulanmadan kullanılabilme özelliğine sahiptir. Yapı çeliği olarak genellikle St 37 çeliği bilinir, çelik konstrüksiyon, makina parçaları üretiminde kullanılabilen DIN 17100 standartlarına bakılarak belirlenmiş çekme kuvveti 37 kgf/mm² dir [43,44]. Yaptığımız bu çalışmada ST 37 kalitedeki malzemelere gaz altı kaynağı ve elektrod kaynağı ile kaplama uygulayarak farklı parametrelerde erozif aşınma davranışları incelenmiştir.

Numuneleri hazırlamak için öncelikle ST37 (S235) 10 mm x 2000 mm x 12000 mm sac plakadan 10 mm x 10 mm ebatlarında 300 mm boyunda 8 adet parça kesilmiştir. Hazırlanan numuneler kaplama işlemi yapılmak üzere kaynak atölyesinde elektrot ve gaz altı teli ile kaplanmıştır. Numuneleri hazırlamak için sac plakadan kesilen malzemeler Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Saç plakadan kesilen malzemeler.

Hazırlanan saç plakadan kesilen malzemeler tek bir yüzeyden olmak üzere boyuna, 3 adedi bazik elektrot 3,2 mm Geka Laser B47, diğer 3 adedi SG3 1,2 mm gaz altı kaynak teli ile kaynak kaplaması yapılmıştır. 2 adet numune de kaplamasız olarak deneylerimizde şahit numune olarak kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde kaynak kalınlarının kumpasla ölçümleri sonucunda 1,5 – 3 mm kaynak kalınlığı olduğu tespit edilmiştir. Bu iki farklı kaynak kaplama ile kaplanan deney numuneleri öncelikle boyları 30 mm olacak şekilde şerit testere tezgahında kesilmiştir. Deneylerde kullanılacak malzemeler Şekil 4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Deneyde kullanılacak numuneler.

Kesilen numuneler freze tezgahında kaynak kaplaması minimum 1 mm olacak şekilde 5 mm yüzeylerde boyuna talaş kaldırma işlemleri yapılmıştır. Kaplamasız olan

yüzeyler ise 6 mm olarak ayarlanmıştır. 5 mm x 30 mm kaplama yüzeylerinin karışıklık olmaması adına karşı yüzeyine boyuna çentik atılmıştır.

4.2. DENEY TASARIMI, PARAMETRELERİ VE SÜRECİ

İçinde katı tanecikler bulunduran sıvının malzeme yüzeyiyle etkileşime girmesinden dolayı gerçekleşen, malzemenin yüksek oranda hasar görmesine sebep olan aşınmaya çamur (slurry) erozyonu denir [45] Bu aşınma sürecinde malzeme yüzeyine partiküllerin sürekli teması neticesinde malzemede kütle kaybı oluşmaktadır.

Deney düzeneği 240 mm iç çap değerinde, toplam 10 lt haciminde bir hazne, bu hazne içinde çevresel olarak aynı mesafelerde yerleşmiş olan toplamda altı adet plakadan oluşmaktadır. Haznenin altında dört kanatlı karıştırıcı pervane bulunmaktadır. AC motor vasıtasıyla 1.1 kW güçte devir ayarlı karıştırıcı kayış kasnak düzeneği kullanılıp çalışmaktadır [46].

Deneylede kullanılacak olan numune, numune tutucu yardımıyla deneye katılmaktadır. Numune tutucu kollar aracılığıyla kol tutucuya, kol tutucuya bir mile bağlı olarak yerleştirilmiştir. Ayrıca ikinci AC motoruyla 1.1 kW güçte devir ayarlı kayış kasnak mekanizmasıyla eksenini çevresinde dönmektedir. Elektrik motorlarında bulunan sürücü ve elektrik panosu Şekil 4.4'de deney düzeneği ile birlikte gösterilmektedir. Numune tutucunun yerinden kaynaklı kumla numune teması normal çarpma açısı 90° dir. Numune kollarında dönme yarıçapları 72 mm olan tutucular bulunmaktadır. Malzemeler 30 mm x 5 mm x 6 mm ölçülerinde hazırlanmıştır [46].



Şekil 4.4. Deney düzeneği ve elektrik motorlarının panosu.

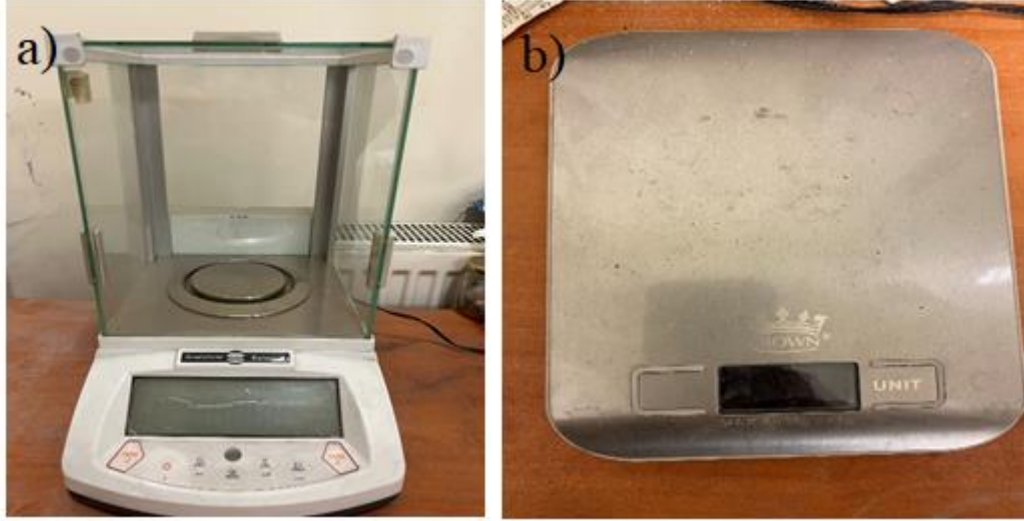
Yapılan deneylerde aşındırıcı malzeme olarak içerisinde silisyum, oksijen ve diğer elementler bulunduran, ortalama partikül boyutları 512,5 μm (mikrometre) olan silisyum oksit (silika yada kuvars) kumu kullanılmıştır. Aşındırıcı kum eleme işlemi 425 μm ve 600 μm aralıklarında yer alan iki adet endüstriyel elek sayesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan kum Şekil 4.5 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Deneyde kullanılan kum.

Deneyde kullanılacak numuneler birbirleriyle karıştırılmaması için ayrı ayrı kutulara koyulmuştur. Numuneler deneye başlamadan önce musluk suyu ile yıkanmış ve daha sonra kurutma cihazı ile sıcak hava üfleyerek kurutulmuştur. Ayrıca tüm deney numuneleri 400 ve 800 grit zımpara ile yüzey pürüzlülüklerinin azaltılması için

öncesinde zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler 0,1 mg hassasiyete sahip terazi ile tartılmış, alınan sonuçlar not edilmiştir. Numunelerin tartıldığı terazi ve kumun tartıldığı terazi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. a) Numunelerin tartıldığı hassas terazi, b) Aşındırıcı kumun tartıldığı hassas terazi.

Daha sonra numuneler numune tutucuya yerleştirilerek sabitleme cıvatası ile sabitlenmiştir. Numune tutucuya bağlanmış numune Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Tutucuya bağlanmış numune.

Yapılan bu çalışmada öncelikle 10 lt hacme sahip hazneye %10 oranında kum ve geri kalanı su olmak üzere sulu çamur hazırlanmıştır. Yapılan bütün deneylerde su kum konsantrasyonu sabit tutulmuş, toplamda 27 numune aşınma uygulandığından kum su

konsantrasyonu birkaç kez tahliye edilip yeniden konsantrasyon aynı değerlere getirilmiştir. Deneylerde 1,5 m/s, 3 m/s 4,5 m/s çarpma hızına (V) karşılık gelen 235 d/d, 471 d/d, 706 d/d devir değerleri kullanılmış olup numune tutuculara bağlanan numunelerin farklı çarpma açlarına maruz kalmaları adına 15°, 30°,45° çarpma açıları (α)deneylerde kullanılmıştır. Ayrıca numune dönme yönüyle karıştırıcı dönme yönü değişik yönlerde uygulanmıştır. Her bir farklı parametre için 3 tekrarda deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.3. REGRESYON ANALİZİ

İki veya daha fazla değişken arasındaki bağıntıyı ölçmek amacıyla kullanılan analiz yöntemine regresyon analiz yöntemi denir. Regresyon çözümlemesi bir değişkenin başka değişkenlere bağıllığıyla olan ilişkisini ele alır. Bir değişken ile analiz yapılıyor ise tek değişkenli regresyon, birden fazla değişken ile analiz yapılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regresyon yöntemiyle elde edilen sonuçlarda, eğer ilişki bulunuyor ise bunun etkisiyle ilgili bilgi sahibi olunabilir.[54]

Doğrusal regresyon analiz yöntemi, yapılan çalışmalarda sık kullanılan yöntemlerden biridir. İki veya daha çok değişken arasında doğrusal ilişkiyi bulmak daha sonra bu ilişkiyi kullanıp ilgili parametreyle, model kestirimi veya ilerleyen çalışmalar için tahmin yapmak için kullanılmaktadır. Çalışmalarda bulgular, genellikle bir değişkeninin başka değişkenden etkilenmiş olmasını ve ne ölçüde etkilendiğini belirlemek amacıyla toplanır.[55]

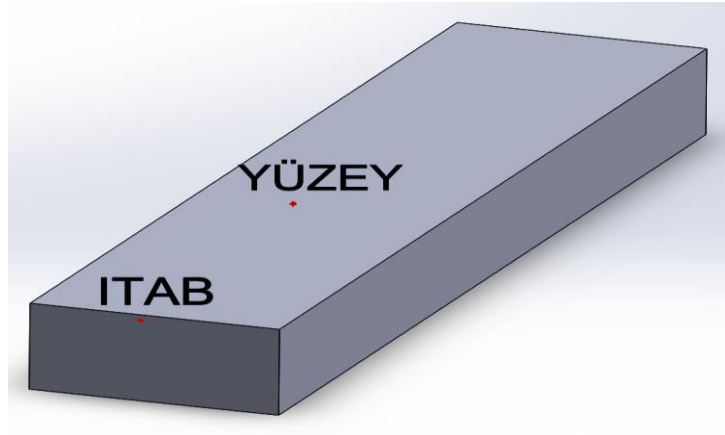
Yapılan bu çalışmada, çarpma hızı ve çarpma açısı değişken parametrelerinin kütle kaybına etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi adına Minitab programı kullanılarak Doğrusal Regresyon metodu kullanılarak analiz sonuçları elde edilmiştir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

Deneylerden elde edilen numunelerin sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 3 farklı noktadan ve 3 tekrarda gerçekleştirilen ölçümler mikro vickers sertlik yöntemi kullanılarak QNESSQ10 A+ deney cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi uygulanmış yüzeylerin sertliklerinin ölçüm noktaları şekil 5.1’de gösterilmektedir. 1. Nokta kaplamalı bölgeye, 2. nokta ısı tesiri altında kalan bölgeye ve 3. noktada ısı tesirinden uzakta kalan bölgeye aittir. Kaplamasız St37 numunesinde mikro sertlik değeri belirlenmiş ve tüm numunelerin mikro sertlik değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Elde edilen sertlik değerleri incelendiğinde en sert yüzey sertliğine sahip numunelerin gaz altı kaynaklı ile kaplanmış numuneler olduğu görülmektedir. En düşük yüzey sertlik değeri ise kaplama uygulaması yapılmamış ST37 numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Mikro sertlik ölçüm noktalarının numune üzerinde şematik gösterimi.

Tablo 5.1. Elde edilen mikro sertlik değerleri.

Numune Tipi	Sertlik Değeri
Gaz altı Kaynak	480 HV0,2
Gaz altı Kaynak ITAB	201 HV0,2
Elektrot	298 HV0,2
Elektrot ITAB	192 HV0,2
ST37	175 HV0,2

5.2. KÜTLE KAYBI

Deneyleer sonucunda aşınmanın etkisiyle numunelerin yüzeyinden parça kopmasıyla birlikte malzemelerde kütle kaybı olmaktadır. Bu kaybın hesaplanması için deneyleere başlamadan önce her numune hassas terazi ile tartılmıştır. Tartım işlemini yapmadan önce numuneler yıkanmış sonrasında sıcak hava üfleyerek kurutulmuştur. Deneylee sürecinden sonra aynı tartım işlemleri tekrar uygulanarak ortaya çıkan kütle kaybı hesaplanmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde en fazla kütle kaybı 45° çarpma açısında, 4,5 m/s çarpma hızında $11\text{ mg} \pm 0,09\text{ mg}$ değeri ile kaplamasız St37 numunesinde elde edilmiştir. En az kütle kaybı 15° çarpma açısında, 1,5 m/s çarpma hızında $0,6\text{ mg} \pm 0,05\text{ mg}$ değeri ile gaz altı kaynağı ile kaplanmış numune de tespit edilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde kütle kaybındaki artışın çarpma açısı ve çarpma hızı ile doğru orantılı olduğu, yüzey sertlik değeri ile ise ters orantılı olduğu ve artan yüzey sertliğiyle birlikte kütle kaybının azaldığı görülmüştür. Demirsöz (2018)'ün yapmış olduğu çalışmasında en düşük aşınma kaybı ölçülen en yüksek yüzey sertliği değerine sahip olan AISI 440 C numunesinde görülürken kayıp miktarının en fazla olduğu St-37-2 kalite çelik olmuştur. En düşük sertlik değeri ise St 37-2 numunesindedir. Erozif aşınma sonuçlarıyla sertlik değerlerinin uyumluluğu saptanmıştır. Elde edilen kütle kaybı sonuçları Tablo 5.2'de görülmektedir [46].

Tablo 5.2. Aşınma numunelerinden elde edilen kütle kaybı sonuçları.

Parametreler		ST37		Gazaltı Kaynak Kaplanmış		Elektrod Kaynak Kaplanmış									
No	Ortam	Çarpma Açısı (°)	Çarpma Hızı (m/s)	Kütle Kaybı (mg)	Ort. Kütle Kaybı (mg)	Kütle Kaybı (mg)	Ort. Kütle Kaybı (mg)	Kütle Kaybı (mg)	Ort. Kütle Kaybı (mg)						
1	10%	15°	1,5	1,1	1,13 ± 0,15	0,6	0,63 ±	0,8	0,8 ± 0,1						
2				1,3		0,6		0,05		0,7					
3				1		0,7		0,9							
4		30°	3	3	2,3	2,33 ± 0,15	1,4	1,43 ±	1,7	1,73 ± 0,05					
5					2,5		1,6		0,15		1,7				
6					2,2		1,3		1,8						
7					4,5		5,4		5,4 ± 0,2		3,3	3,33 ±	4,8	4,8 ± 0,1	
8							5,6				3,4		0,05		4,7
9							5,2				3,3		4,9		
10	45°	30°	1,5	1,4	1,43 ± 0,15	0,9	0,9 ± 0,1	1,2	1,2 ± 0,19						
11				1,3		0,8		1							
12				1,6		1		1,4							
13		3	3	3	3,5	3,53 ± 0,05	2,1	2,1 ± 0,1	3,1	3,13 ± 0,05					
14					3,6		2,2		3,2						
15					3,5		2		3,1						
16					4,5		8,3		8,26 ± 0,05		6,1	6,1 ± 0,1	7,3	7,3 ± 0,1	
17							8,2				6,2		7,4		
18							8,3				6		7,2		
19	45°	45°	1,5	1,9	1,76 ± 0,11	1,4	1,36 ±	1,7	1,73 ± 0,05						
20				1,7		1,4		0,05		1,7					
21				1,7		1,3		1,8							
22		3	3	3	7	7,13 ± 0,15	5,5	5,36 ±	6,5	6,46 ± 0,05					
23					7,3		5,3		0,11		6,4				
24					7,1		5,3		6,5						
25		4,5	4,5	4,5	10,9	10,9 ± 0,09	8,5	8,46 ±	9,9	9,9 ± 0,09					
26					10,8		8,4		0,05		10				
27					11		8,5		9,8						

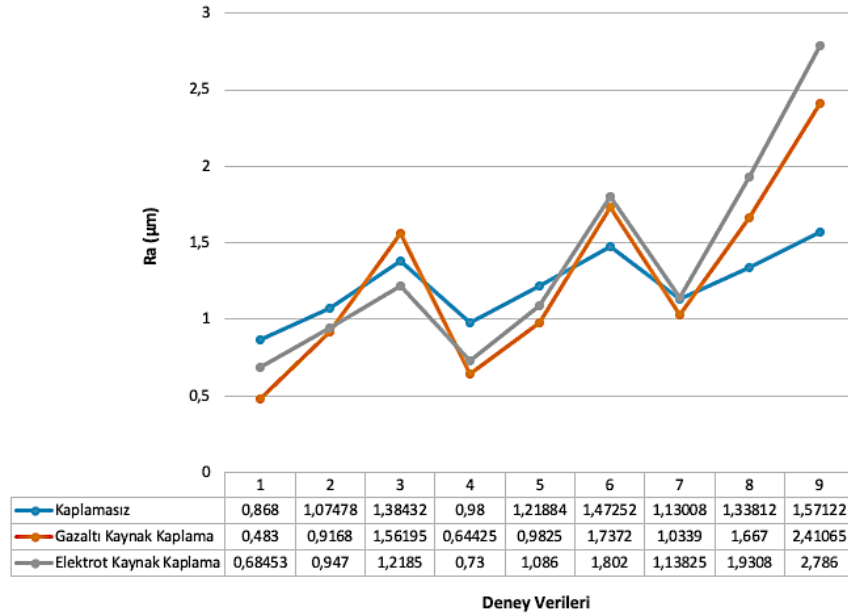
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri ve boyutları aşınmayı etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde Tablo 5.3'teki sıralama dikkate alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan grafikler tablodaki sıralamaya göre elde edilmiştir.

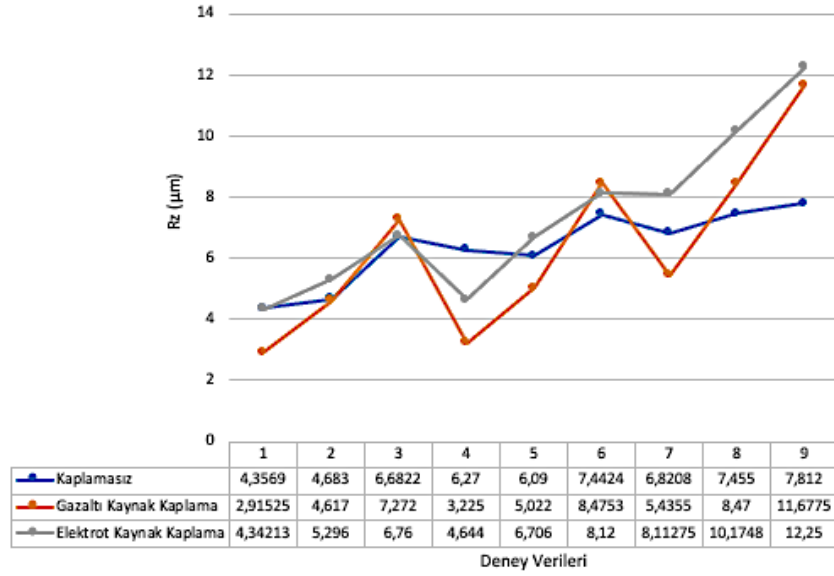
Gerçekleştirilen deneyler neticesinde aşındırıcıların yüzeye olan etkisi ile aşınmış yüzeyler üzerinden yüzey pürüzlülük değerleri Mahr MarSurf M400 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümlerine ait Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü) değerleri Şekil 5.2’de, Rz (maximum yüzey pürüzlülüğü) değerleri Şekil 5.3’te gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Deney Koşulları.

Deney no	Hız(m/s)	Çarpma Açısı
1	1,5	15°
2	3	15°
3	4,5	15°
4	1,5	30°
5	3	30°
6	4,5	30°
7	1,5	45°
8	3	45°
9	4,5	45°



Şekil 5.2. Numunelerin Ra yüzey pürüzlülük değerleri.



Şekil 5.3. Numunelerin Rz yüzey pürüzlülük değerleri.

Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, kaplamasız, gaz altı kaplamalı ya da elektrod kaplamalı numunelerin hepsinde çarpma hızı ve açısı parametreleri arttığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve yüzey sertliği arttıkça, yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek hızlara çıktığında kaplamalı numunelerdeki yüzey pürüzlülüğünün kaplamasız numuneye göre daha fazla çıktığı görülmektedir. Bu durumun artan hızla birlikte kaplamaların bölgesel olarak dökülmesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

5.4. REGRESYON ANALİZLERİ

5.4.1. Kütle Kaybı İçin Regresyon Sonuçları

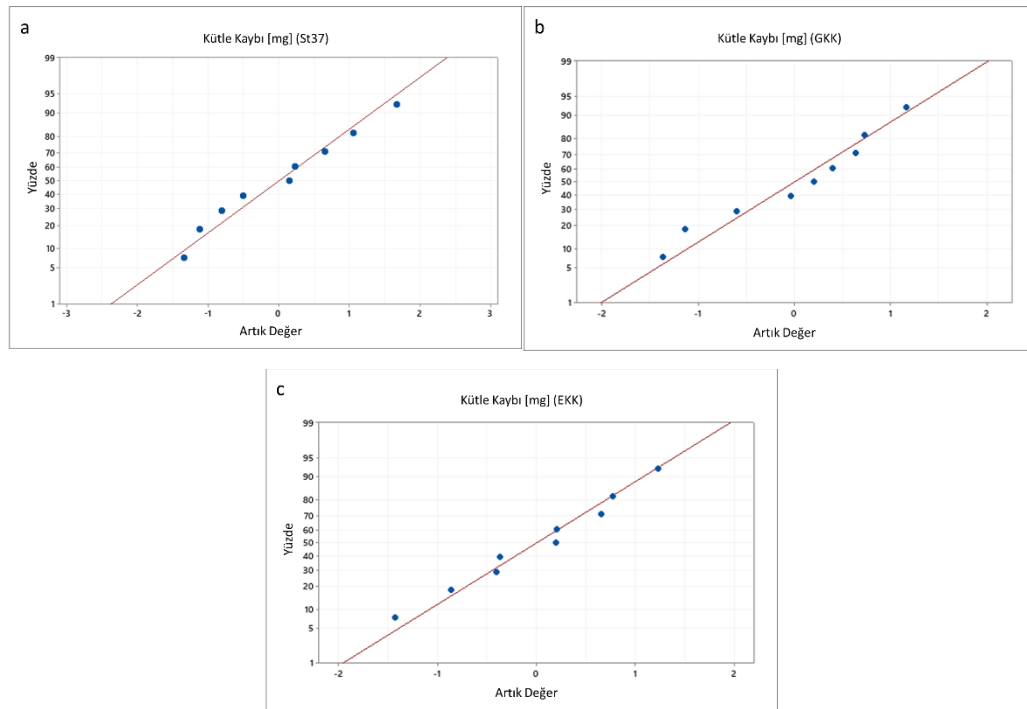
Kütle kayıpları tespit edilen numunelere ait sonuçlar. MİNİTAB programı kullanılarak doğrusal regresyon modeli oluşturularak analiz edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen normal olasılık grafikleri Şekil 5.4'te görülmektedir. Gerçekleştirilen regresyon analizinde R^2 değerleri, kaplamasız St37 numune için %92,10 gaz altı kaynak kaplamalı numune için %90,03 ve elektrod kaynak kaplamalı numune için %93,01 bulunmuştur, bu değerlerin 1'e yakın bir değer olması sonuçların birbiri ile ilişkisinin güçlü olduğunu desteklemektedir [56]. Elde edilen grafiklerle çarpma açısı ve çarpma hızı parametrelerinin kütle kaybı üzerindeki etkisi görülmektedir. Bununla birlikte

çarpma açısı ve çarpma hızının kütle kaybı ile ilişkisini tanımlayan regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Kütle Kaybı} &= 4,652 - 1,699 \text{ Çarpma Açısı [15°]} - 0,246 \text{ Çarpma Açısı [30°]} \quad (5.1) \\ \text{[mg] (St37)} &+ 1,944 \text{ Çarpma Açısı [45°]} - 3,212 \text{ Çarpma Hızı [1,5 m/s]} \\ &- 0,322 \text{ Çarpma Hızı [3,0 m/s]} + 3,534 \text{ Çarpma Hızı [4,5 m/s]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kütle Kaybı} &= 3,297 - 1,500 \text{ Çarpma Açısı [15°]} - 0,263 \text{ Çarpma Açısı [30°]} \quad (5.2) \\ \text{[mg] (GKK)} &+ 1,763 \text{ Çarpma Açısı [45°]} - 2,333 \text{ Çarpma Hızı [1,5 m/s]} \\ &- 0,333 \text{ Çarpma Hızı [3,0 m/s]} + 2,667 \text{ Çarpma Hızı [4,5 m/s]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kütle Kaybı} &= 4,117 - 1,673 \text{ Çarpma Açısı [15°]} - 0,240 \text{ Çarpma Açısı [30°]} \quad (5.3) \\ \text{[mg] (EKK)} &+ 1,913 \text{ Çarpma Açısı [45°]} - 2,873 \text{ Çarpma Hızı [1,5 m/s]} \\ &- 0,343 \text{ Çarpma Hızı [3,0 m/s]} + 3,217 \text{ Çarpma Hızı [4,5 m/s]} \end{aligned}$$



Şekil 5.4. Kütle kaybı için lineer regresyon sonucu elde edilen normal olasılık grafikleri, a) Yüzey kaplamasız ST37 numunesi, b) Gaz altı kaynak kaplamalı numune, c) Elektrod kaynak kaplamalı numune.

5.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü İçin Regresyon Sonuçları

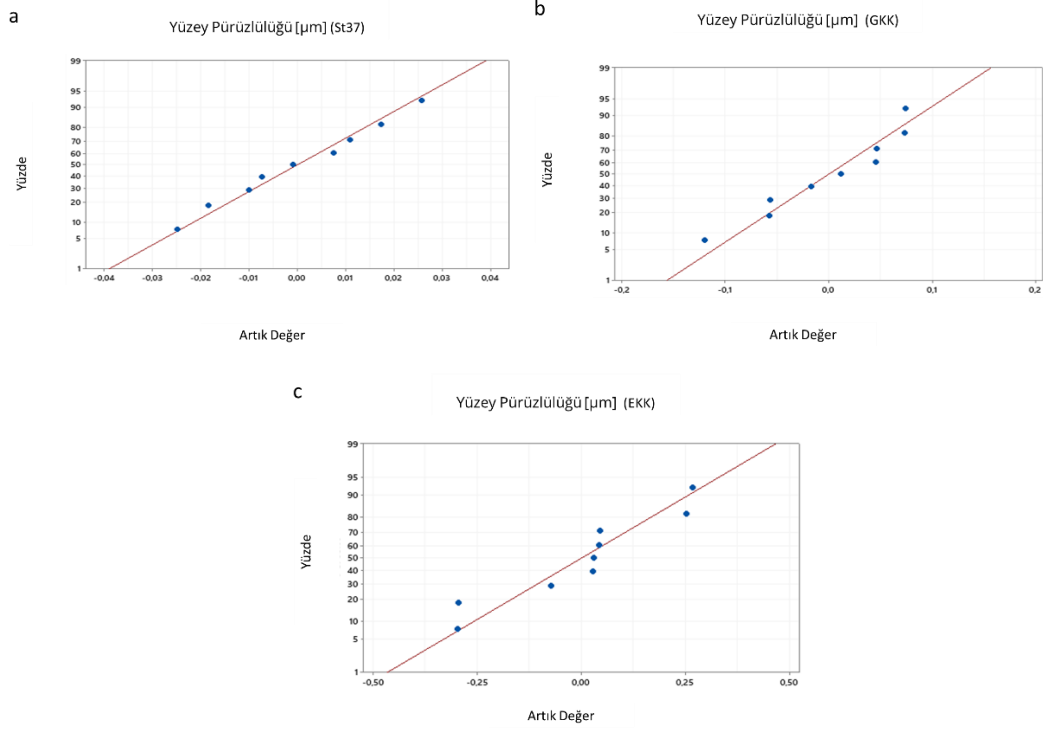
Yüzey pürüzlülük değerleri tespit edilen numunelere ait sonuçlar kütle kaybında olduğu gibi MİNİTAB programı kullanılarak doğrusal regresyon modeli oluşturularak

analiz edilmiştir. Analizler sonucu elde edilen normal olasılık grafikleri Şekil 5.5'te görülmektedir. Gerçekleştirilen regresyon analizinde R² değerleri, kaplamasız St37 numune için %99,49 gaz altı kaynak kaplamalı numune için %98,80 ve elektrod kaynak kaplamalı numune için %91,34 bulunmuştur. Elde edilen grafiklerle çarpma açısı ve çarpma hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi görülmektedir. Bununla birlikte çarpma açısı ve çarpma hızının yüzey pürüzlülüğü ile ilişkisini tanımlayan regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \text{Yüzey} &= 1,22643 - 0,1174 \text{ Çarpma Açısı [15°]} && - (5.4) \\
 \text{Pürüzlülüğü} &0,0026 \text{ Çarpma Açısı [30°]} + 0,120 \text{ Çarpma Açısı [45°]} \\
 [\mu\text{m}] \text{ (St37)} &- 0,2337 \text{ Çarpma Hızı [1,5 m/s]} - 0,0159 \text{ Çarpma Hızı [3,0} \\
 &\text{m/s]} + 0,2496 \text{ Çarpma Hızı [4,5 m/s]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Yüzey} &= 1,2708 && - 0,2836 \text{ Çarpma Açısı [15°]} \quad (5.5) \\
 \text{Pürüzlülüğü} &- 0,1495 \text{ Çarpma Açısı [30°]} + 0,4330 \text{ Çarpma Açısı [45°]} \\
 [\mu\text{m}] \text{ (GKK)} &- 0,5504 \text{ Çarpma Hızı [1,5 m/s]} - 0,820 \text{ Çarpma Hızı [3,0} \\
 &\text{m/s]} + 0,6325 \text{ Çarpma Hızı [4,5 m/s]}
 \end{aligned}$$

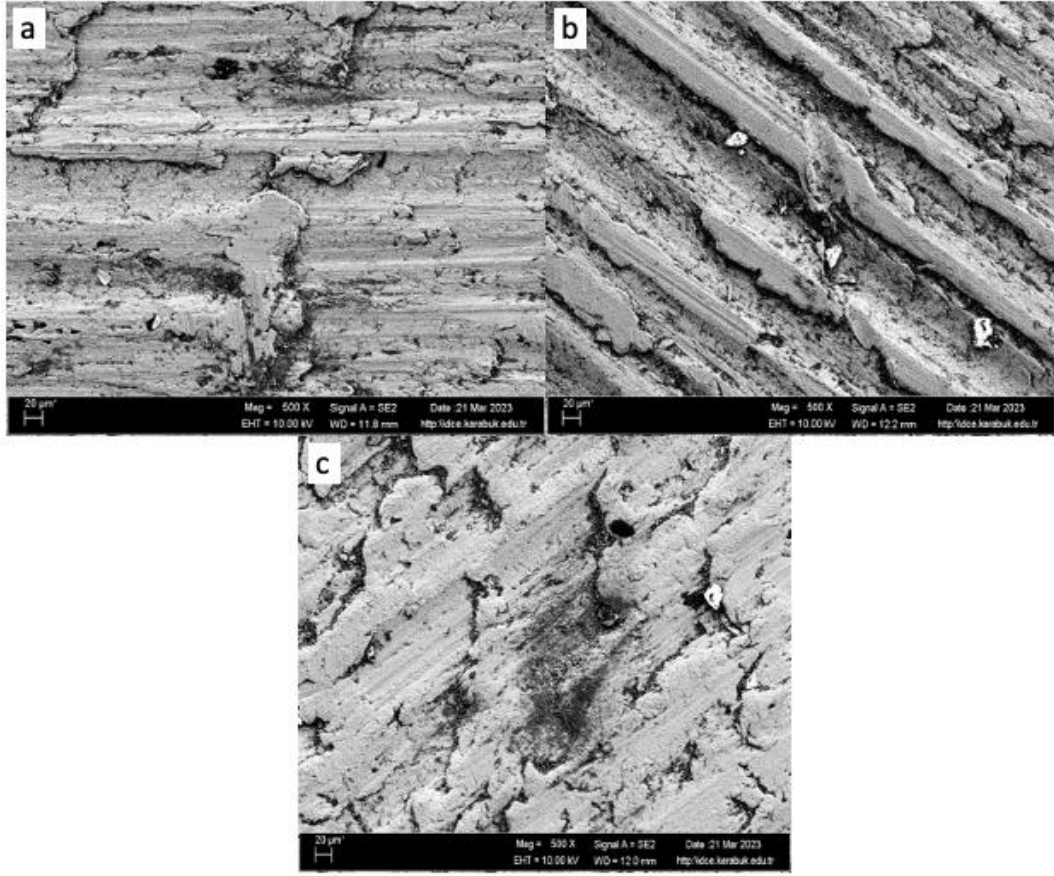
$$\begin{aligned}
 \text{Yüzey} &= 1,3692 && - 0,419 \text{ Çarpma Açısı [15°]} \quad (5.6) \\
 \text{Pürüzlülüğü} &- 0,163 \text{ Çarpma Açısı [30°]} + 0,582 \text{ Çarpma Açısı [45°]} \\
 [\mu\text{m}] \text{ (EKK)} &- 0,518 \text{ Çarpma Hızı [1,5 m/s]} - 0,048 \text{ Çarpma Hızı [3,0 m/s]} \\
 &+ 0,566 \text{ Çarpma Hızı [4,5 m/s]}
 \end{aligned}$$



Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü için lineer regresyon sonucu elde edilen normal olasılık grafikleri, a) Yüzey kaplamasız ST37 numunesi, b) Gaz altı kaynak kaplamalı numune, c) Elektrod kaynak kaplamalı numune

5.5. AŞINMA YÜZEYLERİ

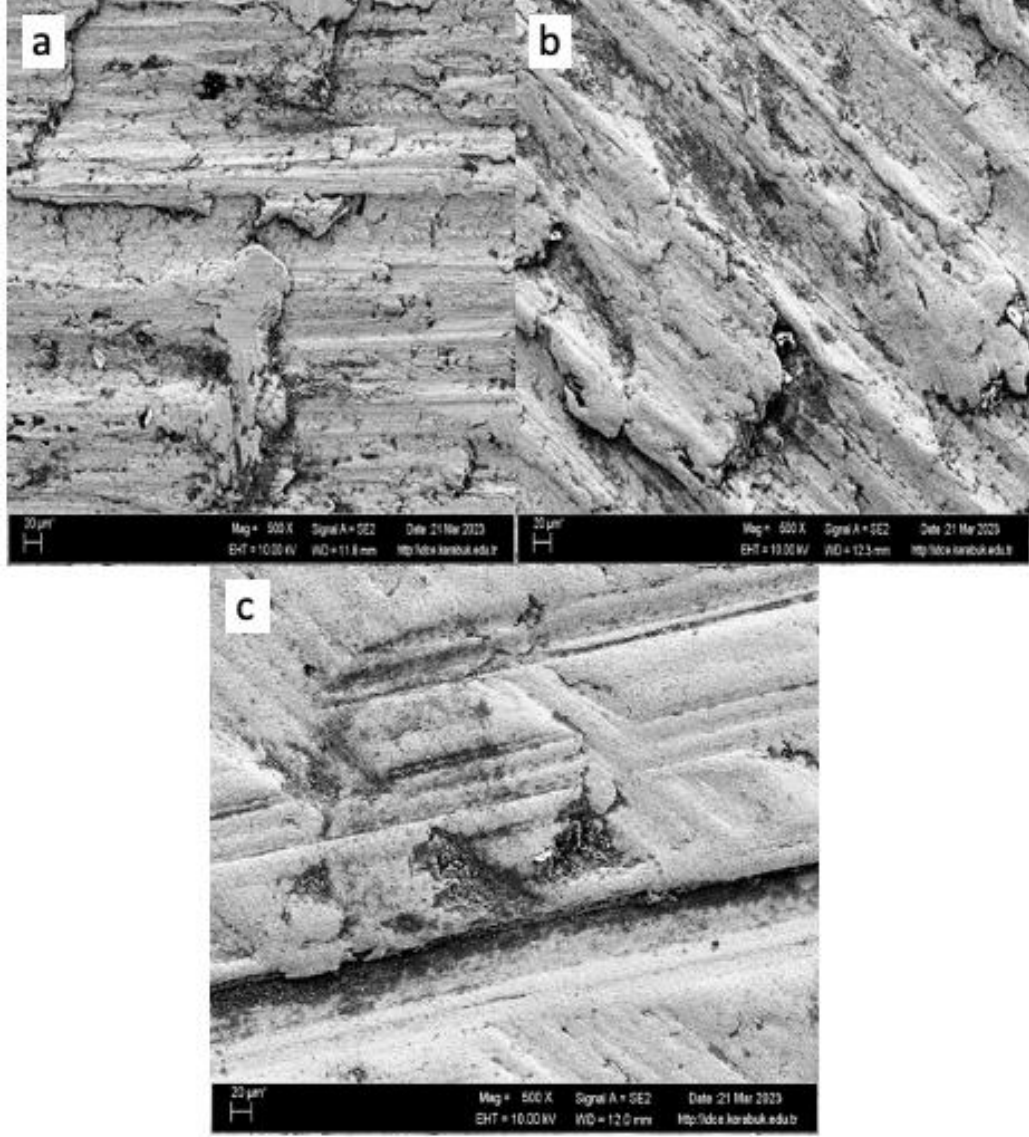
Deneylerde toplamda iki farklı kaplamalı ve kaplamasız olacak şekilde 3 farklı özellikte numune kullanılmış ve her çeşit için 9 adet parametrede ve 3 tekrarda toplamda 81 deney gerçekleştirilmiştir. Çarpma hızı, çarpma açısı ve kaplama parametreleri açısından SEM görüntüleri karşılaştırılmıştır. Görünen pulluklama izlerinin yönü aşınma yönlerini temsil etmemektedir. SEM görüntüleri alınırken cihazın farklı açılarda numuneye yaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Çarpma hızının erozif aşınma üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için yüzey kaplaması gerçekleştirilmemiş, kaplamasız St37 çeliğinin sabit açı değerinde farklı hızlardaki deneylerinden elde edilen yüzeylere ait SEM görüntüleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Hız değeri arttıkça yüzey pürüzlülüğünün ve yüzeye aşındırıcı malzemelerin nüfusiyetinin arttığı görülmektedir. V.Erduran Erdem'in yapmış olduğu çalışmasında AISI1060 çeliği 3 değişik hız değerinde (57 m/s, 76 m/s ve 95 m/s) olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çarpma hızının artmasıyla erozif aşınma değerinin arttığı sonucuna varmıştır [47].



Şekil 5.6. Farklı hızlarda sabit açı değerinde (15°) deneyleri gerçekleştirilen kaplamasız numunelerin 500X SEM görüntüleri, a) 1,5 m/s b) 3,0 m/s c) 4,5 m/s.

Çarpma açısının erozif aşınma üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için yüzey kaplaması gerçekleştirilmemiş, kaplamasız St37 çeliğinin sabit hızlarda farklı açı değerlerindeki deneylerinden elde edilen yüzeylere ait SEM görüntüleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Çarpma açısı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün ve yüzeye nüfuz eden aşındırıcı malzeme miktarının arttığı görülmektedir. Gökşenli ve Kosa (2015) yaptıkları çalışmalarında sünek ve gevrek malzemelerin farklı çarpma açılarının erozif aşınma üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında aynı zamanda 2 malzemenin test edildiği deney düzeneğini kullanmışlardır. St 37 çeliğine, yüzey sertliğinin aşınma oranına ve aşınma mekanizmasına parçacık çarpma açısının etkisini incelemişlerdir. Yapılan deney sonuçları irdelendiğinde yüzey sertliği arttıkça aşınmanın azaldığı sonucuna varılmıştır. Partikül çarpma açısının artması ile aşınmanın arttığı ve

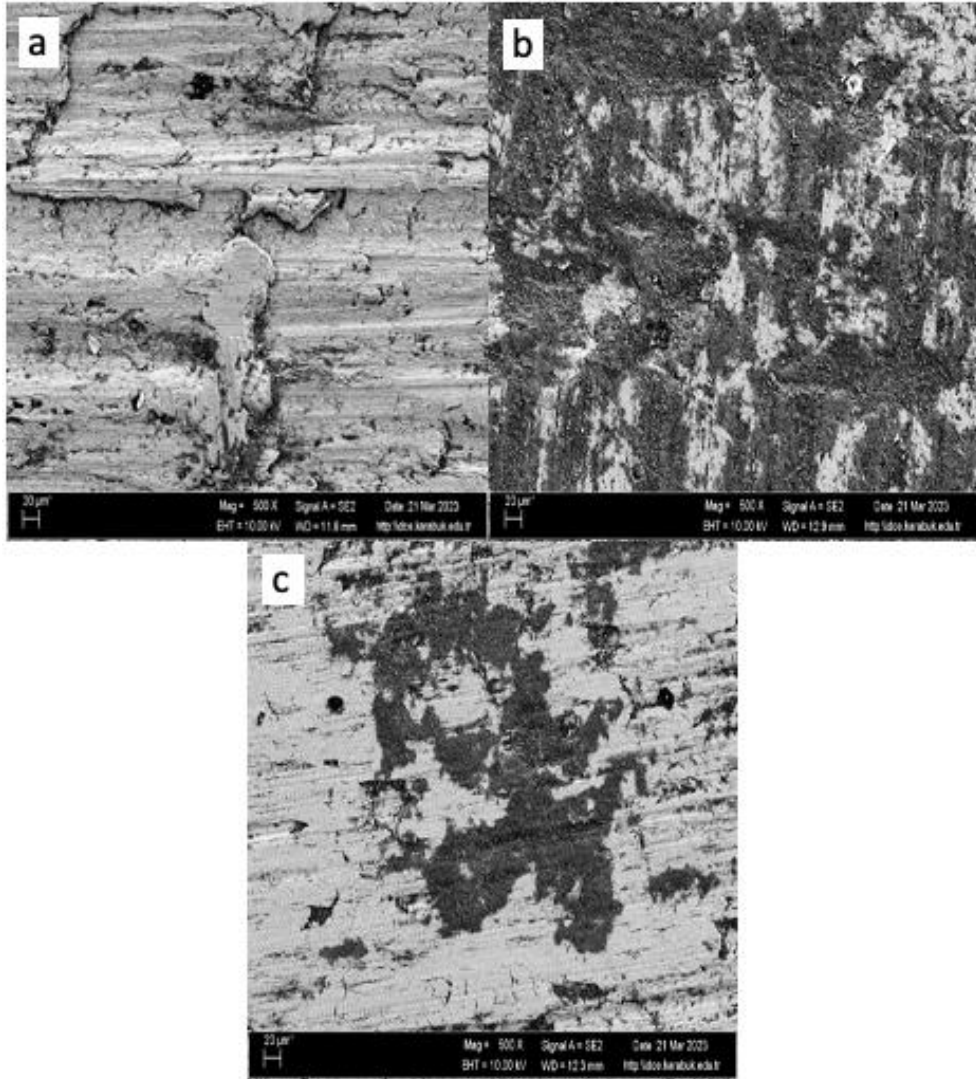
maksimum aşınma değerin de deneylerde kullanılan en yüksek çarpma açısı değeri olan 45°'de elde edildiği sonucuna varılmıştır [48].



Şekil 5.7. Farklı açı değerlerinde sabit hızlarda (1,5 m/s) deneyleri gerçekleştirilen kaplamasız numunelerin 500X SEM görüntüleri, a) 15°, b) 30°, c) 45°.

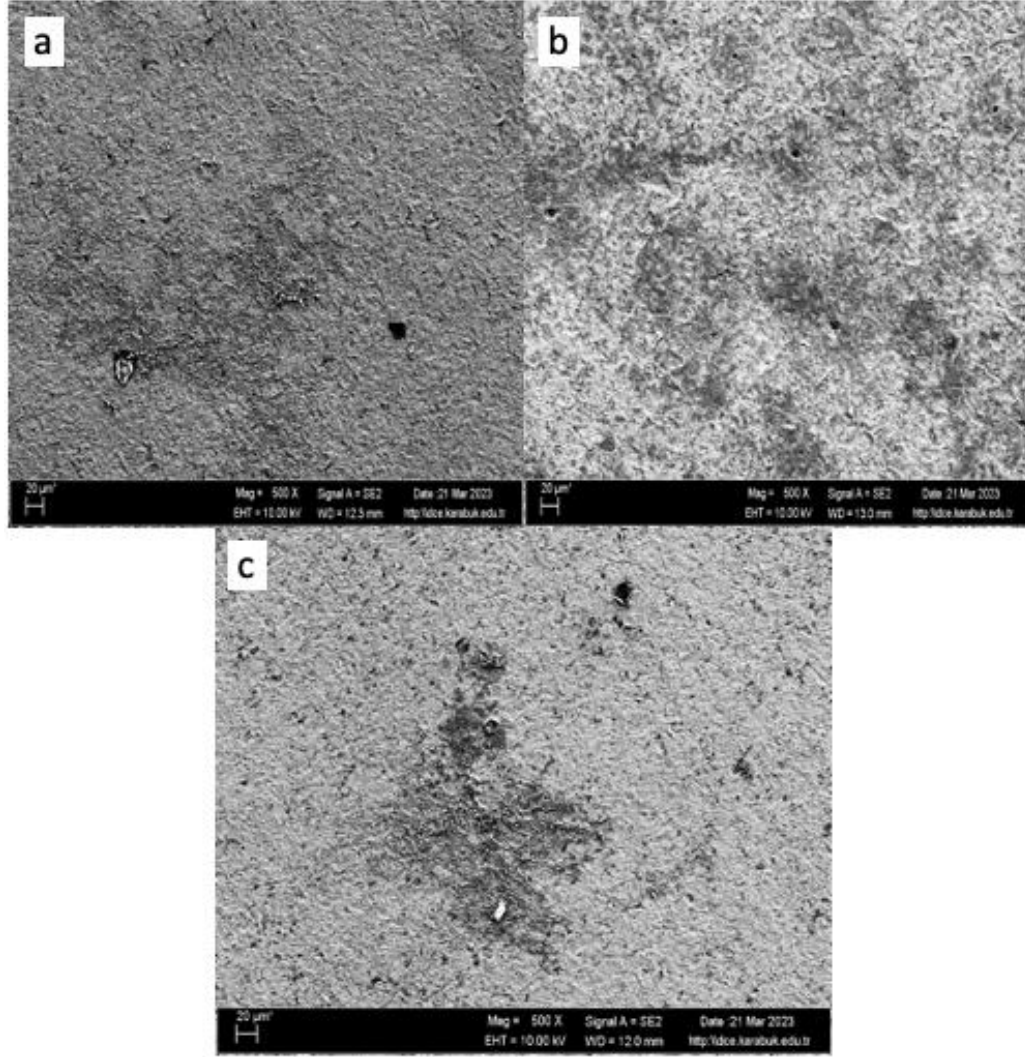
Yüzey kaplamasının aşınma direnci üzerindeki etkinin anlaşılması için çarpma hızı ve çarpma açısının aynı olduğu deney sonuçlarına ait SEM görüntüleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.8). Görüntüler incelendiğinde, kaplamasız numunedeki aşınma miktarının diğerlerine göre daha fazla olduğu, iki farklı kaplamaya sahip numunelerde ise daha fazla yüzey sertliğine sahip olan gaz altı kaynak ile kaplanmış numune de aşınma miktarının daha düşük olduğu görülmektedir. Kumar (2011) çalışmasında boru ve

pompa malzemesi 13Cr-4Ni çeliği olan santral külü taşınan sistemi incelenmiştir. Malzeme yüzeyine HVOF yöntemi ile alüminyum oksit ve krom oksit toz kaplamaları, aşınma dayanımını artırmak için uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde kaplama uygulanmış her iki malzemeninde kaplamasız malzemedan daha iyi performans gösterdiklerini gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, kaplamasız 13Cr-4Ni çeliğine göre krom oksit kaplamalı çeliğinin 3 kat daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.[40]



Şekil 5.8. Sabit açı (15°), sabit hız (1,5 m/s) ve farklı yüzey kalitelerindeki numunelerin deneylerinden elde edilen 500X SEM görüntüleri, a) kaplamasız, b) gaz altı kaplama, c) elektrod kaplama.

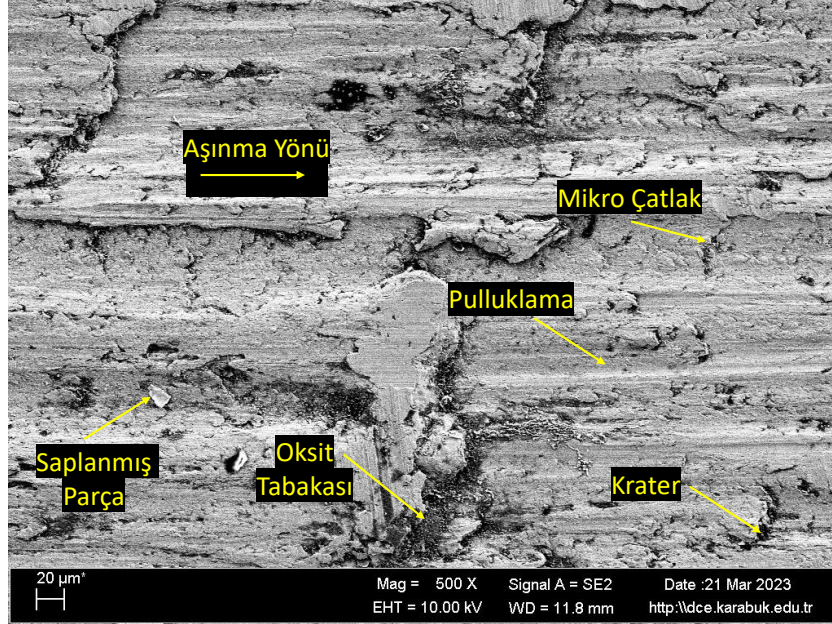
Deneylemler sonucunda, 4,5 m/s çarpma hızı ve 45° çarpma açısına sahip kaplamalı ve kaplamasız numunelerden meydana gelen SEM görüntüleri Şekil 5.9'da karşılaştırılmıştır.



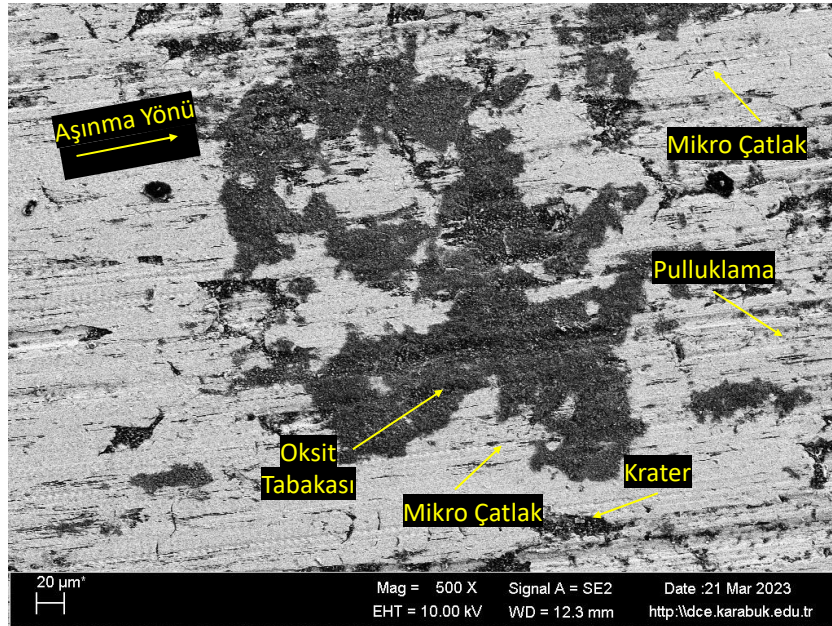
Şekil 5.9. Sabit açı (45°), sabit hız (4,5 m/s) ve farklı yüzey kalitelerindeki numunelerin deneylerinden elde edilen 500X SEM görüntüleri, a) kaplamasız, b) gaz altı kaplama, c) elektrod kaplama.

Erozif aşınma sonucunda temas eden aşındırıcının numune yüzeyine kesme ve dalma biçiminde işlemesi yiv ve kanalları oluşturmaktadır. Bu yivlerin pulluklama mekanizması ile meydana geldiği anlaşılmaktadır. Malzeme yüzeyinde çarpmalar sonucunda çatlak olan bölgelerde kopma sonucunda mikro çatlak oluştuğu görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde kaplamalı malzemelerde oksit tabakasının dağılımı daha belirgin halde gözlemlenmiştir. Aşınma yönü, mikro çatlak,

saplanmış parça, oksit tabakası, pulluklama ve krater bölgeleri kaplamasız numuden alınan SEM görüntüsü Şekil 5.10’da, kaplamalı numuneden alınan SEM görüntüsü ise Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Kaplamasız numuden alınan SEM görüntüsünde aşınma yönü, mikro çatlak, saplanmış parça, oksit tabakası, pulluklama ve krater bölgelerinin gösterimi



Şekil 5.11. Kaplamalı numuden alınan SEM görüntüsünde aşınma yönü, mikro çatlak, oksit tabakası, pulluklama ve krater bölgelerinin gösterimi

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, kaplamasız, gaz altı kaynağı ile kaplanmış ve elektrot kaynağı ile kaplanmış St-37 numune çeliklerinin eroziv aşınma davranışları incelenmiştir. Deneyleerde boyutları 5 mm x 6 mm x 30 mm olan numuneler kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak %10 kum içeren su-kum karışımı kullanılmıştır. Deneyleerde, 1,5 m/s, 3 m/s ve 4,5 m/s partikül çarpma hızları ve 15°, 30° ve 45° çarpma açıları kullanılmıştır. Her bir parametre için deneyleer 3 tekrarda gerçekleştirilmiştir. Deneyleer sonucunda elde edilen numunelerin kütle kaybı, sertlik, yüzey pürüzlülükleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile meydana gelen görüntüleri incelenmiştir. Doğrusal regresyon metodu uygulanarak analiz sonuçları elde edilmiştir.

Deneyleer sonuçlarına göre;

- Aşındırıcı çarpma hızının arttırılmasıyla aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir. Çarpma hızı parametresine göre en yüksek aşınma 4,5 m/s hıza sahip numunelerde elde edilmiştir.
- Aşındırıcı çarpma açısının arttırılmasıyla aşınma miktarının arttığı tespit edilmiştir. Çarpma açısı parametresine göre en yüksek aşınma 45° açıya sahip numunelerde elde edilmiştir.

Numunelerin sahip olduğu yüzey sertlik değerleri karşılaştırıldığında, yüzey sertliği arttığında aşınma miktarının düştüğü tespit edilmiştir. Yüzey sertliği en yüksek olan gaz altı kaynak ile kaplanmış numunenin en az aşınma miktarına sahip olduğu görülmüştür.

6.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada kullanılan St37 numunesine gaz altı ve elektrot kaynağı ile kaplama uygulanmıştır. Gaz altı kaynağı ile kaplanmış numunelerin aşınmaya daha fazla direnç gösterdiği bunun da yüzey sertliğinin fazla olması ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Ancak uygulanan kaplama yöntemindeki kaplama kalınlığının düşük olması nedeniyle yüksek çarpma hızlarında kaplamaların döküldüğü ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle ileri ki çalışmalarda farklı kaplama yöntemleri uygulanarak St37 malzemenin erozif aşınma davranışı incelenebileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ortam konsantrasyonu sabit tutulmuştur, ileri ki çalışmalarda farklı konsantrasyonlarda yapılacak deneyler ile ortam konsantrasyonunun etkisi incelenerek erozif aşınma davranışı üzerine etkilerinin de değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Erdem, S., “Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı ve Alaşımsız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı*, Elazığ (2006).
2. Meng, H., “Wear modeling: Evaluation and categorization of wear models (Order No. 9513429)”. Available from *ProQuest Dissertations & Theses Global*. (304109882) (1994).
3. Xianghui C., Brenton S. M., Siamack A. S., “Application and experimental validation of a computational fluid dynamics (CFD)-based erosion prediction model in elbows and plugged tees”, *Computers & Fluids*, Volume 33, Issue 10, Pages 1251-1272, ISSN 0045-7930 (2004).
4. S. Laín, M., “Sommerfeld, Numerical prediction of particle erosion of pipe bends”, *Advanced Powder Technology*, Volume 30, Issue 2, Pages 366-383, ISSN 0921-8831 (2019).
5. Auezhan A., Ruslan K., “Effect of surface engineering on wear and fatigue behavior of thermally sprayed SiC coating”, *Surface and Coatings Technology*, Volume 445, 128751, ISSN 0257-8972 (2022).
6. Dewika M., Rita M., Vaibhav V., Kantesh B., K.V. Mani K., Dinesh S., G.N. Ganesh, Utpal S., Amartya M., “Understanding the influence of graphene-based lubricant/coating during fretting wear of zircaloy”, *Wear*, Volumes 512–513, 204527, ISSN 0043-1648 (2023).
7. Saklakoğlu İ.E., Saklakoğlu N., “Plazma Ortamına İyon Aşılama Yöntemi Genel Prensipleri ve Uygulama Alanları”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Ocak Sayısı, 528 (2004).
8. Karataş M., Turhan H., “Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine GTA Yöntemiyle Alaşımlanan FeW+Stellite 6 Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, *Firat University Journal of Engineering*, 24 (2): 169-177 (2012).
9. Gökdaş, M., “Optim 700 MC – ST 37 Çelik Malzemelerin Plazma Transfer Ark Yöntemleri İle Kaynak Edilebilirliği”, *Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2018).
10. Buytoz, S., “Microstructural properties of M7C3 eutectic carbides in a Fe-Cr-C alloy”, *Materials Letters*, volume:60 (5), 605-608 (2006).
11. P.M. Bazhin, N.V. Titov, A.O. Zhidovich, V.V. Avdeeva, A.V. Kolomeichenko, A.M. Stolin,” Features of the carbo-vibroarc surfacing in the development of

- multicomponent cermet wear-resistant coatings”, *Surface and Coatings Technology*, Volume 429, 127952, ISSN 0257-8972 (2022).
12. Thompson, John M., and M.K. Thompson. "A Proposal for the Calculation of Wear." *Proceedings of the 2006 international ansys users conference & exhibition, Pittsburgh, Pa.* (2006).
 13. Bhushan, B., “Wear mechanisms, chapter 7. In modern tribology handbook, Crc press”, *United States of Amererica*, pp. 273-279 (2000).
 14. Terkeşli M.H., “Aps Yöntemi ile Üretilen Wcve Mo Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi*, Bartın (2017).
 15. Sevim, İ., “Çeliklerin Abrasiv Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul (1998).
 16. Pekin, Ş., “Vuoristi, P. and Mantyla, T., System aproach for wear rezistant coatings, Worksshop on Anti-Wear Coatings”, *TÜBİTAK-MAM*, Kocaeli (1993).
 17. Muratoğlu, M., “SiC katkılı 2124 alüminyum kompoziti ve yaşlandırılmış kompozitin aşınma davranışlarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (1997).
 18. Kenan H., “Mos2 Katkili Pa 66 Rulmanlı Makaranın Kaplama Yapılmış Aisi 1050 İmalat Çeliği Karşısında Aşınma Davranışının İncelenmesi”, YL Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2015).
 19. Keskin, İ., “Yüksek Mekanizmaların Aşınma ve Elasto hidrodinamik Yağlama”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2012).
 20. Özay, Ç., “TM yöntemiyle üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2004).
 21. Özmen, Y., Can, A.Ç. ve Aksoy, T., “Aşınmaya etki eden faktörler ve aşınmanın azalması için alınacak tedbirler”, *4. Denizli Malzeme Sempozyumu*, sayfa:651-664, Denizli (1991).
 22. M.K. Bayındır., “Katı Parçacık Erozyon Aşınmasının Alüminyum Alaşımları Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yayınlanmış yüksek lisans tezi, *Fen bilimleri enstitüsü, Selçuk Üniversitesi*, Konya (2009).
 23. Toparlı, M. Şen., “Karbonlu Çeliklerde Aşınma” *5. Denizli Malzeme Sempozyumu* 11-13 Kasım (1993).
 24. Okay, F., “PVD Yöntemi ile Tin Kaplı Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Adhesiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi,

- Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi*, 69-70s. Ankara (2006).
25. Demirel, Ç., “AISI 8640 Ve GS 60 Çelik Malzemelerin Abrasif Aşınma Ve Korozyon Davranışına Borlama İşleminin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, 2s. Karabük (2013).
 26. Owsalou, R. G., “Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı*, 26-27s, İzmir (2012).
 27. Ulutan M., “AISI 1040 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, 79s, Eskişehir (2007).
 28. ASM International Handbook Committee. “ASM Handbook, Volume 18”: *Friction, Lubrication and Wear, ASM International*, US. (1992).
 29. Stachowiak, G.W.and Andrew, “W.B. Engineering Tribology”, *Butterworth Heinemann*, US. (2001).
 30. ASM International Handbook Committee. “ASM Handbook Volume 11”: *Failure Analysis and Prevention, ASM International*, US (1992).
 31. Ayhan O., “Gaz Tungsten Ark Kaynak Yöntemiyle Üretilen Fe Esaslı Kaplama Tabakalarının Aşınma Ve Mikroyapı Karakteristiklerinin Araştırılması”, *Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı*, Elazığ (2008).
 32. “Birleştirme Yöntemleri-Kaynak.pdf” [https://avys.omu.edu.tr › public › mahmutcan.senel](https://avys.omu.edu.tr/public/mahmutcan.senel), Ondokuz Mayıs Üniversitesi (2003).
 33. Mingxi, L., Yizhu, H, Xiaomin, “Y. Effect of Nano-Y2O3 on Microstructure of Laser Clad-ding Cobalt-based Alloy Coatings”,*Applied Surface Science*, Maanshan, 120-125 (2005).
 34. A. K. Jha, R. Batham, M. Ahmed, A. K. Majumder, O. P. Modi, S. Chaturvedi, A. K. Gupta., “Effect of impinging angle and rotating speed on erosion behavior of aluminum”, *Trans. Nonferrous Met. Soc.*, China, 21, pp. 32-38 (2011).
 35. Yıldızlı, K., Eroğlu, M. & Karamış, M.B., “Erosive Wear Behaviour of Hardfacing Austenitic Manganese Deposit”, *Tribology in industry*, Vol. 27, No. 3&4. (2005).
 36. KATSICH, C., “et al. Erosive wear of hardfaced Fe–Cr–C alloys at elevated temperature”, *Wear*, 267.11: 1856-1864 (2009).

37. BADISCH, E., “et al. Wear behaviour of hardfaced Fe-Cr-C alloy and austenitic steel under 2-body and 3-body conditions at elevated temperature”, *Tribology International*, 43.7: 1234-1244 (2010).
38. Sarı, N. and Sınmazçelik, T., “*Erosive wear behaviour of carbon fibre / polyetherimide composites under low particle speed*” (2007).
39. Shipway, P., H. and Hutchings, L. M., “The role of particle properties in the erosion of brittle materials”, *Wear*, 193: 105-113 (1996).
40. Kumar, R., “Investigation of Erosive Wear Ductile Materials With and Without Coating”, *Master of Engineering, Thapar University, Patiala* (2011).
41. Arslan, D., “Kutu Borlama İşlemi Uygulanmış Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Yorulma Dayanımlarının İncelenmesi”, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa (2020).
42. Çağlar H., “St 37 Çeliğinin Mekanik ve Termal Yüzey İşlemleri Uygulamaları ile Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, *Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük (2022).
43. Havuş, N., “Düşük Karbonlu St 37 Çeliğinin Sınırlandırılmış Yivli Presleme İle Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi”, *Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük (2019).
44. Çalığıülü, U., Türkmen, M., Çanakçı, A. ve Gökdaş, M., “PTA kaynak yöntemi ile birleştirilen OPTİM 700 MC-St37 malzemelerin X-Ray radyografisi”, *The Ist International Engineering and Technology Symposium*, Batman (2018).
45. Gür E.S., “Deniz Sularında Kullanılan Çelik Malzemelerin Slurry Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi”, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, Konya (2019).
46. Demirsöz R., “Granül Cüruf Taşımada Kullanılan Boruların İç Yüzeyinin Aşınma Özelliklerinin İyileştirilmesi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Doktora Tezi, Karabük (2018)
47. Erdem V.E., “AISI 1060 çeliğinin erozif aşınma özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (2006).
48. Gökşenli, A. and Kosa, E., ”Effect Of Impact Angle On Erosive Abrasive Wear Of Ductile And Brittle Materials”*international Journal Of Mechanical Aerospace, Industrial, Mechatronic And Manufacturing Engineering*, 9:1566-1570 (2015).
49. Kosa E., “Çeliklerin Eroziyon-Abrazif Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, İstanbul (2016).

50. Kanwalpreet S., Jasmaninder S. G., “Slurry erosion behaviour of WC-10Co-4Cr coated CF8M turbine steel”, *Materials Today: Proceedings*, Volume 56, Part5, 2022, Pages 2666-2671,ISSN 2214-7853 (2012).
51. Naveen K., Navneet A., “Effect of solution treatment on slurry erosive wear performance of martensitic and nitrogen strengthened austenitic stainless steel”, *Materials Letters*, Volume 284, Part 1,2021,128932, ISSN 0167-577X (2020).
52. Ziyi Y., Yongxin J., Zihan C., Hongjun Q., Zhifu H., Guosheng H., Jiandong X., “Microstructure, hardness and slurry erosion-wear behaviors of high-speed laser cladding Stellite 6 coatings prepared by the inside-beam powder feeding method”, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 19,2022, Pages 2596-2610, ISSN 2238-7854 (2022).
53. Guangjie P., Fengyi F., Ling Z., Xin H., Junfei M., “Optimal hydraulic design to minimize erosive wear in a centrifugal slurry pump impeller”, *Engineering Failure Analysis*, Volume 120,2021,105105, ISSN 1350-6307 (2020).
54. GUJARATI, D.N., “Temel Ekonometri”, *Literatür Yayıncılık*, 8. Basım, İstanbul (2018).
55. GÖKMEN N., “Doğrusal Regresyonda Sağlam Regresyon Kestiricilerinin Karşılaştırılması Ve Benzetim Çalışması”, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (2018).
56. GÜNEL A., “Regresyon denkleminin başarısını ölçmede kullanılan belirleme katsayısı ve kritiği”, *Doğuş üniversitesi dergisi*, 4(2) 2003, 133-140 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Enes AĞAR ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamlamıştır. 2012 yılında Karabük 75. Yıl Anadolu Lisesinden mezun olmuştur. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazanmıştır. 2018 yılında lisans eğitimini tamamlamış ve Balıkesir ilinde askerlik görevini yerine getirmiştir. 2020 yılında Karabük Üniversitesinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Şu an Kardemir A.Ş. Çubuk ve Kangal Haddehanesi Müdürlüğünde İşletme Mühendisi olarak meslek hayatına devam etmektedir.