



**X120MN12 ÇELİĞİNİN ÇAMURLU EROZİF
AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Gayenur TEKER ÇELİK

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**X120MN12 ÇELİĞİNİN ÇAMURLU EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

Gayenur TEKER ÇELİK

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ**

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2023**

Gayenur TEKER ÇELİK tarafından hazırlanan “X120MN12 ÇELİĞİNİN ÇAMURLU EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Nafiz YAŞAR (DPÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ (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.”

Gayenur TEKER ÇELİK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

X120Mn12 ÇELİĞİNİN ÇAMURLU EROZİF AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Gayenur TEKER ÇELİK

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ

Temmuz 2023, 62 sayfa

Günümüz ağır sanayisinde çalışma koşullarına bağlı sürekli olarak sıvı partiküle maruz kalan makine parçalarının zamanla aşınmaya uğradığı ve bu durumun çalışma performansını etkileyerek aynı zamanda da kullanım ömürlerinin kısalmasına sebep olduğu bilinmektedir. Günümüzde hayatın hemen hemen her alanında ve sektöründe çelik oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanına göre tercih edilecek çelik türünün mekanik özellikleri ise büyük önem taşımaktadır. Sektörüne göre seçilen çelik türünün korozyona karşı dayanımı, şekil alabilme özelliği, mekanik dayanımını ve aşınmaya karşı direnci büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada X120Mn12 östenatik paslanmaz çeliğinin erozif aşınma türlerinden biri olan sulu çamur erozif aşınma deney düzeneği kullanılarak malzemenin erozif aşınma davranışı incelenmiştir. Yapılan deneylerde 600 d/d sabit çarpma hızında, 500 µm partikül büyüklüğünde elenmiş, ağırlıkça %10, %15 ve %20 sulu çamur

konsantrasyonunda 30°, 45° ve 60° çarpma açısında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyde çarpma açısı değeri ile birlikte ağırlıkça sulu konsantrasyonun artması durumunda aşınma miktarının arttığı, ancak sulu çamur konsantrasyonu içerisinde çarpma açısı arttıkça malzemedeki aşınma miktarında azalmanın olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : X120Mn12, sulu çamur erozif aşınma, konsantrasyon

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF SLURRY EROSIVE WEAR BEHAVIOR OF X120MN12 STEEL

Gayenur TEKER ÇELİK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Recep DEMİRSÖZ

July 2023, 62 pages

It is known that in today's heavy industry, machine parts that are constantly exposed to liquid particles due to working conditions are subject to wear over time and this situation affects the working performance and also causes a shortening of their useful life. Today, steel is widely used in almost every field and sector of life. The mechanical properties of the steel type to be preferred according to the usage area are of great importance. The corrosion resistance, shapeability, mechanical strength and abrasion resistance of the steel type chosen according to its sector are of great importance.

In this study, the erosive wear behavior of the material was investigated by using slurry erosive wear test setup, which is one of the erosive wear types of X120Mn12 austenitic stainless steel. The experiments were carried out at a constant impact speed of 600 rpm, with a particle size of 500 μm , sieved at 10%, 15% and 20% slurry concentrations by weight, at 30°, 45° and 60° impact angles. In the experiment, it was observed that

the amount of wear increased when the aqueous concentration increased with the impact angle value, but the amount of wear in the material decreased as the impact angle increased in the slurry concentration.

KeyWord : X120Mn12, slurryerosivewear, concentration.

ScienceCode : 91421

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim hayatım boyunca tezimin planlaması, yürütülmesi ve tamamlanmasına kadar geçen süreçte en başından sonuna kadar her türlü bilgi ve tecrübelerini paylaşarak destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Recep DEMİRSÖZ'e teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca çalışmamızda desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet Erdi KORKMAZ ve Araş. Gör. Mehmet Tayyip ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Numunelerin hazırlanmasındaki süreçte yardımlarını ve her türlü bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen KARDÖKMAK A.Ş. Satış Planlama ve ÜR-GE Başmühendisi Elif ÖZTUYAK'a, KARDEMİR A.Ş. Merkez Bakım ve Yapım Müdürlüğü Hassas İşler Formeni Cemallettin BAĞBAŞI'ya ve KARDEMİR A.Ş. Ar-GE Müdürlüğü Haddemeleme Proses Ar-Ge Proje Yöneticisi Aysun IŞIKGÜL'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her daim arkamda durduklarını bildiğim, yüksek lisans eğitimine başlamam ve bitirmemde en büyük destekçim olan sevgili babam Muharrem TEKER'e, yüksek lisans çalışmam boyunca her türlü desteğiyle yanımda olan sevgili annem Nurhan TEKER'e ve tez çalışmam boyunca her türlü desteğini yanımda hissettiğim kıymetli eşim Ahmet Kaan ÇELİK'e sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	3
ÇELİK VE TÜRLERİ.....	3
2.1. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	4
2.1.1. Karbonlu Çelikler.....	5
2.1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler.....	6
2.1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	6
2.1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler.....	7
2.1.2. Alaşımli Çelikler.....	7
2.1.2.1. Az Alaşımli Çelikler.....	8
2.1.2.2. Yüksek Alaşımli Çelikler.....	9
2.1.3. Yüksek Alaşımli Çelik Türleri.....	11
2.1.3.1. Paslanmaz Çelikler.....	11
2.1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	13
2.1.3.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	14
2.1.3.4. Östenatik Paslanmaz Çelikler.....	15
2.1.3.5. Östenatik Manganlı Çelikler.....	16

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	20
AŞINMA	20
3.1. AŞINMA KOŞULLARI.....	20
3.2. AŞINMA UNSURLARI	21
3.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ	22
3.3.1. Adhezif Aşınma.....	22
3.3.2. Abrazif Aşınma.....	24
3.3.3. Eroziv Aşınma.....	25
3.3.3.1. Katı Partikül Erozyonu	27
3.3.3.2. Sıvı (Su) Damlası Erozyonu	29
3.3.3.3. Sulu Çamur (Slurry) Erozyonu	30
3.3.3.4. Kavite Erozyonu.....	33
3.3.4. Korozif Aşınma	34
3.3.5. Yorulma Aşınması.....	34
BÖLÜM 4	36
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	36
BÖLÜM 5	40
MATERYAL METOT.....	40
5.1. AŞINDIRICININ HAZIRLANMASI	41
5.1.1. Aşındırıcının Elenmesi	42
5.2. NUMUNE SEÇİMİ VE HAZIRLANMASI	44
5.2.1. X120Mn12 Numune Hazırlanma Süreci	44
5.3. DENEY DÜZENİĞİ	45
5.4. DENEY PARAMETRELERİ	47
5.5. DENEY YÖNTEMLERİ	47
BÖLÜM 6	50
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	50
6.1. AŞINMA SEBEBİYLE OLUŞAN KÜTLE KAYBI.....	52
6.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	54

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	56
SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çeliklerin sınıflandırılması	4
Şekil 2.2. Paslanmaz çelik türlerinin sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.3. Yüksek manganlı çelikler ve diğer çelik türlerinin mekanik değerleri....	16
Şekil 2.4. X120Mn12 çeliğinin üretim prosesleri	18
Şekil 2.5. AISI standartında takım çeliklerinin sınıflandırılması.....	19
Şekil 3.1. Tribolojik sistem	21
Şekil 3.2. Adhezif aşınma	23
Şekil 3.3. Abrazif aşınma mekanizması.....	24
Şekil 3.4. Abrazif aşınmanın şematik gösterimi	25
Şekil 3.5. Eroziyon aşınma mekanizmasının şematik gösterimi	25
Şekil 3.6. Farklı türdeki erozyon aşınmaları.....	27
Şekil 3.7. Eroziyon aşınmayı etkileyen faktörler.....	27
Şekil 3.8. Katı partikül erozyon mekanizması	28
Şekil 3.9. Katı partikül erozyonunda kullanılan deney düzenekleri	29
Şekil 3.10. Sıvı (Su) damlası erozyonu deney düzeneği.....	30
Şekil 3.11. Sulu çamur (Slurry) erozyonunu etkileyen faktörler	31
Şekil 3.12. Sulu çamur erozyonuna uğramış aşınma örneği	32
Şekil 3.13. Pota tipi deney düzeneği	33
Şekil 3.14. Sulu çamur düzeneğinde kullanılan farklı tip deney düzenekleri.....	33
Şekil 3.15. Kavite erozyonunda kullanılan deney düzenekleri	34
Şekil 3.16. Yorulma aşınmasına bağlı malzeme yüzeyinde oluşan çatlaklar	35
Şekil 5.1. Eleme öncesindeki ham silika kumunun SEM görüntüsü.	42
Şekil 5.2. Eleme sonrasındaki silika kumunun SEM görüntüsü	43
Şekil 5.3. Çalışılmış silika kumunun SEM görüntüsü	43
Şekil 5.4. Deney düzeneği.....	45
Şekil 5.5. Deneyin sistematik aşamaları.	46
Şekil 5.6. Deney düzeneği için hazırlanan numuneler.....	48
Şekil 5.7. Deneyde kullanılan hassas terazi	48

Şekil 6.1. X120Mn12 numunelerin %10 konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerin SEM görüntüleri a) 30° çarpma açısı b) 45° çarpma açısı c) 60° çarpma açısı.....	51
Şekil 6.2. X120Mn12 numunelerin %15 konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerin SEM görüntüleri a) 30° çarpma açısı b) 45° çarpma açısı c) 60° çarpma açısı.....	51
Şekil 6.3. X120Mn12 numunelerin %20 konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerin SEM görüntüleri a) 30° çarpma açısı b) 45° çarpma açısı c) 60° çarpma açısı.....	52
Şekil 6.4. Numunelerin farklı aşınma parametrelerindeki kütle kayıpları.	53
Şekil 6.5. X120Mn12 numunelerinin farklı aşınma koşullarındaki yüzey pürüzlülüğü.	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çeliklerle ilgili dünyada yer alan standartlar	5
Çizelge 2.2. Karbonlu çeliklerde alaşımların üst sınır değerleri	5
Çizelge 2.3. Bazı düşük karbonlu çeliklerin kullanım alanları ve mekanik özellikleri	6
Çizelge 2.4. Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	14
Çizelge 2.5. Bazı östenatik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri	15
Çizelge 2.6. DIN standartında X120Mn12 çeliği kimyasal analiz değeri.....	17
Çizelge 5.1. SiO ₂ (silika) kumunun ASTM E 11:82 standardında yapılan eleme işlemine göre boyutsal dağılım sonuçları	41
Çizelge 5.2. SiO ₂ (silika) kumunun kimyasal analiz değerleri	42
Çizelge 5.3. X120Mn12 malzemenin kimyasal kompozisyonu.....	45
Çizelge 6.1. Deney sonuçları	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

%	: yüzde
°C	: santigrat derece
/	: bölme
d/d	: devir/dakika
cm	: santimetre
gr/cm ³	: gram / santimetreküp
µm	: mikrometre
MPa	: megapaskal
m/s	: metre/saniye
°	: derece
Gr	: gram
Lt	: litre
kW	: kilovat
mm	: milimetre
mg	: miligram
W	: vat
C	: karbon
Mn	: mangan
Cr	: krom
Ni	: nikel
Mo	: molibden
Si	: silisyum
P	: fosfor
Al	: alüminyum
Nb	: niyobyum
Ti	: titanyum

SiO₂ : silisyum dioksit

vd : ve diğeri

KISALTMALAR

AISI : Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü

SAE : Otomotiv Mühendisleri Birliği

ASTM : Amerikan Malzeme Test Birliği Standartları

AFNOR : Fransız Standartları Enstitüsü

JIS : Japonya Standartları

BS : İngiliz Standartları

ISO : Uluslararası Standartlar Organizasyonu

DIN : Alman Standartları Enstitüsü

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

GOST : Rusya Standartları Enstitüsü

ASTME : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

A.Ş : Anonim Şirketi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

X120Mn12 martensitik yapıda östenetik mangan çeliği olup genellikle Hadfield çeliği olarak tanımlanmaktadır. Bu çeliğin bileşenleri %1,00 ile %1,25 aralığında karbon, %11,00 ile %14,00 oranları aralığında mangan ve az miktarda silisyumdur.

Bu çelik türü yüksek mangan içermesi sebebiyle dayanıklı, aşınma direnci yüksektir. Bu özellikleri sebebiyle sürekli aşınmaya maruz kalan ortamlar olan madencilik, çimento, inşaat ve metalurji alanlarında çalışılan uygulamalarda tercih edilmektedir. İyi bir tokluk ve darbe dayanımı sahip, ısıl işleme tabii tutulabilmesi ve bunun yanı sıra soğuk işlenebilir özelliğinin olması sebebiyle çeşitli işlemlere tabii tutulması kolaydır [1].

Karmaşık bir yapısı olması dolayısıyla aşınmanın birçok farklı tanımı yapılmıştır. En basit anlatım yöntemiyle aşınma malzemenin temas edilen yüzeyinde mekanik bir etki ve bağıl hareketlerin oluşması sonucunda ortaya çıkan malzeme kaybı olarak tanımlanır.

Endüstride en çok karşılaşılan durum olan aşınmanın en aza indirgenmesi için aşınma türlerinin iyi bir şekilde bilinmesi ve anlaşılması gerekmektedir. Sanayide en çok karşılaşılan katı partiküllerin süreklilik arz eden çalışma ortamında değişik açılı ve hızlarda çarpması sonucunda oluşan erozif aşınmadır. Kullanılan malzemelerde ortaya çıkan aşınma makine parçalarında deformasyon, zaman ve işgücü kayıplarına sebebiyet verdiğinden bu durumu en aza indirmek gerekmektedir [2].

Bu çalışmada aşınmaya karşı direncinin yüksek olması ile bilinen X120Mn12 çeliğinin erozif aşınmanın bir türü olan sulu çamur (slurry)erozif aşınma deney metodu ile 600

d/d sabit hızda ağırlıkça %10, %15 ve %20 oranlarında farklı konsantrasyonlarda 30°, 45° ve 60° numune çarpma açısındaki davranışlarının incelenmesini hedeflemektedir.

BÖLÜM 2

ÇELİK VE TÜRLERİ

Endüstri ve mühendislik alanında çoğunlukla kullanım alanının yaygınlığı, dayanımı sebebiyle kullanılan metaller çelik ve türleri olup son dönemlerde büyük bir öneme sahip olmuştur. İnşaat sektöründen, endüstriyel alanlardaki ekipman üretimleri gibi birçok alanda kullanımı vardır [3].

Endüstride mühendislik malzemesi olarak kullanılan metaller ve alaşımlar ana metale bir başka elementin ya da birçok elementlerin eklenmesi sonucunda ortaya çıkar. Alaşım; var olan bir metale farklı bir özellik elde etmek için ametal veya metal en az bir elementin daha eklenmesiyle ortaya çıkan metal türüdür. Dünyada en çok bulunan ve en yaygın kullanılan sanayi malzemesi metalik malzeme demirdir. Çelik demir elementinin çoğunlukta olmasıyla içerisinde %0,2 - 2,1 muhteviyatında karbon içeriğiyle ve diğer metallerin birleşimiyle meydana gelen bir alaşımdır [4].

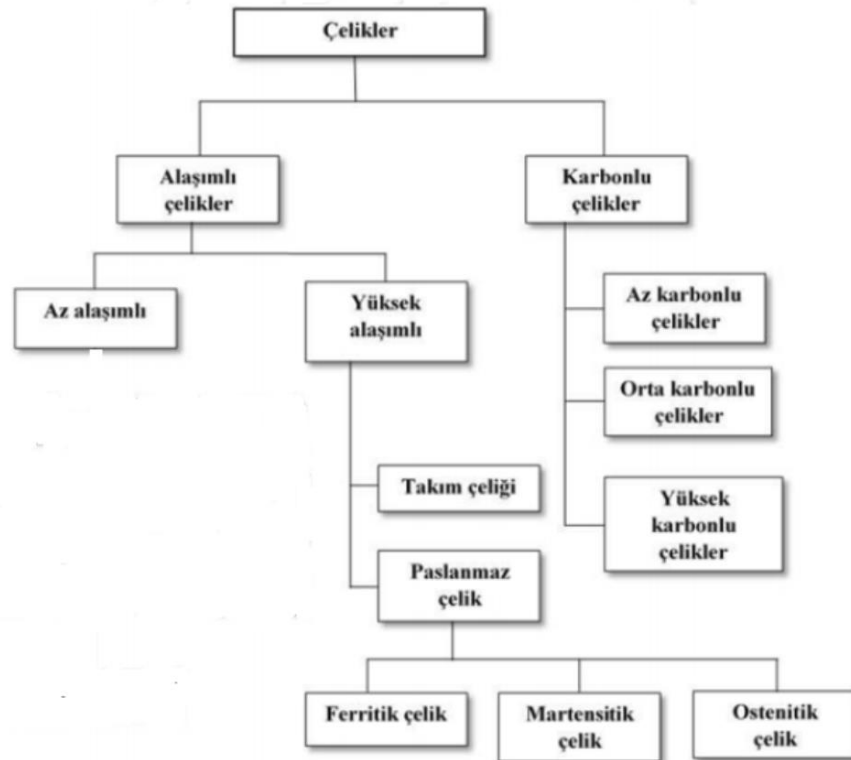
Çeliğin yoğunluğu $7,850 \text{ gr/cm}^3$ olup, erime sıcaklığı ise $1520 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Her $20 \text{ }^\circ\text{C}$ bir metre başına $11,1 \text{ } \mu\text{m}$ doğrusal genleşme katsayısına sahiptir. Çelik alaşımının en büyük elementi demir olup, bu alaşımda demir-karbon arasındaki kimyasal bağ oldukça yüksek mukavemete ve sertliğe sahiptir. Piyasada kullanılan çeliklerin çoğunun yapısı demir karbon olsa da farklı kimyasal yapıya sahip ve farklı miktarlarda elementleri bulunduran çelikler mevcuttur. Bu elementler molibden, mangan, nikel, bor, kobalt, titanyum vb. şeklindedir [5].

Demir ve çelik insanlığın var olduğu süreçten bu yana her zaman ihtiyaçların karşılanması amacıyla kullanılmıştır. El aletleri yapımında, inşaat sektöründe gibi alanlarda uygarlıkların gelişmesinde önemli etkileri bulunmaktadır. Yaklaşık 5000 yıldır kullanılan çelik 4000 yıl öncesinde Anadolu'da tarihsel sınıflandırma olarak "Demir Çağı" olarak adlandırılan çağ olarak yaşanmış, silah ve el aletleri yapımında

kullanılmıştır. Türkiye çelik üretiminde dünyada ilk 20 ülke arasında yer almaktadır. Ülkemizde üretiminin olduğu yapı çeliği inşaat sektörü ve sanayi yapılarında kullanılmaktadır [6]. Çelikler araç gövdesi, araç motorları, tekerleri gibi otomotiv endüstrisinin en önemli unsurunu ihva eder. Bununla birlikte beyaz eşya sektörü, altyapı elementleri, gemi, tren, elektrikli cihazlar, savunma sanayi gibi birçok alanda da çelik kullanımı mevcuttur [7, 5].

2.1. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelikler, içerisinde yer alan karbon miktarı ve alaşım elementlerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Karbon ve alaşım elementi oranları çeliğin yapı ve özelliklerinin incelenmesinde büyük önem taşır. Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi çeliğin içerik yapısına inilerek karbonlu ve alaşımlı çelikler olarak iki kısımda sınıflandırılmaktadır [4, 5].



Şekil 2.1. Çeliklerin sınıflandırılması [4].

Çeliğin dünyada yer alan standartları Çizelge 2.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Çeliklerle ilgili dünyada yer alan standartlar [4].

Kısaltma	Açılımı
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
SAE	Otomotiv Mühendisleri Birliği
ASTM	Amerikan Malzeme Test Birliği Standartları
AFNOR	Fransız Standartları Enstitüsü
JIS	Japonya Standartları
BS	İngiliz Standartları
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
EURONORM	Avrupa Standartları
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
GOST	Rusya Standartları Enstitüsü

2.1.1. Karbonlu Çelikler

Karbonlu çelikler ana unsur demir elementinin sadece karbon içeren ve içerisinde belirli miktarlarda alaşım elementi bulunduran çeliklerdir [4]. Karbonlu çelikler içerisinde bulundukları karbon oranlarına göre düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılırlar. Karbonlu çeliklerde karbon oranının yanı sıra %1,65'den az mangan, %0,60'dan az bakır ve silisyum, limitleri belirtilmemiş derecede az, fosfor, kükürt, krom, nikel ve molibden içerir [7].

Karbonlu çeliklerin içeriğinde yer alan alaşım elementlerinin üst sınır değerleri Çizelge 2.2.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Karbonlu çeliklerde alaşımların üst sınır değerleri [7].

Elementler	% Ağırlık
Mangan	0,8
Silisyum	0,5
Bakır	0,5
Fosfor	0,09
Kükürt	0,06

2.1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Düşük karbonlu çelikler aynı zamanda yumuşak karbonlu çelikler olarak da adlandırılır ve dünyada çelik üretiminin en büyük kısmını oluşturmakla beraber inşaat demiri üretimi, yassı sac ve profil üretiminde düşük karbonlu çelikler kullanılmaktadır [7]. İçeriğindeki karbon oranı düşük olduğu için demir elementine benzer özellikler sergilerler. Karbon içeriği arttıkça metal daha dayanıklı, sert hale gelir ve sünekliği düşüktür, kaynak yapma işlemi daha zordur ancak karbon oranı düştükçe daha kolay şekillendirilirler [5].

Düşük karbonlu çeliklerde akma dayanımının düşük olması sorununu ortadan kaldırmak için tav fırınlarında sertleştirme gerçekleştirilir [7]. Bazı düşük karbonlu çeliklerin tipik kullanım alanları ve mekanik özellikleri Çizelge 2.3.'de gösterilmektedir [7].

Çizelge 2.3. Bazı düşük karbonlu çeliklerin kullanım alanları ve mekanik özellikleri [7].

AISE/S Simgesi	% Bileşimi	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)	% Kopma Uzaması	Kullanım Alanı
1010	0,10 C	276 - 414	170 - 310	28 - 47	Şerit, Tel, Sac, Çivi
	0,45 Mn	290 - 400	159 - 262	30 - 45	
1020	0,20 C	450	330	36	Yapı Elemanları, Dişli
	0,45 Mn	395	295	37	
1040	0,40 C	620	415	25	Cer Kancası, Dingil, Dişli, Boru
	0,75 Mn	520	355	30	
		670	495	28	
1060	0,60 C	815	480	17	Vagon Tekerleri, Dövme Kalıpları
	0,75 Mn	625	370	23	
		800	525	23	

2.1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çelikler, içeriğinde % 0,20 ile % 0,50 arasında karbon içerir [4]. İçeriğinde barındırdıkları karbon miktarına göre orta dereceli mekanik özelliklere

sahiptir. Orta karbonlu çelikler kullanım alanına göre önemlidir. Genellikle imalat ve makine sanayinde tercih sebebidir. İşlenebilme, şekil alma ve kaynak kabiliyetleri az karbonlu çeliklere nazaran daha azdır [8].

Orta karbonlu çeliklerde kimyasal yapıda karbon oranındaki yükseliş düşük karbonlu çeliklere oranla malzemeye sertlik kazandırır. Isıl işlem ile orta karbonlu çeliklerin mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri perlit hacim oranı yüksek olduğundan istenilen seviyelere çekilebilmektedir. Orta karbonlu çelikler genellikle dişliler, şaftlar ve akslarda tercih edilirler [9].

2.1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

Yüksek karbonlu çeliklerin içeriğindeki karbon oranı %0,5'ten daha fazladır. Normal halde yüksek mukavemetli ve sünekliği az olan bu çelikler, ısıl işlemle sertleştirilmeleri sayesinde yüksek sertlik kazanırlar. Bundan dolayı da aşınmaya dayanıklı olurlar.

Şekil alma ve işlenebilirlik kabiliyetleri ve bunların yanı sıra kaynaklanma kabiliyetleri düşüktür, yüksek karbonlu çeliklerin kaynaklanma işlemleri özel metotlarla yapılabilmektedir [7, 10]. Bu çelikler mukavemeti ve aşınma direnci yüksek olduğundan yay yapımında ve ela aletlerinin yapımında hammadde olarak kullanırlar [5].

2.1.2. Alaşımli Çelikler

Alaşımli çeliklere oranla muhteviyatında daha yüksek seviyelerde alaşım elementini barındıran çelik türüdür. İçeriğindeki alaşım maddesinin türü/miktarı ile alaşımli çeliğin katı eriyik sertleşmesi, sertliği, sementitten daha da kararlı alaşım karbürünün çökmesi artırılmakta bununla birlikte ise korozyona karşı direnci ve sertleşme özelliği de arttırılmaktadır. Alaşımli çeliklerde karbon çeliklerinde bulunandan daha yüksek miktarlarda manganez, silisyum veya bakır bulunur. Bu elementlerin haricinde birden daha farklı alaşım elementi veya elementlerini de belirli aralıklar çerçevesinde içerisinde barındırır [10].

Alaşımlı çelikler; normal olarak karbonlu çeliklerden sağlanamayan kendine öz özellikleri sağlamak için bir veya birden fazla alaşım elementi barındıran çeliklerdir. Alaşımlı çeliklerde alaşım elemanları (karbon ve artılamayan elemanlar dışında kalan diğerleri) toplam miktarı %5'ten az ise az alaşımlı çelikler, %5'ten fazla ise yüksek alaşımlı çelikler ve mikro alaşımlı çelikler olarak adlandırılırlar [4].

Alaşımlı çelikleri birbirinden ayıran özellikler temel özellik sertleşme kabiliyetleridir. Çeliklerde alaşım ilavesi sebepleri ise;

- Korozyona karşı direnci arttırmak,
- Çekme mukavemetini dirençli hale getirmek,
- Yüksek sıcaklıklar karşısında mukavemeti arttırmak,
- Malzemenin tokluğu ve sertleştirilebilirliğini arttırmak,
- Malzeme manyetikliğini arttırmaktır.

Alaşım elementlerinin miktarı artırılarak yukarıda belirtilen özellikler sağlanır [5].

2.1.2.1. Az Alaşımlı Çelikler

Alaşım element veya elementlerinin toplam oranı %5'den az olması durumunda ve genellikle ıslah edilmiş durumda genellikle su ile temperlenmenin ardından kullanılmaya başlanılan çelik türleridir. Korozyon direncinin, tokluğun ve mukavemet gibi özelliklerin öne çıktığından ve piyasa koşullarında daha ucuz olduğundan alaşımsız çeliklere oranla tercih edilirler. Kalın kesitli makine elemanlarının bu çeliklerden imalat yapılması, ısıl işlemlerde de kolaylık sağlar çünkü az alaşımlı çelikler, yüksek alaşımlı çeliklere göre daha yüksek sertleşme özelliği ve ısıl işlem sırasında daha az çatlama, malzemede çarpılma oranı daha düşüktür. Ana alaşım elementi olarak manganez, nikel, krom, molibden ve volfram (tungsten) bulunur. Bu çeliklere aynı zamanda vanadyum, kobalt, alüminyum, kurşun, nikel, bakır ve bor elementleri de ilave edilebilmektedir [7]. Az alaşımlı çelikler kendi arasında ıslah çeliği, krom çeliği, Cr-Mo çeliği, Ni-Cr-Mo çeliği, Ni-Cr çeliği, Mn çeliği, Si çeliği şeklinde sınıflandırılırlar [4].

2.1.2.2. Yüksek Alaşımli Çelikler

Yüksek alaşımli çelikler içeriğindeki alaşım elementinin % 5'den fazla olan ve özel amaçlarla kullanılan çeliklerdir. Örnek verilecek olursa; % 18 Cr ve % 8 Ni içeren paslanmaz çelik ve, % 14 Mn Kayaları delmede kullanılırken, % 20 den fazla Cr içeren çelikler yüksek sıcaklığa dayanıklı kalıp çeliklerinde kullanılır [3]. Bu çelik grupları ise takım çeliği ve paslanmaz çelikler olarak sınıflandırılır.

Alaşım elementlerinin içeriğine göre çelikleri etkisi ise aşağıda açıklanmaktadır.

Nikel

İçeriğinde % 1 ile % 5 arasında Ni bulduran alaşımli çelikler direnç yönünden zayıftır, ancak bu durum çelikteki sertleşmeye karşı hassasiyeti arttırmaktadır. Eğer alaşımli çelik içerisinde % 3 ile % 5 oranında Ni bulunması ise 350 °C'ye kadarki sıcaklıkta akış sınırı, direnci yükseltmektedir. Bütün bu özelliklerden dolayı Ni içerikli yüksek alaşımli çelikler kazan yapımlarında tercih edilir. Çeliğin içerisindeki nikel soğuma hızını düşürür, daha yüksek oranlarda nikel içeriği malzemenin korozyona karşı direncini arttırmaktadır. Nikel ve krom alaşım elementleri bir arada kullanırsa her iki elementinden birbirine olumsuz etkileri ortadan kalkar ancak yüksek karbonlu çeliklere nikel ilave edilmesi karbür oluşturacağından grafitte ayrılma gösterir yüksek karbonlu çeliklerde mangan ilave edilmesi gerekir [3].

Krom

Krom yüksek alaşımli çeliklerden paslanmaz çeliklerin pasifleşmesini sağlayan en önemli elementtir. Paslanmaz çeliklerin yüzeyindeki pasif film krom oksitten oluşmaktadır. Bu oksit tabakası alaşımın yüzeyinde kendi kendine oluşmaktadır. Pasifleşme olayının tam olması için çözeltilerdeki kromun %12'den yüksek olması gerekmektedir ama karbon ve kromun beraberliğinde oluşan karbür sebebiyle alaşımın içeriğindeki 1 gramdaki karbon 16,6 gram krom elementini tutar ve bağlar bu durumda krom elementinin yüzdesindeki azalmaya sebep olmaktadır.

Molibden

Molibden; korozyon üzerinde fevkalade etkileri ile paslanmaz çelikler için önem arz eden bir alaşım elementidir. Malzemenin pasifleşmesini arttırır. Bundan dolayı da sülfirik asitli ortamlardan malzemenin korozyona karşı direnci artmaktadır.

Selenyum ve Kükürt

Bu elementler yüksek alaşımlı çeliklerden paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilir özelliklerini arttırmaktadır.

Bakır

Yüksek alaşımlı çeliklerden paslanmaz çeliklerin içeriğine bakır elementinin ilavesi klorür etkisine ve asitli ortamlara dayanıklılığı artırır. Aynı zamanda oksitleyici asitlere karşıda alaşımın korozyon direnci artar.

Silisyum

Silisyum elementi ergitilmiş çelik üzerinde oksitlenmeyi temizleyicidir yani malzemedeki Oksijeni tutarak çeliğin ana maddesi karbonla reaksiyon oluşturup karbondioksitin oluşumunu engeller. Bunun haricinde dökme çeliğin sıklığını artırarak diğer elementlerin çökmesini önler. Silisyum elementi %0.5'ten yüksek bir oranda olursa malzemenin çekme direnci ve akma sınırı yükselir. Silisyum elementi %1.5'ten fazla olursa çeliği aşınmaya karşı dirençli hale getir. Ancak bu şartlar halindeki bir çelik numunesi 1080 °C'nin üstünde dövülmeye maruz kaldığında yüzeyinde çatlamlar meydana gelir bu durum ise alaşım elementine Nikel elementinin eklenmesi sayesinde önlenir.

Fosfor

Fosfor elementinin alaşımlı çeliğin içerisindeki en yüksek oranı %0.06 olmalıdır. Krom ve bakır elementiyile birlikte alaşımlı çeliğin içerisinde bulduklarında birkaç

oksitleyici gazlara karşı kimyasal dayanıklılık sergiler. Kok vagonları ve kömür vagonları fosforlu çelikten imal edilir.

Alüminyum

Alaşım çelikte mangana ve demire bağlanan oksijeni çekerek zararlı etkiyi ortadan kaldırır yani oksitlenmeyi önler. Soğukta kırılabilirliği azaltır.

Mangan

Alaşım çelik içeriğindeki mangan oksit temizleyici özelliği sahip olup muhteviyatında %0,8 değerinin altında mangan içeriği bulunan çeliklere “mangan alaşım çelik” denilir. Çelik içerisindeki mangan çeliğin çekme direnci, akma sınırı, aşınma dayanıklılığını artırır. Muhteviyatında %0,8-333 oranları arasında mangan barındıran çeliklere “mangan çeliği” denir.

Çelik içerisindeki yüksek mangan miktarı çelikte su alma etkisini arttırmaktadır ancak bu durum vanadyum ve molibden ilavesiyle azalmaktadır. Yüksek manganlı alaşım çelikler darbeye ve aşınmaya direnç gösterdiklerinden bu dirençlerin önemli olduğu yerlerde kullanılan parçaların yapımında kullanılır [11].

2.1.3. Yüksek Alaşım Çelik Türleri

2.1.3.1. Paslanmaz Çelikler

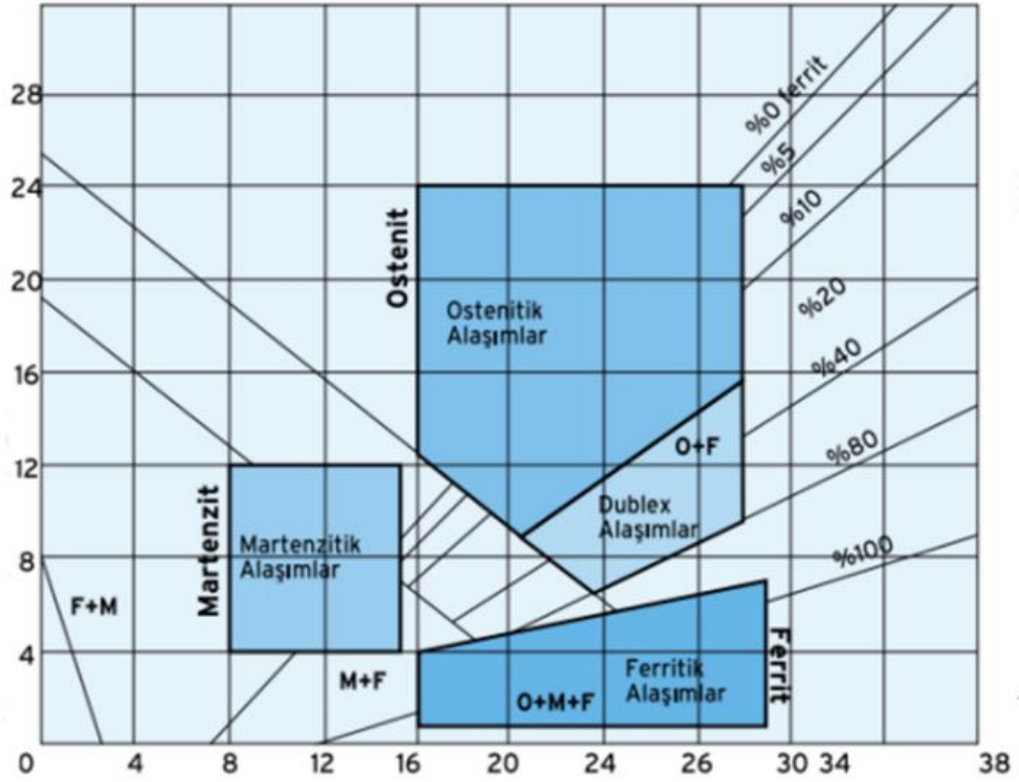
İçeriğinde %12 oranından fazla Krom ve bir miktar Nikel elementini barındıran içeren çeliklere paslanmaz çelik denir [12]. Paslanmaz çelikler paslanmaz özelliklerini, yapışkan krom oranı olarak zengin oksit yüzey filminin oluşumundan dolayı sağlarlar. Bu film muhteviyatındaki oksijen elementinin varlığından dolayı oluşur. Paslanmaz çelikleri geliştirmek amacıyla içeriğine nikel, titanyum, bakır, molibden, azot, kükürt vb. gibi alaşım elementleri de ilave edilir [13].

Paslanmaz çeliklerin en önemli özellikleri arasında korozyona karşı direncinin yüksek oluşu yer almaktadır. İçeriğindeki Krom elementinin oranı korozyon direncini artırmaktadır ancak bu paslanmaz çeliğin kaynaklanabilirliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Ancak bu durumda paslanmaz çelik malzemesinin mekanik özelliklerinde azalma meydana gelmektedir. İçeriğindeki Nikel oranının %10'dan fazla olması durumunda korozyondaki gerilmeli dayanım azalmakta ve bu oran %30'a kadar çıkması durumunda ise korozyondaki gerilmeli dayanım eski halini almaktadır. Paslanmaz çeliğin içeriğindeki molibden oranı oksit tabakasının özelliğini kuvvetlendirirken, içeriğindeki Azot elementi asit direncini artırır, Kükürt elementinin ise çekme ve akma mukavemetine karşı etkisi yoktur. Titanyum elementi paslanmaz çelikte tane küçültücü etki sağlamaktadır [12].

Paslanmaz çeliklerin kullanım alanlarında dikkat edilmesi gereken önemli faktörler;

- Mekanik özelliği,
- Alaşımın korozyon direnci,
- Paslanmaz çeliğin işlenebilirliği,
- Fiyatıdır [14].

Paslanmaz çelik türleri ferritik paslanmaz çelik, martenzitik paslanmaz çelik, ostenitik paslanmaz çelik, ferritikostenitik (dubleks) paslanmaz çelik ve çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler olarak 5 grup üzerinde toplanır. İçeriğindeki krom ve nikel miktarlarına göre paslanmaz çeliklerin türlerinin sınıflandırılması Şekil 2.2'de gösterilmiştir [15].



Şekil 2.2. Paslanmaz çelik türlerinin sınıflandırılması [12].

Kimyasal bileşenlere göre paslanmaz çelikler AISI (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) tarafından, Cr-Ni-Mn'li östenitik paslanmaz çelikler olarak 2XX serileri şeklinde, Cr-Ni östenitik paslanmaz çelikler olarak 3XX serisi ve Cr'liferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler 4XX serileri şeklinde sınıflandırılırlar [16].

2.1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

İçeriğinde %11 - 18 Cr, %1,2'ye kadar C ve düşük miktarda Mn ve Ni içeren paslanmaz çelikler martenzitik paslanmaz çelikler olarak adlandırılırlar. Bu paslanmaz çeliklerden tavlanarak östenit oluşturulurlar, oluşan bu östenit soğuması esnasında martenzite, östenitin soğuma sırasında martenzite dönüştürülmesiyle sertleştirilebilirler. Bu gruba ait bazı paslanmaz çeliklerin türleri ve kimyasal bileşimleri Çizelge 2.4.'te gösterilmektedir [16].

Çizelge 2.4. Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri [16].

Tür	Kimyasal Analiz Değeri (%)							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
403	0,15	1	0,5	11,5-13,00		0,04	0,03	
410	0,15	1	1	11,5-13,00		0,04	0,03	
410Nb	0,18	1	1	11,5-13,50		0,04	0,03	0,05-0,30Nb
410S	0,08	1	1	11,5-13,50	0,6	0,04	0,03	
414	0,15	1	1	11,5-13,50	1,25-2,50	0,04	0,03	
414L		0,06	0,5	12,50-13,00	2,50-3,00	0,04	0,03	0,50 Mo; 0,03 Al
416	0,15	1,25	1	12,00-14,00		0,04	0,03	0,60 Mo

Martenzitik alaşımlarda en yaygın Si, Mn, N ve Ni oranları genellikle düşük düzeylerde ve sabit oranlarda tutulmaktadır. Bunun tam aksine karbon miktarı ise daha geniş sınır çerçevesinde tutulur. Bu alaşımlarda % 0,1 – 1,2 arasında karbon miktarı değişir ve bununla birlikte yüksek miktarlarda C içerenlerde Cr miktarı ise %18 oranına kadar çıkabilmektedir [16].

Martenzitik paslanmaz çelikler, su verilmiş, menevişleşmiş ve tavllanmış halinde piyasada kullanılırlar. Kritik soğutma hızları çok yavaş olduğundan ve bu yavaş soğuma durumu da martenzit oluşumuna neden olmaktadır. Bu paslanmaz çelikler bu durumdaki halleriyle korozyon dirençleri çok iyi olmakla birlikte 815°C ısıya kadar paslanmazlık özelliklerini kaybetmezler, hafif korozyon durumu oluşur. Bütün bunlardan dolayı ise endüstride 700°C üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. Bundan dolayı martenzitik paslanmaz çelikler rulmanlı yatak, çatal, bıçak takımları, valf ve pompalarda kullanılırlar [17,18].

2.1.3.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler içeriğinde %11,50-30,50 arasında Cr, %0,20' ye kadar C ve düşük miktarda ise Al, Nb, Ti ve Mo gibi elementleri deferrit dengeleyici olarak barındırırlar. Ferritik paslanmaz çelikler her sıcaklık değerinde ferritik yapıdadırlar ve katı halde faz dönüşümü yoktur. Bundan dolayı da östenit oluşturamazlar, ısıl işlemlerle sertleştirilemezler. Ferritik paslanmaz çelikler 405, 409, 430, 442 ve 446 başlıca malzemeleridir. İçeriğindeki ferrit yapıcı elementler (Cr, Al, Ti) artırılarak aynı

zamanda ostenit yapıcı (C, Ni) elementler ise sınırlı tutularak oda sıcaklığı ve ergime noktası arasındaki tüm sıcaklık değerlerinde ferritik paslanmaz çelikler oluşturulmuştur. Bu çelikler klor içeriğindeki ortamlarda çukurcuk korozyonu ve aralık korozyonuna direnç göstermektedirler [18].

2.1.3.4. Östenatik Paslanmaz Çelikler

Östenatik paslanmaz çelikler içeriğinde %16-26 Cr, %10-24 Ni+Mn alaşımı, %0,40'a kadar oranda C ve düşük miktarda da Mo, Ti, Nb ve Ta gibi bir çok alaşım elementlerini içermektedir. İçeriklerinde Cr ve Ni+Mn alaşım element oranları arasında %90- %100 oranında östenitten oluşan mikro bir yapıları vardır.

Östenatik paslanmaz çelik alaşımları, sıcaklık değer aralıkları geniş olduğundan tokluk dayanımı yüksektir. Bununla birlikte 540°C sıcaklığa kadar oksidasyon oluşumuna karşı direnç gösterir. Östenatik paslanmaz çelik malzeme gruplarının başlıcaları 302, 304, 310, 316, çeliklerdir. Çizelge 2.5.'de, bahsi geçen östenatik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal değerleri gösterilmektedir [19].

Çizelge 2.5. Bazı östenatik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri [19].

Tür	Kimyasal Analiz Değeri (%)							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
302	0,15	2	1	17,00-19,00	8,00-10,00	0,045	0,03	
304	0,15	2	1	18,00-20,00	8,00-10,50	0,045	0,03	
310	0,25	2	1,5	24,00-26,00	19,00-22,00	0,045	0,03	
316	0,08	2	1	16,00-18,00	10,00-14,00	0,045	0,03	2,00-3,00 Mo

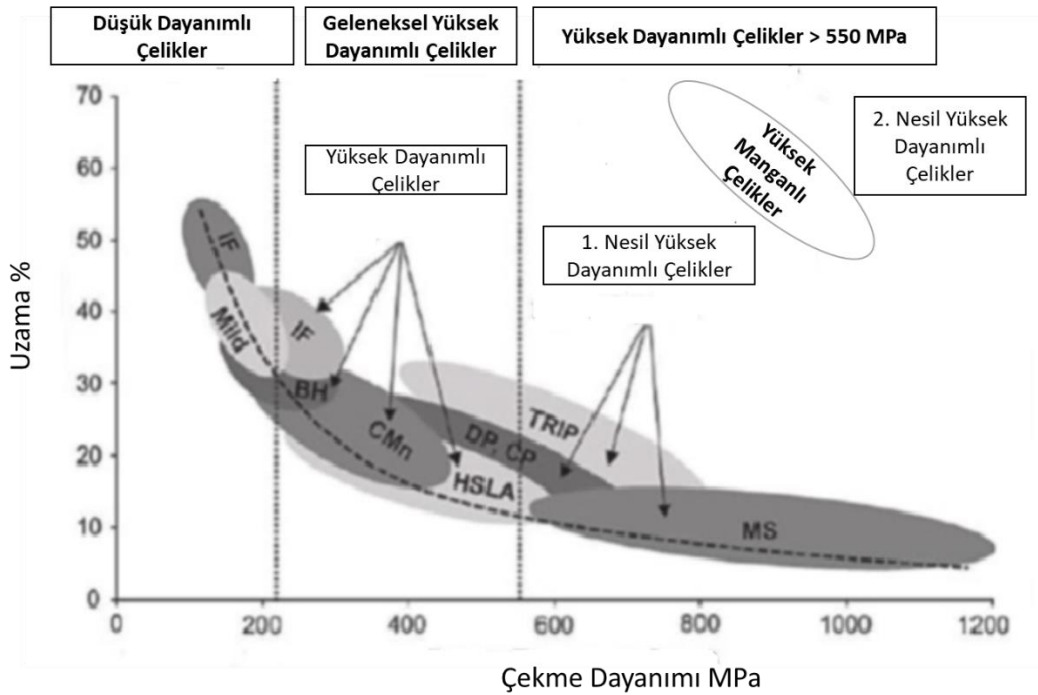
Östenatik paslanmaz çelikler paslanmaz çelik gruplarında en yaygın kullanıma sahip paslanmaz çeliklerdir. Ferritik paslanmaz çelikler gibi ısı ile sertleştirilmezler, manyetik değildirler. Mikroyapıları yüksek sıcaklık değerlerinde dahi yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdadır.

Bu yapıdaki ısı ile sertleştirilemediklerinden soğuk işlemle iyi düzeyde sertleştirilebilirler. Östenit yapısının kararlı halde kalabilmesi için alaşım elementi olarak nikel bu yönde etkin olmasına rağmen azot ve karbon elementleri de kararlı yapıyı korumak için etkin olarak kullanılmaktadır [14].

2.1.3.5. Östenatik Manganlı Çelikler

Kimyasal olarak içeriğinde % 11 ile % 15 arasında mangan, % 0,8 - 1,25 arasında karbon elementini barındıran soğuma koşullarının uygun olduğu durumda yapısal olarak östenatik manganlı çelikler olarak adlandırılırlar. 1882 yılında İngiltere'de yaşayan Sir Robert Abbot Hadfield tarafından bulunmuş ve bundan dolayı da Hadfieldçeliği olarak da adlandırılmaktadır. 1883 yılında İngiltere'de, 1884 yılında ise ABD'de patent çalışmalarının tamamlanmasından sonra piyasalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Östenatik manganlı çelikler, yüksek tokluğa ve süneklığe sahiptirler, sertleşme kapasiteleri yüksektir ve aşınmaya karşı direnç gösterirler. Şekil 2.3.'de yüksek manganlı çelikler ve diğer çelik türlerine ait mekanik değerler gösterilmiştir [20].



Şekil 2.3. Yüksek manganlı çelikler ve diğer çelik türlerinin mekanik değerleri [20].

X120Mn12 Çeliği

X120Mn12 çeliği östenatik manganlı çeliklerden aşınmaya en direnç gösteren çelik türüdür. Aşınmaya karşı direncinden dolayı talaşlı imalat metotlarıyla işlenmesi güçtür. Bundan dolayı X120Mn12 çeliğinden yapılan parçalar döküm yöntemiyle üretilir ve şekil vermek için ise dövme metodu kullanılır.

X120Mn12 çeliğinde mukavemet değerinin istenilen değerlerde olması için östenitleşme sıcaklık değerinde hızlı soğumaya tutulması gerekmektedir. 400 °C sıcaklığından daha yüksek noktalara çıktığında bu çeliğin mukavemeti düşer ve martenzitik yapıly çeliklerdeki tane sınırlarında karbürlenme görülebilmektedir.

Mangan elementi, çeliklerin mekanik özelliklerine ait değerleri artırırken uzama katsayılarını ise biraz düşürmektedir. Mn oranındaki %3'lük orana kadar her her %1 Mn artışında çeliğin çekme dayanımı 100 MPa artarken, %3-8 Mn oranları arasında ise çekme dayanımı daha az olmakla beraber %8'lik Mn değerinden itibaren çekme değerinde düşüş görülmektedir. Bu minvalde Mn elementi çeliğin kritik soğuma hızını düşürerek sertleştirilebilirliği arttırmaktadır [21].

Çizelge 2.6'da DIN standartında X120Mn12 çeliğinin kimyasal analiz değerleri gösterilmektedir.

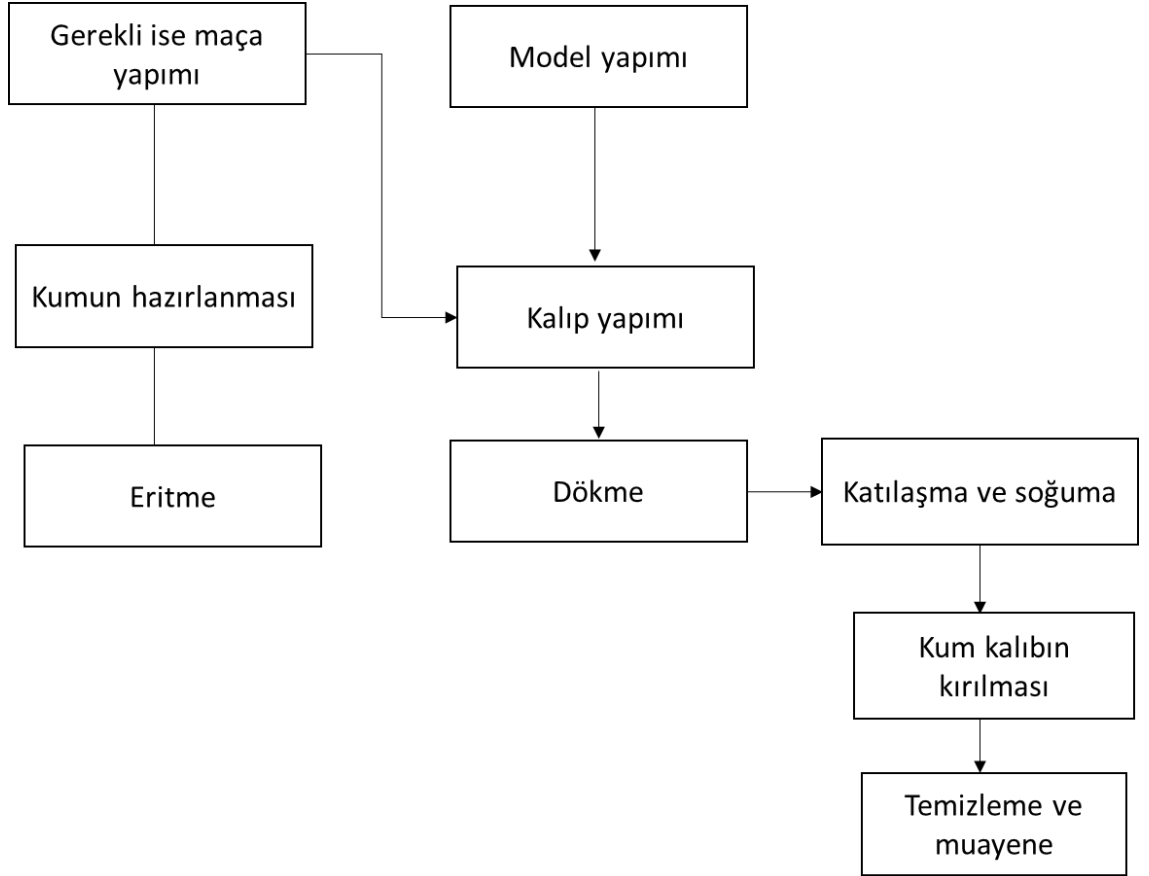
Çizelge 2.6. DIN standartında X120Mn12 çeliği kimyasal analiz değeri [20].

İçeriğindeki Element	% Element Değeri
C	1,10-1,30
Mn	12,00-13,00
Si	0,30-0,50
P	<0,10
S	<0,04
Cr	<1,50
Ni	<1,00

X120Mn12 çeliklerinin imalat süreçleri döküm fabrikalarında gerçekleşmektedir. X120Mn12 çeliği östenitik mangansız çeliklerin sınıflandırılmasında yer almakta olup imalat sürecinde yetkinlik ve bilgi birikimi büyük önem teşkil etmektedir. X120Mn12

çeliğin ve diğer manganlı östenatik çeliklerin üretimi kum kalıba döküm metodu ile az maliyetli olan döküm proseslerinden birisi ile yapılmaktadır. Bu şekilde farklı boyut ve şekillerde parça üretimi sağlanarak üretilen parça sayısının da istenildiği kadar arttırılabilmektedir.

Bir X120Mn12 çeliğinin kum kalıba döküm yöntemiyle oluşan üretim prosesleri Şekil 2.4.'de gösterilmektedir

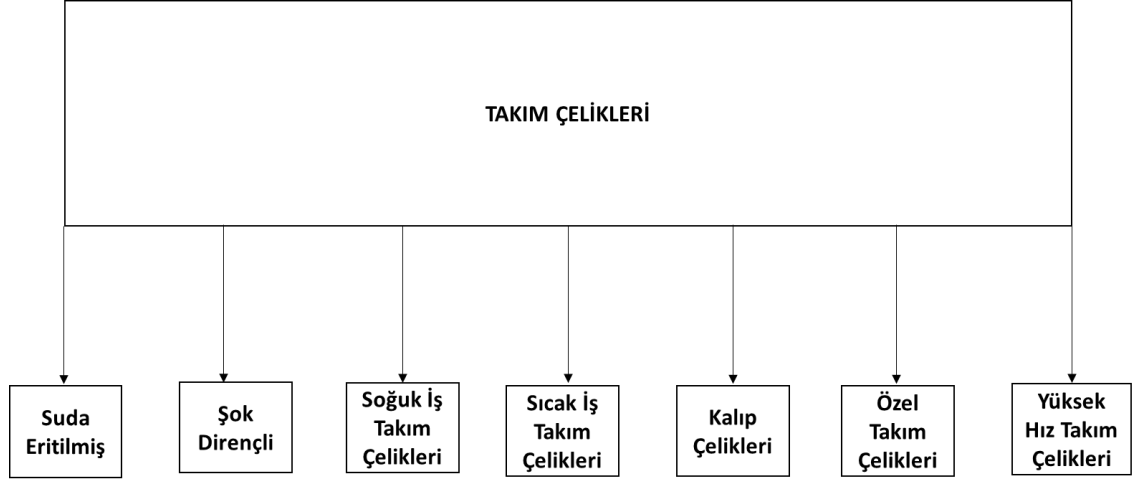


Şekil 2.4. X120Mn12 çeliğinin üretim prosesleri [20].

Takım Çelikleri

Takım çelikleri soğuk ve sıcak hallerde bulunan malzemelerin kesme, şekil verme, delme uygulamalarında kullanılan yüksek alaşımlı çeliklerdir. İçeriğinde Tungsten, vanadyum, mangan, krom, molibden gibi alaşım elementleri bulundurmaz. Kullanım alanlarında aşırı yüke ve yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar ancak takım çelikleri bu yükler karşısında çatlamadan, aşınma göstermeden ve deformasyona

uğramadan dayanabilmektedirler. AISI tarafından takım çeliklerinin sınıflandırılması Şekil 2.5.'de gösterilmektedir [13].



Şekil 2.5. AISI standartında takım çeliklerinin sınıflandırılması [13].

BÖLÜM 3

AŞINMA

İki malzemenin birbiriyle izafi hareketler sebebiyle temas eden yüzeylerinde oluşan malzeme kayıpları “aşınma” olarak ifade edilir ve süreklilik arz etmektedir [22].

Aşınmanın birçok terimsel tanımı yapılmakta olup Alman DIN 50320 Standardında;” bir malzemenin yüzeyinden mekanik etkiler sonrasında parçaların ayrılması sonrasında malzemelerin yüzeylerinde oluşan ve istenmeyen değişiklikler” şeklinde tanımlanmaktadır [23].

Moore aşınmanın tanımını halihazırda kullanım durumunda bulunan malzemelerin yüzeylerine sıvı katı ve gazların teması durumunda, malzeme yüzeyinden mikro parçacıklı taneleri koparması sonucundaki yüzey bozulması şeklinde tanımlanır [24]. Aşınma mühendislikte sistemlerin performansını etkiler ancak çoğu zaman malzemelerin tasarımı esnasında göz önüne alınmaz ve bu durum kullanım sonrasında tamir ve revizyon gibi masrafların oluşmasına sebebiyet verir. Bu durumda aşınmanın malzemelerin tasarımı esnasında dikkate alınarak süregelen kullanım sırasında aşınma sorunlarının ortaya çıkmasının önüne geçilmelidir [25].

3.1. AŞINMA KOŞULLARI

Malzeme yüzeyinde oluşan hasarların aşınma olarak kabul edilmesi için aşağıdaki şartların meydana gelmesi gerekmektedir.

- Yavaş yavaş ve sürekli olması,
- İstenilmediği halde kendisinin meydana gelmesi,
- Sürtünmenin oluşması,
- Mekanik etki altında olması

- Malzeme yüzeyinde değişimlerin olmasıdır.

Bu şartların tümünü sağlamayan durumlar ise aşınma olarak kabul edilmemektedir [24].

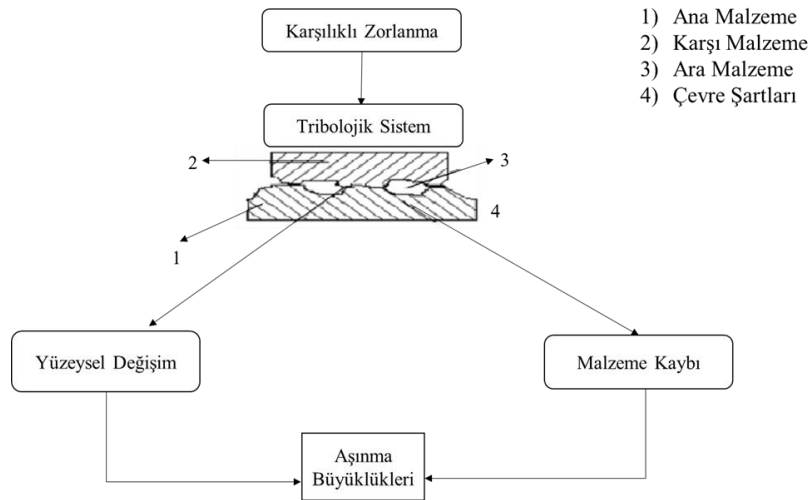
3.2. AŞINMA UNSURLARI

Bir aşınmanın aşınma olarak kabul edilebilmesi için aşınma unsurlarının olması gerekmektedir. Aşınma unsurları 6 adet olup bunlar;

- Ana malzeme (aşınan)
- Aşındırmaya sebep olan malzeme
- Hareket
- Yük
- Ortamdır.

Aşındırmaya sebep olan malzeme ile ana malzeme (aşınan) bir araya gelmesiyle “aşınma çifti” bununla birlikte sıvı, gaz ve buhar malzemelerin oluşturduğu düzeneğe ise “aşınma kombinasyonu” denir [26].

Bütün bunların oluşturduğu sisteme “Tribolojik Sistem” adı verilir. Bu sistemin gösterimi 3.1.’de yer almaktadır [25].



Şekil 3.1. Tribolojik sistem [25].

3.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

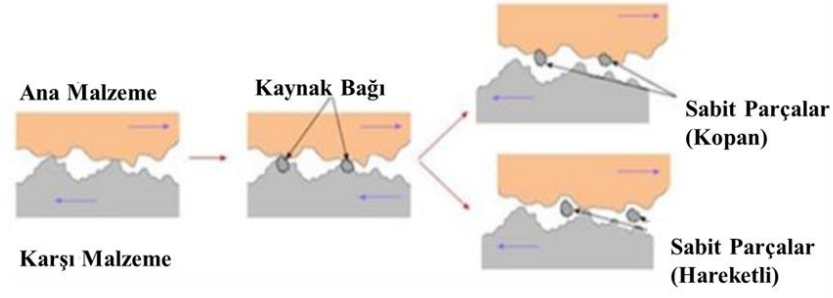
Aşınma çeşitleri standartlarda da belirtildiği üzere adhezif aşınma, abrazif aşınma, erozif aşınma, yorulma aşınması, korozif aşınma şeklindedir [26].

3.3.1. Adhezif Aşınma

Yapışma aşınması olarak da bilinen adhezif aşınma birbirlerine göre relatif hareket halinde olan iki metal yüzeyin herhangi birisinden parçacığın kopması sonucunda diğer metal yüzeye yapışması diğer bir ifadeyle malzeme taşınımı oluşması şeklinde tanımlanır [25].

Metallerin yüzeyi mühendislikte tamamen ne kadar parlatma işlemine tabi tutulsa dahi tamamen pürüzsüz bir yüzeye sahip değildir. Bu şekildeki iki yüzey birbirleriyle temas ettirildiğinde pürüzlü alanlar arasında soğuk kaynak bağlantılarındaki deformasyonlar ve metaller arasında yapışmalar meydana gelir. Yapışma eğiliminin sıfıra yakın olduğu metal çiftlerinde dahi bu durum düşük olmasına rağmen yine de adhezif aşınma gözlemlenir. Metalik malzemelerin birçoğu adhezif aşınma (yapışmaya) meyillidir [23].

Birbiriyle temas halinde olan ve aralarında herhangi bir yağlayıcının bulunmadığı birbiriyle yakın temas halindeki iki metalik yüzey arasında “adhezyon kuvveti” oluşur ve bu durumda iki yüzeyinde pürüzlülüğü, malzemelerin ağırlığı veya dış kuvvet etkileri sebebiyle küçük olan pürüzlülük yüzeylerine gelen gerilme ve basınç kuvveti büyük olur. Bu basınç kuvvetini taşınamayınca ise plastik deformasyonlar oluşur. Adhezif aşınmaya ait görsel Şekil 3.2.’de gösterilmiştir [26].



Şekil 3.2. Adhezif aşınma [26].

Adhezif aşınma metaller arasında kayma sürtünmesi sebebiyle en çok gözlemlenmektedir. Kayma sürtünmesi sebebiyle aşınma parçacıkları yumuşak metalden koparak sert metale yapışmaktadır bu durumda ise yumuşak metalden sert metale doğru kaynak noktasından bir transferin olduğu gözlemlenmekle birlikte, yumuşak malzemedan ayrılan parçaların bir kısmının sert malzemeye bir kısmının ise sürtünme yüzeyi arasında aşındırmaya devam ettiği görülmektedir. Tüm bu durumlarda yüksek sertliği olan malzemelerde düşük sertliğe sahip malzemelere nazaran aşınmanın daha az meydana geldiği, aynı sertliğe sahip malzemelerde ise aşınmanın iki yüzeyde de gerçekleştiği görülmüştür.

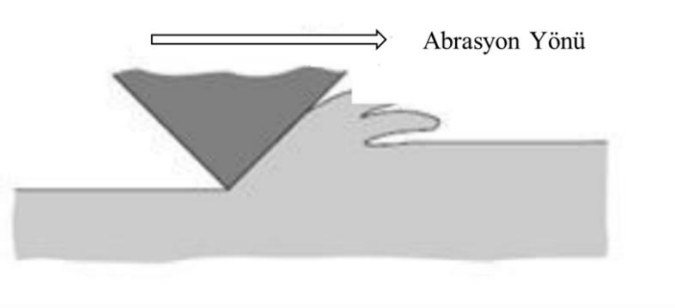
Bu durumdan dolayı adhezif aşınmanın olduğu ortamlarda tamiri ve yerine takılıp sökülmesi nispeten daha kolay olan parçalar yumuşak malzemedan seçilir. Örnek verilecek olursa ana dişli yerine sökülüp takılması daha kolay olan pinyon dişlinin sertliği daha düşük malzemedan olması tercih edilir [24].

Adhezif aşınma mekanizmalarının temel özellikleri;

- Aşınma, uygulanan kuvvet ve yüzeylerin hızına bağlıdır. Genellikle yüksek hız ve yükte meydana gelir.
- Genellikle benzer özelliklere sahip ve kolay alaşım oluşturulabilen malzemeler arasında gerçekleşir.
- Yağlamanın önemi büyük olup, adhezif aşınmanın önlenmesi için yağlama yapılmaktadır [27].

3.3.2. Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma; malzeme sertliğinin aynı veya daha fazla olduğu metallerin yüzeylerindeki sert partikül veya parçacıkların malzeme yüzeyine ters yönde hareket etmesiyle meydana gelmektedir [22]. Abrazif aşınma malzemede hızlı bir şekilde etkisini gösteren, yüksek aşınma hızına sahip olmasından dolayı sistemin hasarına sebebiyet vermektedir [25]. Abrezif aşınma mekanizması Şekil 3.3.'de gösterilmiştir [22].



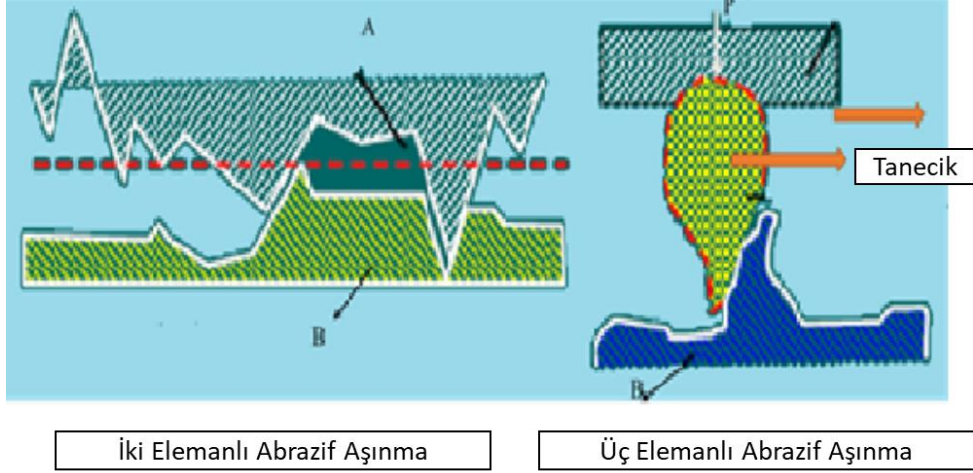
Şekil 3.3. Abrazif aşınma mekanizması [22].

Abrezif aşınmayı etkileyen faktörler;

- Sertlik değeri,
- Tane boyutu ve geometrisi,
- Yüzey pürüzlülüğünün boyutu ve şekli,
- Aşındırıcının cinsi,
- Yüzeğe uygulanan hareket hızı ve yüküdür [26].

Abrazif aşınma aslında uygulanan hareket ve kuvvetin etkisiyle sert olan malzemenin tanecik ve pürüzleri diğer malzemenin yüzeyi üzerinde mikro talaş kaldırma olayı gerçekleşir. Abrazif aşınma mekanizmasında katı-katı, katı-sıvı, katı-mineral şeklinde sürtünme elemanları bulunur. Sürtünmenin gerçekleştiği iki yüzey arasında diğerine göre daha sert olan yüzey pürüzleri yumuşak olan çizerek oluşan aşınmaya “İki Cisimli Abrazif Aşınma” denir. Eğer ki sürtünmenin olduğu yüzeyler arasında yuvarlanan sert taneciklerin yüzeyi çizerek oluşan aşınmaya “Üç Cisimli Abrazif Aşınma” denir [25]. Her iki aşınma türü de göz önüne alındığında üç cisimli aşınmada ağırlık kaybı

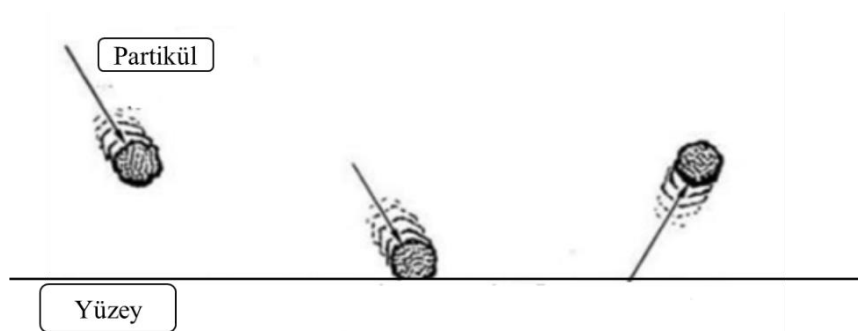
iki cisimli aşınmaya nazaran daha azdır. Üç cisimli abrazif aşınmaya; abrazif alıştırma ve parlatma işlemleri örnek verilebilirken iki cisimli abrazif aşınmaya ise talaşlı imalat, öğütme ve kesme işlemleri örnek olarak verilebilir [26]. Şekil 3.4.'de iki cisimli ve üç cisimli abrazif aşınmanın şematik gösterimi yer almaktadır [25].



Şekil 3.4. Abrazif aşınmanın şematik gösterimi [25].

3.3.3. Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınma; aşındırıcı katı parçacıkların aşınan yüzeye belirli hız ile çarpması halinde zeyin üstünde oluşan malzeme kaybına denir [31]. ASTM G76-95 standardında belirli hızdaki katı taneciklerin yüzeye çarpmasıyla oluşan malzeme kaybına “eroziyon aşınma” olarak tanımlanmaktadır [30]. Ancak eroziyon aşınma bir başka deyişle ise sıvı ya da katı parçacıkların yüzeye belirli hızlarda çarparak yüzeyin üst tabakasında oluşturduğu malzeme kaybıdır Şekil 3.5.' de eroziyon aşınma mekanizmasının şematik gösterimi yer almaktadır [28].



Şekil 3.5. Eroziyon aşınma mekanizmasının şematik gösterimi [28].

Malzemenin kullanım yerine göre yüzeyden malzeme kopması sonrasındaki malzeme kayıpları önemli problemlere neden olabilmektedir. Makine elemanları ve parçalarının erozif aşınmaya maruz kalması durumunda makine ömürlerinde azalmalar ve çalışma sistemlerinde sorunlar meydana gelebilmektedir.

Erozif aşınma mekanizmasında;

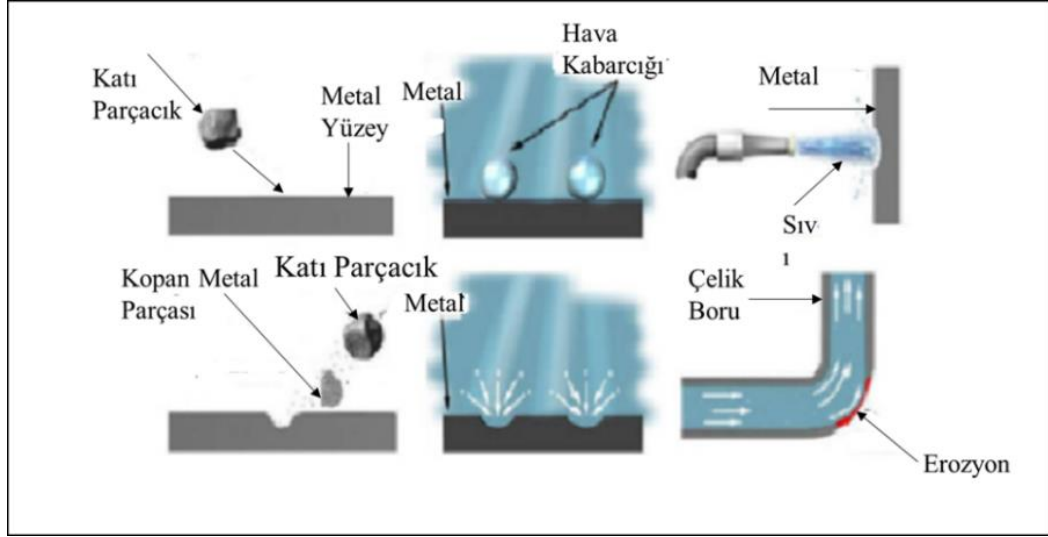
- Mikro yarma ve kesme,
- Mikro çatlak,
- Madde taşması,
- Yüzey ve yüzey altındaki yorulma çatlakları,
- Malzeme yüzeyinden ayrılmaların oluşturduğu tabakalı ince levhacıklar,
- Malzeme yüzeyinden ayrılarak geriye doğru hareket halindeki malzeme nedeniyle oluşan levhacıklar gözlemlenmektedir [28].

Erozif aşınmada malzemenin yapısal yüzeyinde hasarların oluşması için belirli bir yükseklikte kinetik enerjinin olması beklenmektedir. Bu durumda malzemenin yüzeyindeki kaybın devamlılığının sürmesi halinde mekanik anlamda önemli olumsuzluklar meydana gelir. Bu durum ise malzemenin kullanım ömrünü, verimlilik ve performansını düşürmektedir [29].

Erozif aşınma aşağıdaki şekillerde meydana gelmektedir.

- Katı yüzeyine yüksek hızla akışkan partiküllerinin çarpması,
- Yüksek hıza sahip akışkan damlasının hareketiyle katı yüzeyine çarptıktan sonra şok dalgasıyla oluşan aşınma,
- Katının yüksek hızla hareketi sonucunda akışkanın daha yavaş harekete sahip olması ve sürekli damlalarla çarpması sonucu,
- Yüksek basınç altındaki gaz kabarcığının malzeme yüzeyinde aşınma oluşturmasıdır.

Şekil 3.6.'da yukarıda açıklanan farklı türdeki erozyon aşınmaları gösterilmektedir [30].



Şekil 3.6. Farklı türdeki erozyon aşınımları [30].

Erozif aşınmayı etkileyen faktörler Şekil 3.7.'de gösterilmektedir [30].



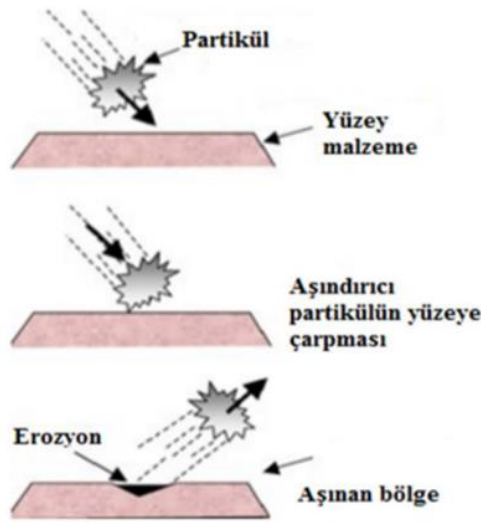
Şekil 3.7. Eroziyon aşınmayı etkileyen faktörler [30].

3.3.3.1. Kıta Partikül Erozyonu

Sıvı ya da gaz akışkanda belirli bir hızda seyreden aşındırıcı partiküllerin malzeme yüzeyine lineer çarpması sonucunda malzeme yüzeyinde oluşan kayba kıta partikül erozyonu denir [26]. Daha önceden kıta partikül erozyonunun akışkan sistemi içerisinde yüksek hızdaki sürüklenen partiküllerin malzeme yüzeyindeki açılı hasar olduğu bilinirken sonra yapılan araştırmalar neticesinde akışkan içerisindeki

partiküllerin sürekli olarak malzeme yüzeyinden malzeme kaldırması olduğu tanımlandı. Katı partikül erozyonu aşınmasını havacılık ve uzay sanayisinde kullanılan malzemelerde, jet motorlarında, türbinlerde ve kömür dönüştürme santrallerinde problemlerine yol açarken ancak su jeti ile kesim metoduyla da kesme işlemlerinde kullanılmaktadır [28].

Katı partikül erozyon mekanizması Şekil 3.8.'de gösterilmektedir [30].



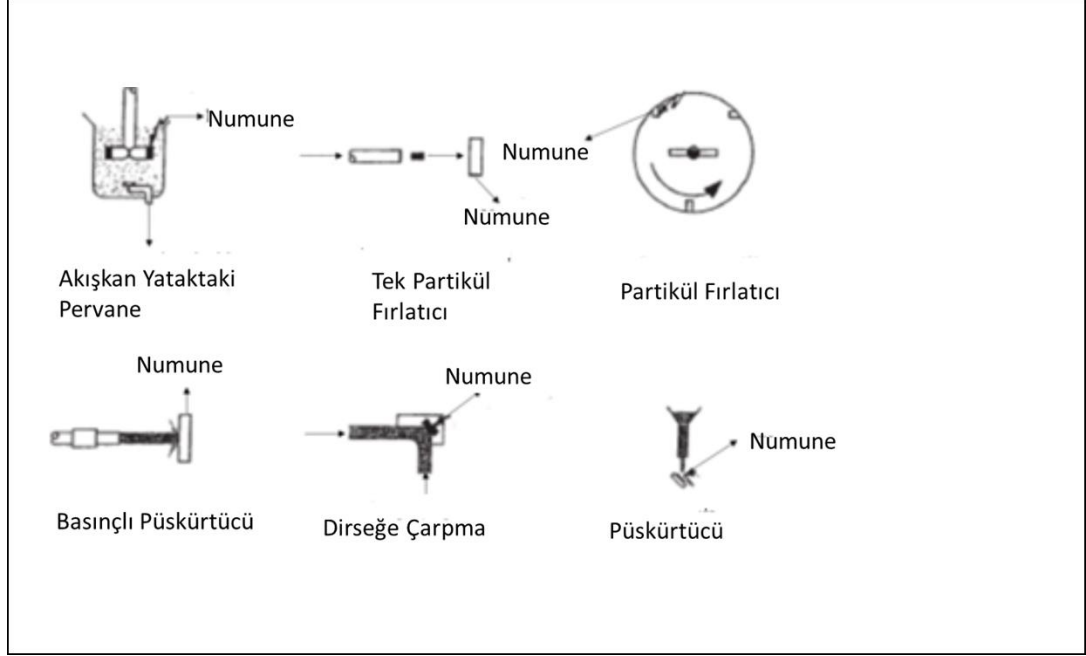
Şekil 3.8. Katı partikül erozyon mekanizması [30].

Katı partikül erozyonuna etki eden faktörler aşağıda belirtilmektedir [32].

- Aşındırıcı partiküllerin hızı, aşındırıcı partiküllerin geometrisi, çarpma açısı, boyutu, debisi, aşındırıcı partikül karışımının oranı,
- Aşınan malzemelerin özellikleri,
- Aşınmanın olduğu ortamın sıcaklık, nem ve korozyif etkileri gibi şartlarıdır.

Katı partikül erozyonu yukarıda da bahsedildiği üzere bir malzemenin yüzeyinde tekrarlı olarak devam eden çarpmalar sonucunda parçaların kalkmasıdır. Katı partikül erozyonun da kullanılan deneylere ait görseller Şekil 3.9.'da gösterilmektedir. Bu erozyon tipinde aşınmanın karakteristik özelliği için aşındırıcı malzemeye ait özellikler büyük önem taşır. Aşındırıcı partikül sertliği, geometrisi, partikül miktarı

çarpma açısı ve çarpma hızı en önemli parametrelerdir. Deneyleerde reaktif olmayan gaz veya hava kullanımını durumunda malzemeye ait kimyasal özellikler değişmezken sadece malzemenin mekanik özellikleri değişime uğramaktadır [26].

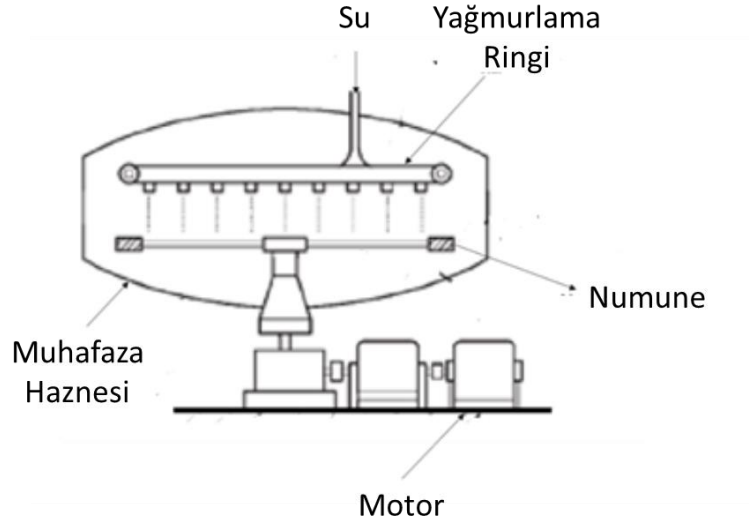


Şekil 3.9. Katı partikül erozyonunda kullanılan deney düzenekleri [26].

3.3.3.2. Sıvı (Su) Damlası Erozyonu

Su damlası erozyonu hızı yüksek olarak hareket halindeki katının daha düşük hızdaki su (sıvı) damlalarının çarpması şeklinde meydana gelir. Bu erozyon türüne su damlası, nem erozyonu veya yağmur erozyonu da denmektedir [26].

Normal şartlarda sıvı damlalarının yüksek hızlarda herhangi bir katı yüzeyine çarpıp bu katı yüzeyden malzeme kaldırması güçtür. Sıvı damlası erozyonunda yüksek hızla hareket eden katı yüzey olup, sıvı damlalarının bu katı yüzeye çarpması ve bu işlemin tekrarlı olarak devam etmesi sonucunda oluşan şok dalgaları neticesinde katı malzeme yüzeyinde tahribat meydana gelir. Bu nem veya yağmur erozyonu olarak bilinir. Sıvı erozyonu sonucu oluşacak zararların önlenmesi için darbeye dayanıklı malzemenin seçilmesi, sıvı partiküllerin malzeme yüzeyine çarpmadan parçalanması ve katı malzemenin hareketinin minimize edilmesi halinde önlenebilir. Şekil 3.10.'da sıvı (su) damlası erozyonunun deney düzeneği gösterilmektedir [26].



Şekil 3.10. Sıvı (Su) damlası erozyonu deney düzeneği [26].

3.3.3.3. Sulu Çamur (Slurry) Erozyonu

Katı partikül taşıyan akışkan ortam yani sulu çamur erozyonunda sıvı ya da gaz akışkan ortamının içerisindeki taşınan katı partiküllerin (bunlar yüksek fırın cürufu, santral tozu gibi) taşınması esnasında taşınan malzemenin iç yüzeyine çarparak oluşturmuş olduğu aşınma türüdür [26].

Slurry erozyon yani çamurlu erozyon çoğunlukla sıvı içerisinde tane büyüklüğü birkaç mikron ya da milimetre olan en az bir veya birçok katı partikülün heterojen olarak karışımı şeklinde tanımlanır. Bu heterojen karışım görünüm itibariyle bulamaç, çamur şeklinde olup içerisindeki partiküllerin konsantrasyonundan ötürü viskozitesi yüksek akışkan olup, “non-newton” akışkan olarak sınıflandırılır.

Çamurlu erozif genellikle türbülansa sahip akış ortamlarında parçanın hem çamurun içerisinden geçmesiyle aynı zamanda da çamurun (Slurry) malzeme yüzeyine çarpması sonucunda malzeme yüzeyinden parçacıkların koparılması halinde oluşan aşınmadır.

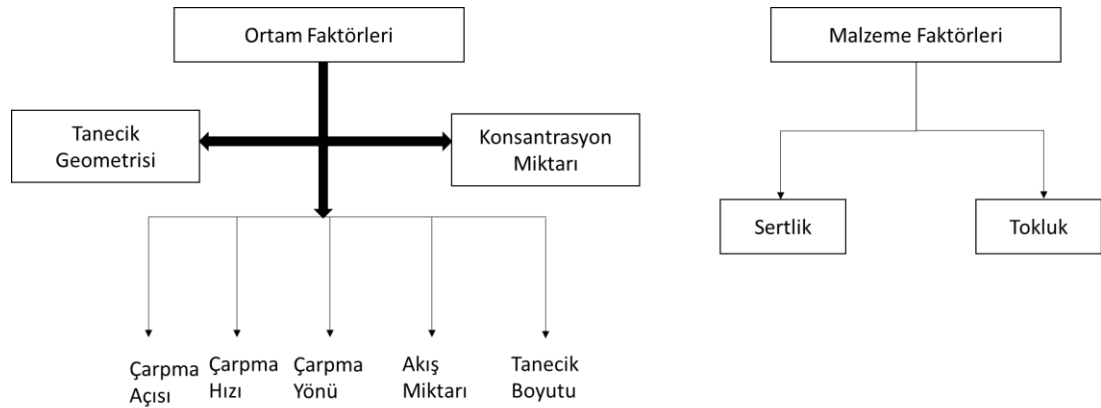
Çamurlu erozif aşınmayla, petrol-gaz üretim tesis alanlarındaki hidrolik mekanizmalarda, pompalarda, hidroelektrik santrallerde, çamur pompalarında,

pervaneler, türbin kanatlarında, aynı şekilde katı partikülün taşındığı boru hatlarında sıklıkla rastlanmaktadır. Bundan dolayı da son zamanlarda çamurlu erozif aşınma önem kazanmıştır. Çamurlu erozif aşınma sonucunda oluşan hasarlar ekonomik hasarlarda ziyade güvenlik sorunlarına da yol açmaktadır [33].

Sulu Çamur (Slurry) Erozyonuna Etki Eden Faktörler

Sulu çamur (Slurry) erozyonu karışık proses olduğundan etkilendiği faktörler çok fazladır ve literatürde bu aşınma türünün davranışları ve bu durumu etkileyen faktörlerin araştırmaları hala devam etmektedir. Akış alanı parametreleri, aşındırıcı partikülün karakteristik özellikleri, deney düzeneğinde yer alan aşınması gözlemlenecek malzemenin özellikleri olmak üzere birçok etken bulunmaktadır. Ayrıca belirtilen bu faktörler arasında malzemenin kaldırma prosesindeki çarpma açısı ile deney düzeneğinde yer alan hedef malzemenin mikro yapısıdır.

Sulu çamur erozyon aşınması, deney düzeneğindeki katı parçacıkların şekli, boyutu, hızı ve parçacıkların yoğunluğu ve malzemenin sertliği bu süreçte büyük rol oynamaktadır. Tüm bu faktörlerin yanı sıra katı partikül parçacıklarının hedef malzemeye çarptıkları açı ve bu açıyla hedef malzemeye çarpma hızları şeklinde birçok faktörlerde etkindir. Şekil 3.11.'de sulu çamur (Slurry) erozyonunu etkileyen faktörler, Şekil 3.12.'de sulu çamur erozyonuna uğramış aşınma örneği gösterilmektedir [33].



Şekil 3.11. Sulu çamur (Slurry) erozyonunu etkileyen faktörler [33].

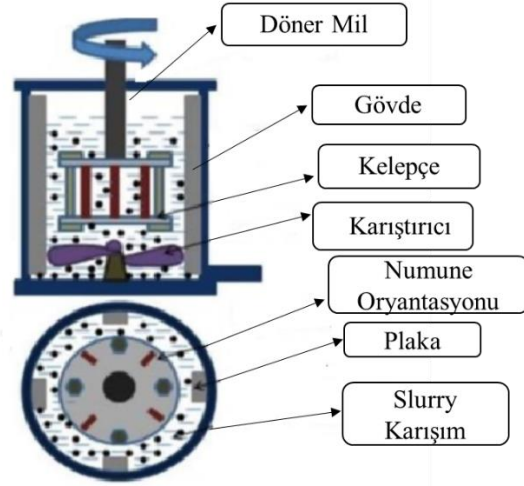


Şekil 3.12. Sulu çamur erozyonuna uğramış aşınma örneği [33].

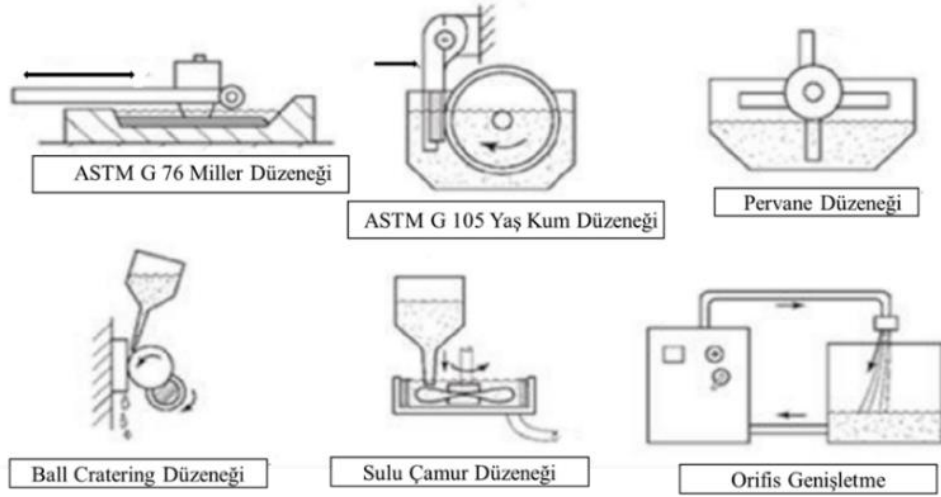
Sulu Çamur (Slurry) Erozyonunda Kullanılan Deney Metotları

Sulu çamur erozyonunda hedef malzeme yani numune üzerindeki etkileri incelemek için birçok metotlar kullanılır. Bunlardan en yaygın olan ikisi; laboratuvar simülasyon testleri ile pilot yöntemlerdir. Pilot yöntemler; prototip şekilde tasarlanır ve endüstri uygulamalarına en yakın sonuçları elde etse dahi tercih edilmemektedir. Laboratuvar simülasyon test cihazları ile numuneye çarpma açısı ve hızları ile konsantrasyon malzemesinin yüzdeleri gibi etken parametreler kullanılarak ekonomik olarak daha uygun, kurulum ve kullanım olarak da daha kolay bu metot yaygın olarak tercih edilmektedir. Uluslararası literatürde kabul gören genel bir model deney modeli bulunmamasıyla beraber yaygın olarak pota tipi ve jet tipi deney düzeneği kullanılmaktadır.

Pota tipi deney düzeneği; ilk olarak 1995 yılında Gupta ve arkadaşları tarafından tasarlanmış ve hala en çok tercih edilen deney düzeneği olarak kabul edilmektedir. Pota tipi test düzeneği; silindirik şekilde bir bulamaç (çamur) potası, karıştırıcı düzeneği, şaft, yatak takımı, numune ve motor tutucu parçalarını içerir. Çarpma açısı bu deney düzeneğinde istenilen değerlerde ayarlanabilmekte, döner mil yani şaft ise ayarlanabilen hızlı bir motorla farklı hızlarda döndürülebilmektedir. Pota tipi deney düzeneği Şekil 3.13.'de şematik olarak gösterilmektedir [33]. Ayrıca Şekil 3.14.'de sulu çamur erozyonunda kullanılan farklı deney düzenekleri gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Pota tipi deney düzeneği [33].

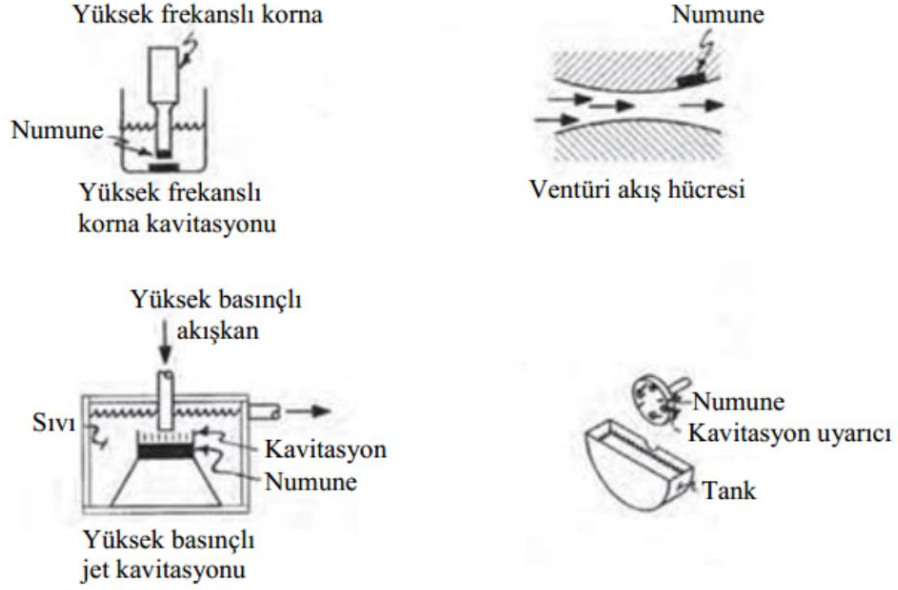


Şekil 3.14. Sulu çamur düzeneğinde kullanılan farklı tip deney düzenekleri [26].

3.3.3.4. Kaviteasyon Erozyonu

Ani basınç değişimleri nedeniyle sıvı ortam içerisinde bulunan ekipmanların titreşim ve yüksek frekans etkisiyle malzeme yüzeyinde basınçlı bölgelerde anlık olarak birçok kabarcığın oluşması ve bu kabarcıkların basıncın yüksek olduğu bölgelere hareket etmesi patlamanın gerçekleşmesi ve malzeme yüzeyinden küçük parçacıkların kopması sonucunda oluşur [26]. Kaviteasyon aşınması aynı zamanda diğer bir adıyla çukurcuk aşınmasıdır. Bu aşınma türü özellikle pompa ve gemi pervanelerinde,

kompresörlerin silindir kısımlarında meydana gelir [27]. Kaviteasyon erozyonunda kullanılan deney düzenekleri Şekil 3.15.'de gösterilmiştir [26].



Şekil 3.15. Kaviteasyon erozyonunda kullanılan deney düzenekleri [26].

3.3.4. Korozi Aşınma

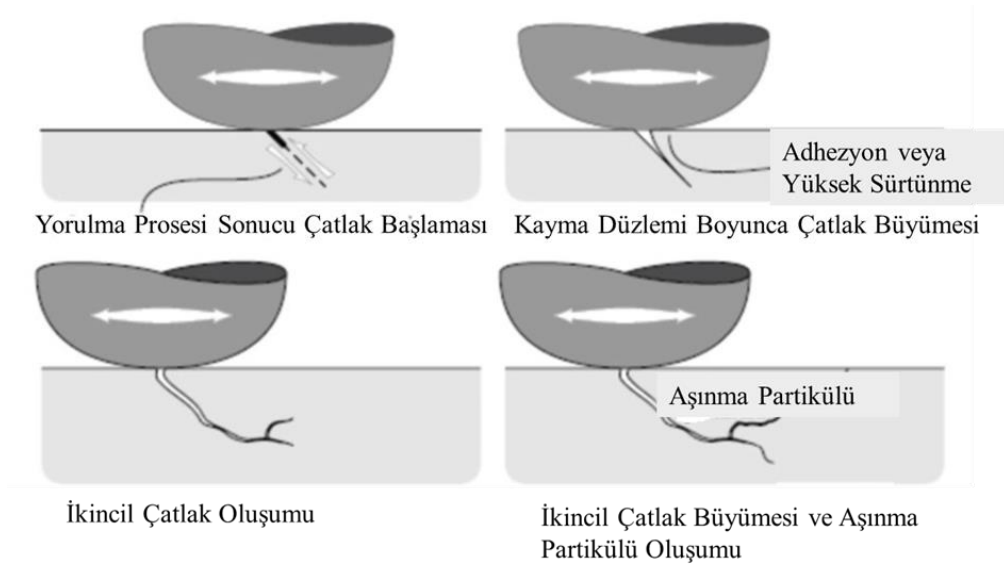
Metalik malzeme yüzeyi ve malzemenin çalıştığı ortam arasındaki etkileşimler sonucunda meydana gelen aşınma türüdür Korozi aşınmayı önlemek için malzemenin çalışma ortamındaki yüzeye etki eden yağ kimyasalı ve sudan uzak durmak gerekir [27]. Metalik malzeme yüzeylerindeki kimyasal bileşenler malzeme yüzeyinde oksitlenmeye sebep olmakta ve bu durumda malzeme yüzeyinde tabaka oluşturmaktadır. Ancak sürtünme sonucunda ise bu tabaka ortadan kalkabilir ve bir daha oluşmayabilir. Malzemenin yüzeyinde malzemenin dayanıksız hale gelmesine neden olur ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda ise malzemenin yüzeyinden malzeme kaybı oluşur bu aşınmaya korozi aşınma denir [26].

3.3.5. Yorulma Aşınması

Malzemede yorulma aşınması tekrar eden zorlanmalar altında malzeme yüzeyindeki titreşimlerin meydana getirdiği aşınma türüdür. Bu aşınma türü esnasında malzemenin iç yapısında yırtılmalar, parçalanmalar, kısmi kopmalar meydana gelerek malzeme

yüzeylerinden kopmalar oluşmaktadır. Genellikle çalışma koşulunda yuvarlanma hareketine maruz kalan ve zamanla yorulma sonucunda kamalarda, dişli çarklarda ve rulmanlarda bu aşınma türü gözlemlenir [31].

Şekil 3.16.'da yorulma aşınmasına bağlı malzeme yüzeyinde oluşan çatlaklar gösterilmektedir [31].



Şekil 3.16. Yorulma aşınmasına bağlı malzeme yüzeyinde oluşan çatlaklar [31].

BÖLÜM 4

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde deney çalışmaya ışık tutması adına daha önce erozif aşınma ile ilgili farklı parametrelerde gerçekleştirilen çalışmalar ve bu çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar incelenerek birkaçı özetlenmiştir.

Yılmaz (2023), çalışmasında, AISI 316 östenitik paslanmaz çelik ile AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemelerinin slurry erozif aşınma deneyi ile her iki malzemenin de kütle kaybı, yüzey pürüzlülüğü ve hazne sıcaklık değişimleri inceleyerek davranış kıyaslamasını yapmıştır. Yılmaz bu çalışmasında sırasıyla 2, 3, 5 m/s üç farklı çarpma açısında, %5, %10 ve %15 olarak üç farklı konsantrasyon değerinde ve 30°, 60° ve 90° açılarda üç farklı çarpma açısı değerlerini kullanmıştır. Farklı konsantrasyonda çarpma hızı ve açısında her iki malzeme içinde çarpma hızı arttıkça kütle kaybı, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık değişimlerinde artışın meydana geldiğini ancak çarpma açısının etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu ortaya koymuştur [34].

Çakır (2023), çalışmasında borlama ile yüzeyi sertleştirilen AISI 420 çeliği ile herhangi bir işleme tabii tutulmamış AISI 420 çeliğinin slurryerozif aşınmalarının kütle kaybı, hazne sıcaklık değişimleri ve yüzey pürüzlülüklerinin kıyaslamasını yapmıştır. Kütle kaybı yönünden ham AISI 420 çeliğinin kütle kaybının borlanmış AISI 420 çeliğine kıyasla daha fazla olduğunu, gözlemlemiştir [35].

Girish R.D. vd., AISI 304L ve AISI 316L paslanmaz çeliklerin kuvars, alümina ve silis karbür olmak üzere üç aşındırıcı malzeme kullanılarak hedef malzemeleri %10 konsantrasyon ve 3 m/s hızda sulu erozif aşınmasını incelemişler ve sünek malzemelerin normal darbe durumunda erozyon aşınması, aşınan sertliğin hedef malzeme sertliğine oranının bir fonksiyonu gibi görüldüğünü, erozyon oranının bir dizi sertlik oranı için neredeyse sabit kaldığını gözlemlemiştirler [36].

Seyit M.D. vd. (2022) çalışmalarında bazalt elyaf takviyeli epoksi malzemenin Çarpma açısı ve çarpma hızının özelindeki etkenin aşınmış kompozit malzeme yüzeylerindeki farklılıklarını 45° çarpma açısı ve 53 m/s anlamlılığı üzerine stereo mikroskop görüntüleri ile sonuçlar ortaya koyarak yorumlamışlardır [37].

Ağar (2023), yapmış olduğu çalışmada, kaplamasız ve gaz altı kaynağı ile kaplanmış aynı zamanda elektrot kaynağı ile kaplanmış üç farklı St-37 numune çeliklerinin 5 m/s, 3 m/s ve 4,5 m/s partikül çarpma hızlarında ve 15°, 30° ve 45° çarpma açısındaki %10 konsantrasyon içeriğinde erozif aşınma davranışını incelemiştir. Yapmış olduğu çalışma neticesinde ise;

- Çarpma hızının artırılmasıyla aşınma miktarının arttığını,
- Çarpma hızı parametresine göre en yüksek aşınmanın 4,5 m/s hızda gerçekleştiğini,
- Çarpma açısının artmasıyla aşınma miktarının arttığını tespit etmiştir [38].

Yıldızlı vd., çalışmasında yüzeyi östenitik manganla kaplanmış ve düşük karbon içeren çeliğin erozif aşınmasını incelemiştir. Deneyinde nominal çapı 420 mikron olan aşındırıcı parçacıklar ile çarpma açılarını 30°, 60° ve 90° olacak şekilde düzenlemiş, parçacık hızını ise 30 m/s' olarak belirlemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda ise düşük karbonlu çeliklerin kuvvetlendirilip, ark kaynağı ile yüzey kaplamasının yapılmasının sonucunda erozif aşınmaya karşı direncinin arttığını gözlemlemiştir [39].

Katsichvd.,(2009) yapmış oldukları çalışmalarında sert yüzey ile kaplanmış MAG kaynak yöntemiyle demir, krom ve karbon alaşımlarının yüksek sıcaklıklardaki erozif aşınmasını incelemiştir. Bu malzemelere sabit hızda dört farklı sıcaklık değeri, iki farklı çarpma açısında deneylerini uygulamışlar ve sonucunda erozyon artış hızının sıcaklık değerlerinin artması sonucunda arttığını ve yüzeye uygulanan sert dolgu kaplamaların aşınmayı azalttığını gözlemlediklerini belirtmişlerdir [40].

More vd., (2014) çalışmalarında AISI SS304L çeliğini hedef malzeme olarak kullanmış ve erozif aşınma deneyinde çarpma hızı, tane boyutu ve konsantrasyon ve partikül çarpma açısı parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Aşındırıcı malzeme

olarak 550 µm partikül boyutuna sahip kuvars kumunu seçmişlerdir. %20 sulu çamur konsantrasyonunda 3,71 m/s partikül çarpma hızında deneylerini gerçekleştirmişler ve sünek malzemelerden aldıkları numunelerde kesme ve aşınma miktarları hesaplanarak verilen değerlerin deneyde elde ettikleri verilerle benzer aşınma miktarlarının hesaplandığını görmüşlerdir [41].

Erdem, yapmış olduğu erozif aşınma deneyinde Hardox 400, Hardox 500, Erdemir 5060/SAE 1060 çeliklerini numune olarak kullanmışlardır. Deneylerinde aşındırıcı malzeme olarak 70 µm partikül boyutunda Al₂O₃ malzemesini seçmişler ve numunelerine 76 m/s ve 57 m/s'lik çarpma hızı uygulamışlar çarpma açılarını ise 30° ve 90° olarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda üç farklı çelik malzemesi ise dört ayrı koşulda erozif aşınma deneylerini gerçekleştirerek erozif aşınma eğrilerini elde etmişler ve sonucunda aşağıdaki sonuçları ortaya koymuşlardır.

Elde ettikleri aşınma eğrilerinden, deneyde kullanılan tüm malzemeler için enyüksek aşınma hızlarının, 30°'lik çarpma açısında ve 76 m/s'lik çarpma hızında olduğunu ve 90°'lik çarpma açısında ise aşınma miktarlarının düştüğünü gözlemlemişlerdir. Tüm numunelerde en düşük aşınmanın 90°'lik çarpma açısında ve 57 m/s çarpma hızında olduğunu ortaya koymuşlardır [42].

Erozif aşınma ile ilgili yapılan literatür araştırması sonucunda farklı kimyasal özelliklere sahip kaplamasız numune seçimlerinin ve numunelere uygulanan kaplama sonucundaki numune seçimlerinin farklı parametrelerdeki erozif aşınma sonuçları incelenmiştir. Bu incelemelerde numunelere farklı aşındırıcı partikül boyutları, farklı aşındırıcı konsantrasyonu, farklı çarpma açıları ve son olarak farklı çarpma hızları uygulanmıştır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda konsantrasyon artışının malzemeler üzerindeki aşınmayı arttırdığı, çarpma açısının ise numunelerin aşınma miktarlarında etkili parametre olduğu anlaşılmıştır.

Bu bilgiler doğrultusunda yapmış olduğumuz mevcut çalışma östenetik paslanmaz çelik grubunda yer alan aşınmaya karşı dirençli X120Mn12 malzemesinin erozif aşınma dayanımlarının daha önce yapılan çalışmalarda çarpma hızın slurry erozif aşınmadaki etkileri incelendiğinden çarpma hızı sabit tutulmuş ve % 10, % 15 ve % 20 olmak üzere üç farklı konsantrasyon değerinde 30°, 45° ve 60° çarpma açılarında aşınma performanslarının detaylı olarak incelenmesini amaçlamaktadır. Araştırma sonuçları söz konusu malzemenin farklı konsantrasyonlarda ve farklı çarpma açısında sulu çamur (slurry) erozif aşınmaya karşı gösterdiği davranışın incelenmesini içermektedir

BÖLÜM 5

MATERYAL METOT

Aşınma bir malzemenin kullanım ömrünü etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Kullanım alanına göre malzemeye etkisi olan birçok aşınma türünün olması ile birlikte erozif aşınma bunlardan bir tanesidir. Erozif aşınma; gaz ya da sıvı bir akışkan içerisinde yer alan geometrik boyutlara sahip farklı kimyasal kompozisyondaki aşındırıcı partiküllerin malzeme yüzeyinden parçacıklar kopartılmasıyla ağırlık kaybına sebebiyet veren aşınma türü olarak tanımlanmaktadır. Erozif aşınma türlerinden biri olan sulu çamur (slurry) erozif aşınması ise gaz ya da sıvı akışkan içerisindeki partiküllerin içerisinde yer alan malzeme yüzeyine devamlı olarak darbe uygulanması sonucunda kütle kaybına sebebiyet vermesi olarak tanımlanır.

Yapılan bu çalışmada X120Mn12 çeliğinin sulu çamur (slurry) erozif aşınma davranışının incelenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan deneylerde 10 litre sıvı kapasiteli tank içerisine su kullanılmış, aşındırıcı olarak ise SiO₂(silika) kumu seçilmiştir. Malzeme numuneleri deney düzeneğine yerleştirilerek devamlı olarak aşındırıcı tanelere maruz bırakılması sonucunda numune yüzeylerinden kopan parçaların ve bunun sonucundaki ağırlık kayıplarının ve yüzey pürüzlülüklerinin gözlemlenmesi gayesine dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney öncesinde numune çarpma hız parametresi sabit tutularak 3 farklı çarpma açısı ve 3 farklı sulu çamur konsantrasyonu belirlenmiş ve 9 farklı deney koşulu oluşturulmuştur. Böylelikle numune yüzeyinde oluşacak aşınmada hangi parametrenin etkisinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

5.1. AŞINDIRICININ HAZIRLANMASI

Eleme; aşındırıcı partiküllerin belirli büyüklükte gözeneklere sahip açıklıktan geçebilmesi veya geçememesi durumuna dayanarak yapılan boyutsal sınıflandırmadır.

Eleme, en büyük gözenek açıklığına sahip elekten başlanarak en düşük gözenekli eleklerle periyodik olarak yapılmasıyla devam eder. Eleme işleminde kullanılan elekler sınıflandırılırken mesh kavramı belirtilmekte olup bu kavram eleklerin büyüklük sınıflandırılması olarak adlandırılmaktadır. Mesh; birim alana düşen gözenek, delik sayısını göstermektedir.

Deneyde aşındırıcı olarak kullanılan SiO₂ (silika) kumu kuru elek yöntemi ile nemi tamamen arındırıldıktan sonra elenerek kuma ait boyutların yüzdelik dağılımları elde edilmiştir. Çizelge 5.1’de ASTM E 11:82 standardına laboratuvar ortamında eleme işleminin gerçekleştirildiği SiO₂ (silika) kumuna ait boyutsal dağılım verileri gösterilmektedir. Çizelge 5.2.’de ise SiO₂ (silika) kumuna ait spektral analiz metodu ile tespit edilen kimyasal kompozisyonlar gösterilmektedir.

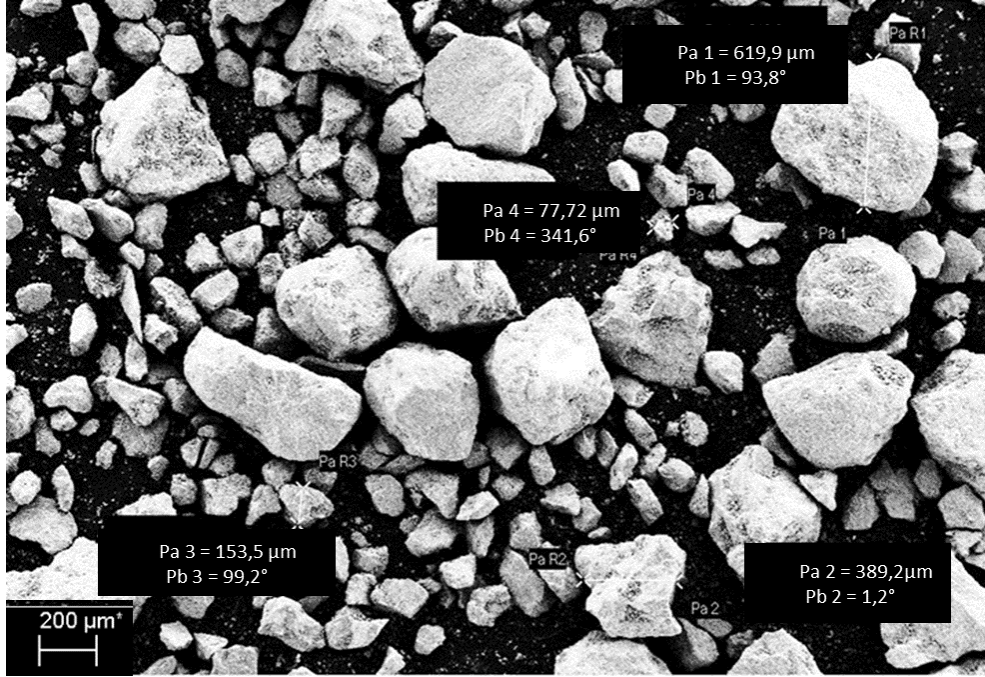
Çizelge 5.1. SiO₂ (silika) kumunun ASTM E 11:82 standardında yapılan eleme işlemine göre boyutsal dağılım sonuçları

Elek Açıklığı [µm]	Ağırlık [gr]	Ayrımsal [%]	Kümülatif Elek Altı [%]	Kümülatif Elek Üstü [%]
+600	6,64	6,33	100	6,33
-600 +500	25,24	24,05	93,67	30,37
-500 +425	37,35	35,58	69,63	65,96
-425 +355	12,23	11,65	34,04	77,61
-355 +180	4,29	4,09	22,39	81,7
-180 +150	7,12	6,78	18,3	88,48
-150 +106	6,21	5,92	11,52	94,4
-106	5,88	5,60	5,60	100
TOPLAM	104,96	100		

Çizelge 5.2. SiO₂ (silika) kumunun kimyasal analiz değerleri

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Diğer
98,21	0,71	0,05	0,12	0	0,05	0	0	0,86

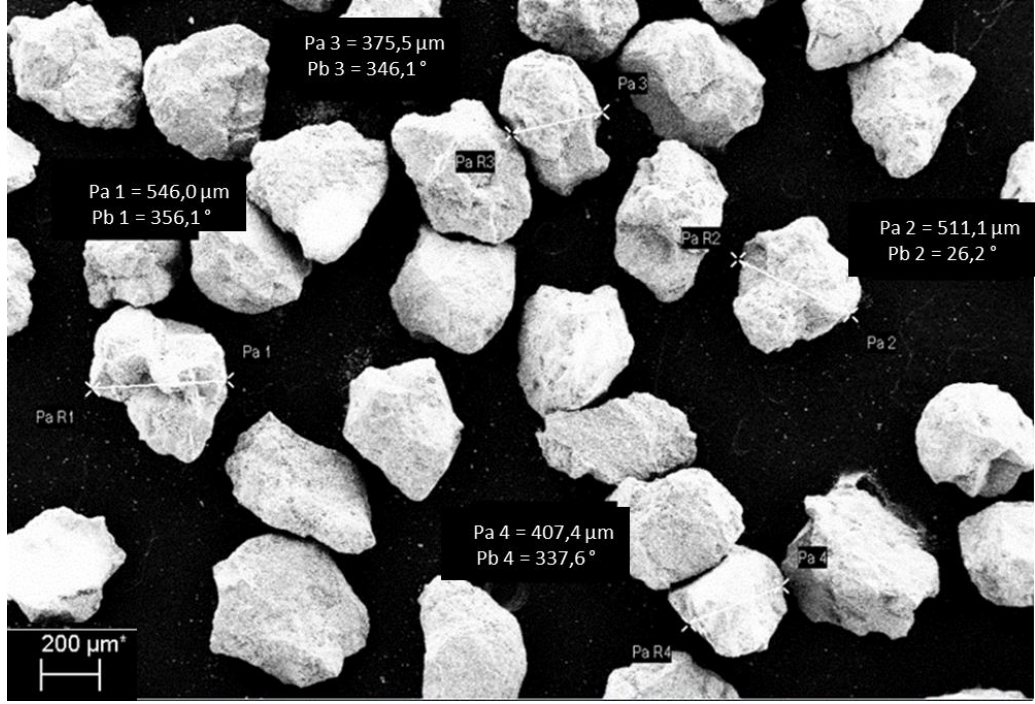
Şekil 5.1.'de eleme işlemi öncesinde ham SiO₂ (silika) kumunun SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1. Eleme öncesindeki ham silika kumunun SEM görüntüsü.

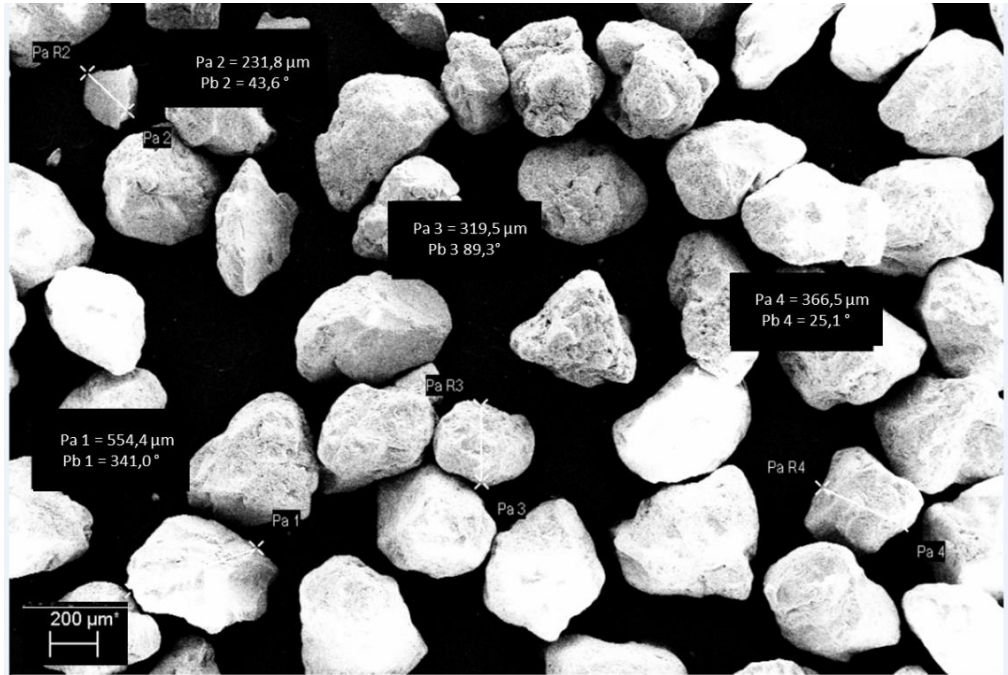
5.1.1. Aşındırıcının Elenmesi

SiO₂ (silika) kumu deney öncesinde eleme işlemine tabii tutulmuş olup, öncelikle 400 mm kasnak çapına sahip ve 477,50µm elek aralığındaki elek ile bu işlem yapılmıştır. Eleme işlemi sonrasında eleğin altında kalan silika kumları alınarak bu sefer tekrar 400 mm kasnak çapına sahip ancak 300 µm elek aralığına sahip başka bir elek kullanılarak eleme işlemi yapılmış, bu defa eleğin üzerinde kalan partiküller deney için kullanıma alınmıştır. Eleme işlemi 200 gr malzeme için yaklaşık olarak 1 dakika süre ile yapılmıştır. Maksimum 5 kg tartım için 1 gram tartım hassasiyetinde terazi kullanılmıştır. Şekil 5.2.'de eleme sonrasındaki SiO₂ (silika) kumunun SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.2. Eleme sonrasındaki silika kumunun SEM görüntüsü

Şekil 5.3.'de çalışılmış SiO_2 (silika) kumunun SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.3. Çalışılmış silika kumunun SEM görüntüsü

5.2. NUMUNE SEÇİMİ VE HAZIRLANMASI

Deney çalışması ostenatik manganlı çelikler sınıfında yer alan içeriğinde % 11 ile % 14 arasında Mn bulunan aşınma ve yüksek darbeye dayanıklı X120Mn12 çeliği seçilmiştir.

5.2.1. X120Mn12 Numune Hazırlanma Süreci

Deneyde kullanılacak numunelerin ölçüleri 5x6x30 mm olarak belirlenmiştir. Numune ebatları çok küçük olduğundan ana parçanın döküm yoluyla Kardökmak A.Ş'de imalatının yapılmasının ardında istenilen ebatlara talaşlı imalat yöntemiyle getirilmiştir.

Hazırlanan X120Mn12 çelik numunelerinin üretim proses adımları aşağıda belirtildiği gibidir.

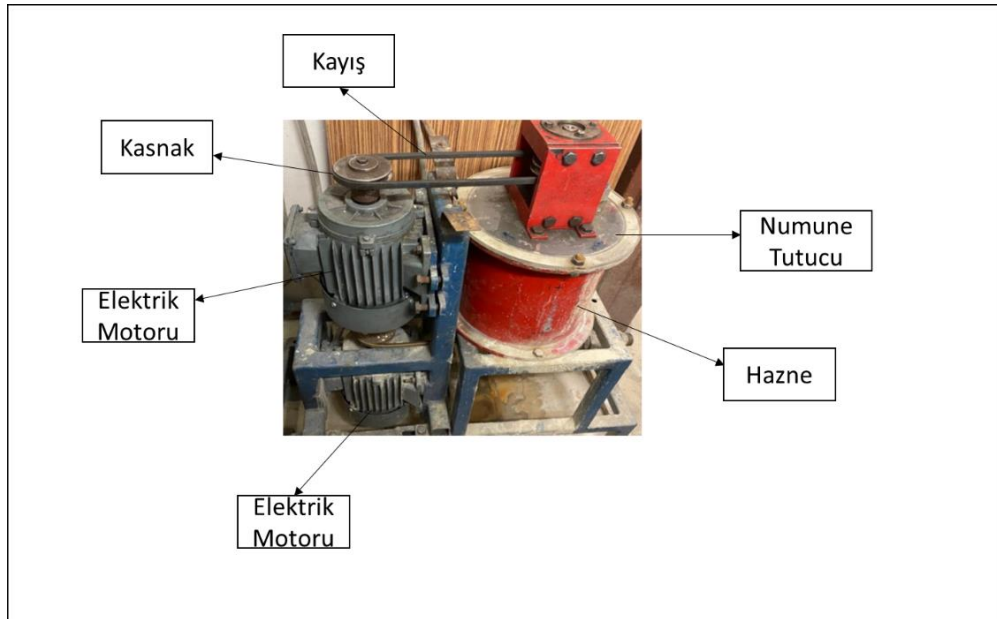
Numune ölçülerine göre işleme ve çekme oranları verilip parçanın modeli yapılarak kalıp sahasına gönderilmiştir. Parça kalıbına çıkıcı, besleyici ve yolluk konularak kalıplama işlemi tamamlanmıştır. X120Mn12 çeliğinin analiz değerlerine uygun olarak hurda seçimi yapıldıktan sonra ergitme ocağında ergitme işlemi başlatılmış ve istenilen sıcaklık ve uygun analiz değerlerinde ergitilen numune kalıba dökülmüştür. Parçanın kalıpta soğuması tamamlandıktan sonra kalıptan çıkartılarak ısıtma işlemi alınmış ve 1100 °C sıcaklıkta normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. İçeriğinde Mn yer aldığından numunelere sertleşme yapmak için Quench (suya tutma) işlemi yapılmış ardından malzemenin sertliği ve mikroyapısı kontrol edilmiş ve herhangi bir standart dışı hataya rastlanmamıştır. Döküm işleminin tamamlanmasının ardından numuneler istenilen ölçülere talaşlı imalat yöntemiyle hazır hale getirilmiştir. X120Mn12 malzemeye ait kimyasal kompozisyon Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. X120Mn12 malzemenin kimyasal kompozisyonu.

X120Mn12 Numunesinin Kimyasal Kompozisyonu						
Miktar (% ağırlık)	C	Si	Mn	P	S	Cr
	1,22	0,45	12,50	0,085	0,028	0,70

5.3. DENEY DÜZENEĞİ

Deney düzeneği, More ve arkadaşlarının tasarlamış oldukları deney düzeneği ile aynı prensibe sahip olup Şekil 5.4.'de yer almaktadır. Deney düzeneğinde sırasıyla 240 mm çap ve 10 lt hacimde hazne, bu hazne içerisinde eşit aralıklarda bulunan altı adet plakaya ve dört kanatlı karıştırıcı pervaneye sahiptir.

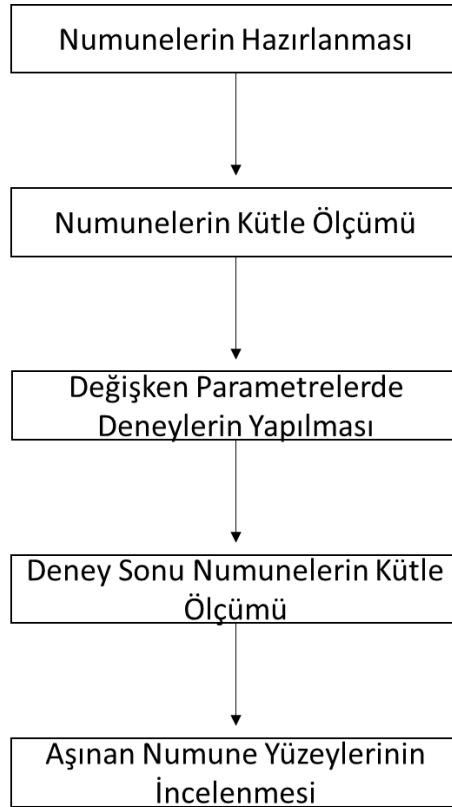


Şekil 5.4. Deney düzeneği.

Hazne içerisinde yer alan karıştırıcı 1.1 kW güçte AC motorla tahrik edilmekte ve bu motora kayış kasnak mekanizmasıyla bağlantısı sağlanmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan numuneler numune tutucular ile sisteme yerleştirilmekte ve numune tutucular ise kollar vasıtasıyla dengeyi sağlamaktadır. Bu numune tutucular ise mil vasıtasıyla sisteme bağlıdır. Sisteme bağlı bu mil 1.1kW güce sahip devir ayarlı ikinci bir AC motor ve yine bir kayış kasnak mekanizması ile kendi eksenini etrafında dönmektedir.

Aşınma ölçümlerinde numune tutuculara meydana gelen aşınmalar dikkate alınmayarak aynı numune tutucularla deney tamamlanmıştır. X120Mn12 çeliği numuneleri 30 x 5 x 6 mm ölçülerindedir. Deneyde kullanılan numunelerin aşınma yüzeyleri 30 x 5 mm alana sahip yüzeydir.

Numuneler deney öncesi 0,1 mg hassasiyetinde terazi ile tartılmış sonrasında numune tutuculara cıvatalar yardımıyla sabitlenmesi sağlanmış ve deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney süresi bir saat olarak ayarlanmıştır. Bir saat sürenin sonunda sistemden çıkartılan numuneler musluk suyu ile temizlenerek, kurutma makinesiyle kurutulmuş ve numune üzerlerinin nemli kalmaması sağlanarak yeniden ölçümleri yapılmıştır. Her deney sonrasında aşınmaya sebebiyet veren silis kumu haznedan tamamen temizlenerek hazneye yeniden silis kumu ve su ilave edilmiştir. Aynı şekilde her yeni deney esnasında numune tutucuların içerisinde de silis kumu kalmaması adına basınçlı su ile temizleme işlemi yapılmıştır. Deneye ait sistematik aşamaların şematığı Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Deneyin sistematik aşamaları.

5.4. DENEY PARAMETRELERİ

Deney çalışmasında parametrelerin incelenmesi için 3 farklı değerde %10, %15 ve %20 konsantrasyonda sulu çamur hazırlanmıştır. Deney hız parametresi 600 d/d (3,32 m/s) sabit bırakılarak numunelerin bağlama açıları 30°, 45° ve 60°'de uygulanmıştır. Silis kumunun deney esnasında deney düzeneğinin haznesine çökmemesi için numunelerin dönüş yönü ile hazne içerisinde yer alan karıştırıcının dönüş yönünün birbirinin aksi istikametinde olacak şekilde ayarlanmış ve bu durum aynı zamanda sulu çamur karışımının homojen yapıda olmasını sağlamıştır. Deneyde üç farklı konsantrasyon kullanılmış ve doğru sonuçların elde edilebilmesi adına her deney esnasında hazne temizlenerek yeniden deneyin gerçekleştirileceği konsantrasyonlarda sulu çamur hazırlanmıştır. Numunelerin dönüş hızları sabit bırakılarak, numune bağlama açıları değiştirilmiştir.

5.5. DENEY YÖNTEMLERİ

X120Mn12 malzeme kalitesinde ve 30 x 5 x 6 mm ölçülerindeki numuneler bakalıte alınarak yüzey parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği için hazırlanan numuneler Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Numuneler öncelikle DENSİ marka HZY 320A modelde hassasiyeti 0,1 miligram olan hassas terazide tartım işlemi yapılmıştır. Hassas terazinin hava akımı ve titreşimlerden etkilenmemesi adına deneyin gerçekleştirileceği alanda en uygun yere yerleştirilmesi sağlanmış ve su terazisi ile cihaz kalibre edilmiştir. Deneye başlamadan yaklaşık 40 dakika önce terazi açılmış ve bu süre zarfında herhangi bir ölçüm yapılmamıştır. Terazi üzerine numunenin yerleştirilmesinden sonra ise doğru değer okunabilmesi adına 3 dakika kadar beklenerek terazide görünen değer kayıt altına alınmıştır. Deneyde kullanılan hassas terazi Şekil 5.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Deney düzeneği için hazırlanan numuneler.



Şekil 5.7. Deneyde kullanılan hassas terazi

İlk tartım sonrasında numuneler, aşınmanın gözlemleneceği numune yüzeyleri numune tutucularla aynı düzlemde yer almasına özen gösterilerek setuskur civatası yardımıyla numune tutuculara sabitlenmiştir.

Deney düzeneğinde yer alan tank haznesi içerisine konsantrasyon değerlerine göre silis kumu elenerek ilave edilmiş ve belirli seviyeye kadar hazne musluk suyu ile doldurularak sulu çamur elde edilmiştir. Numune tutucuların çevresinde yer alan ve her bir dişli adımı 15°'ye tekabül eden açılı adımına göre deney verilerinde yer alan açılarda numune tutucuların çarpma açısı ayarlanmıştır. Numunelerin yer aldığı cam kapak deney düzeneği haznesine hava almayacak şekilde cıvata ve somun yardımıyla monte edilerek sabitlenmiştir. Ardından hazne ve numunelerin kayış gerginliği sağlanarak kayış bağlantısı yapılmıştır. Sürücülü motorların devirleri alt motor devri ve üst motor devri 600 d/d ayarlanarak ilk olarak karıştırıcı motor ardından ise numune çarkının motoru çalıştırılarak deneye başlanmıştır. Karıştırıcı fan motorunun dönüş yönü ile numune çarkı motorunun dönüş yönü birbirlerinin tam tersi yönünde seçilmiş böylelikle hazne içerisinde yer alan sulu çamurda homojenize karışımın oluşması sağlanmıştır. Her deney için bir saatlik zaman dilimi ayarlanmış, süre sonunda motorların güçleri kapatılmıştır. Deney bittikten sonra hazneye sabitlenen numunelerin yer aldığı cam kapak deney düzeneğinden sökülmüş ve numuneler numune tutuculardan çıkartılarak musluk suyuyla temizlenmiştir. Ardından numune yüzeylerinde oluşacak korozyona mahal vermemek adına her bir numune 2200 W güce sahip saç kurutma makinesi ile yaklaşık 2 dakika boyunca kurutulmuş ve aynı hassas terazi üzerinde numune tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 6

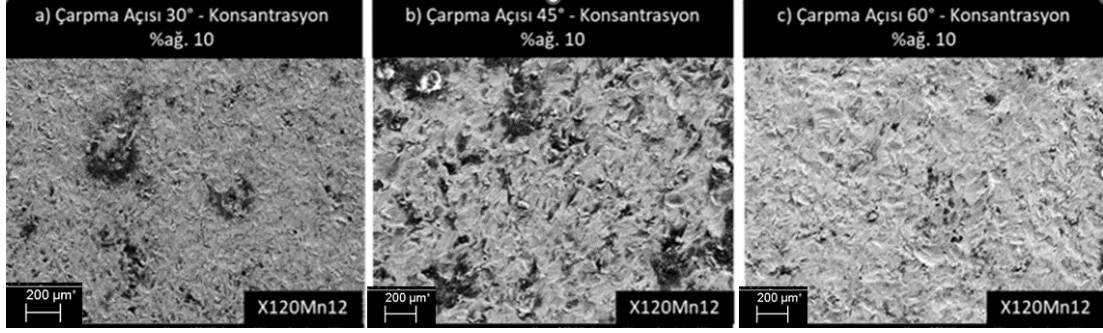
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda X120Mn12 çeliğine ait tüm numunelerde aşınma dolayısıyla meydana gelen kütle kayıpları ve yüzey pürüzlülük değişimleri hesaplanmıştır. %10, %15 ve %20 konsantrasyon, 30°, 45° ve 60° çarpma açısı parametrelerinde 27 adet yapılan deneyler neticesinde numunelerde oluşan kütle kayıpları ve yüzey pürüzlülük değişimleri Çizelge 6.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1. Deney sonuçları

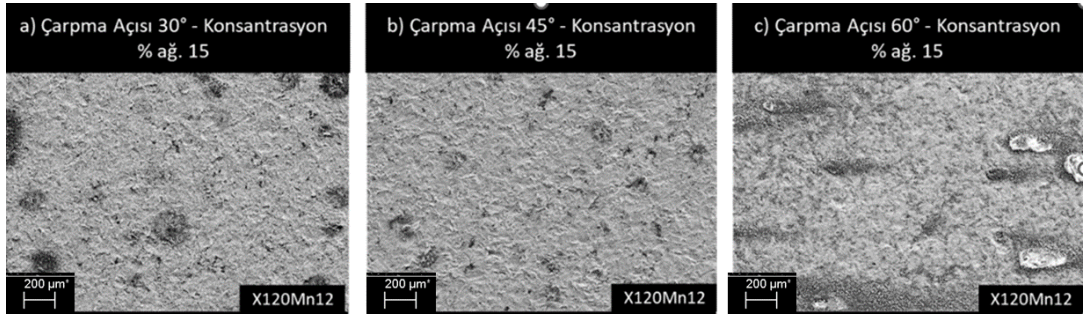
Hız [m/s]	Hız [d/d]	Deney Numarası	Açı [°]	Konsantrasyon [ağ. %]	Kütle Kaybı [mg]	Standart Sapma	Yüzey Pürüzlülüğü - Ra [µm]	Standart Sapma
3,32	600	1	30	10%	3,5	± 0,640	0,257	± 0,020
		2	45		1,4	± 0,570	0,336	± 0,011
		3	60		1,1	± 0,190	0,244	± 0,028
		4	30	15%	5,9	± 1,120	0,214	± 0,019
		5	45		5,4	± 0,840	0,269	± 0,011
		6	60		4	± 0,740	0,365	± 0,021
		7	30	20%	7,6	± 1,090	0,261	± 0,036
		8	45		7,4	± 1,390	0,253	± 0,034
		9	60		7,2	± 0,620	0,291	± 0,008

X120Mn12 malzeme kalitesindeki numunelerle 600 d/d sabit çarpma hızında (3,32 m/s) 9 adet deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1.'de 1, 2 ve 3 numaralı deneyler neticesinde gerçekleştirilen ağırlıkça %10 konsantrasyon, 30°, 45°, 60° çarpma açısındaki numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında 30° çarpma açısında malzeme yüzeyinde oluşan kesme aşınmasının belirgin olduğu, açı değerinin artmasıyla kesme aşınmasından deformasyon aşınmasına geçişin olduğu görülmektedir.



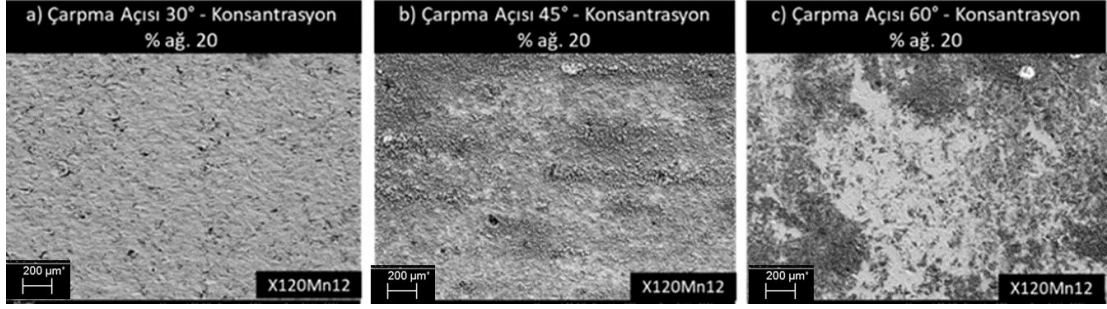
Şekil 6.1. X120Mn12 numunelerin %10 konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerin SEM görüntüleri a) 30° çarpma açısı b) 45° çarpma açısı c) 60° çarpma açısı.

Şekil 6.2.'de 4, 5 ve 6 numaralı deneyler neticesinde gerçekleştirilen ağırlıkça %15 konsantrasyon 30°, 45°, 60° çarpma açılarına maruz bırakılan numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.1. ile kıyaslama yapıldığında konsantrasyon parametresinin aşınmayı önemli derecede etkilediği bundan dolayı da konsantrasyon değerinin artmasıyla birlikte kesme aşınmasının izlerinin belirginleştiği ve aynı şekilde çarpma açısı değerinin artmasıyla da kesme aşınmasının deformasyon aşınmasına dönüştüğü görülmektedir.



Şekil 6.2. X120Mn12 numunelerin %15 konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerin SEM görüntüleri a) 30° çarpma açısı b) 45° çarpma açısı c) 60° çarpma açısı

Şekil 6.3.'de 7,8 ve 9 numaralı deneyler neticesinde gerçekleştirilen ağırlıkça %20 konsantrasyon 30°, 45°, 60° çarpma açılarına maruz bırakılan numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Çarpma açısının 60° olduğu numunede belirgin bir şekilde deformasyon aşınmasının olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bir önceki numunelerde olduğu gibi 30°'lik çarpma açısında fazlasıyla kesme aşınmasının izlerinin olduğu, 45°'lik çarpma açısına sahip deney numunesinde ise bölgesel olarak kesme ve deformasyon aşınmalarının olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3. X120Mn12 numunelerin %20 konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerin SEM görüntüleri a) 30° çarpma açısı b) 45° çarpma açısı c) 60° çarpma açısı

6.1. AŞINMA SEBEBİYLE OLUŞAN KÜTLE KAYBI

Malzeme yüzeylerinde oluşan aşınma sebebiyle kütle kayıpları meydana gelmektedir ve bu kütle kayıplarının hesaplanabilmesi için numunelerin deney öncesinde hassas terazi yardımıyla tartılması gerekmektedir. Bunun için deney öncesinde numuneler hassas terazi ile tartılmıştır.

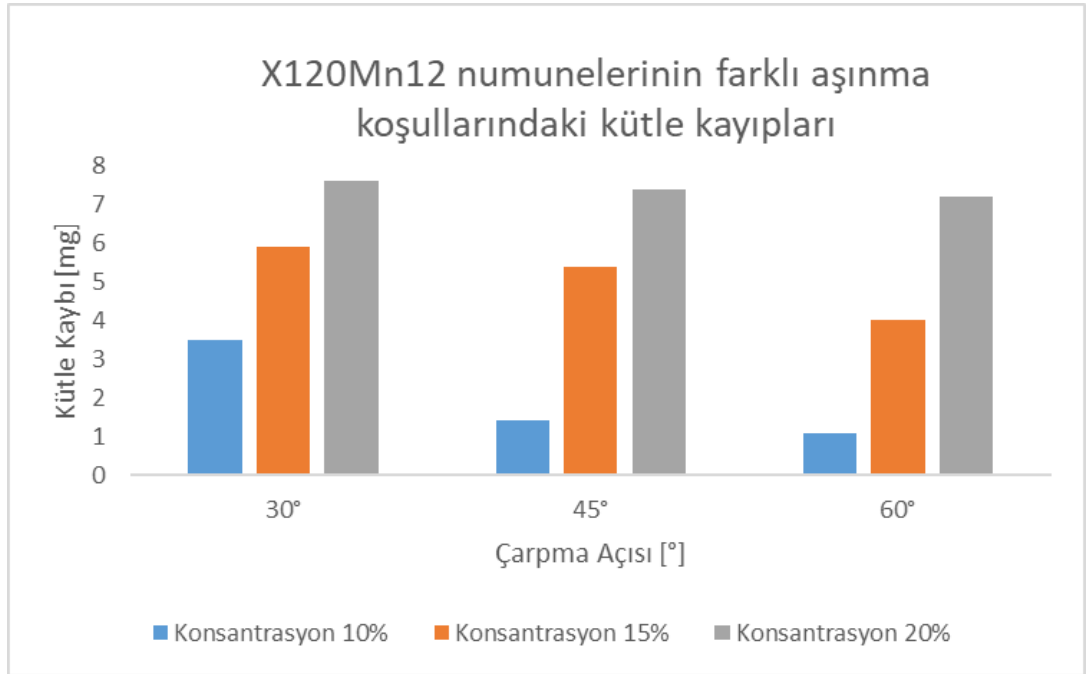
Ardından numuneler deney düzeneğine belirlenen çarpma açılarında ve aşındırıcı partikül konsantrasyon parametrelerinde sırasıyla deneyler gerçekleştirilmiştir. Her deney sonrasında numune yüzeylerinde aşındırıcı partikül kalmaması için musluk suyu ile yıkanmış ve kurutma makinesi ile kurutulularak ardından tekrar hassas terazide ikinci tartımlar yapılmış ve meydana gelen kütle kayıpları hesaplanmıştır.

- En fazla kütle kaybının 7,60 mg değer ile %20 konsantrasyon ve 30° çarpma açısında meydana geldiği, en düşük kütle kaybının ise 1,10 mg değer ile %10 konsantrasyon ve 60° çarpma açısında olduğu gözlemlenmiştir. Böylelikle konsantrasyon değeri ile kütle kaybının doğru orantılı olduğu çarpma açısıyla ise ters orantılı olduğu, tespit edilmiştir.
- En fazla kütle kaybının yaşandığı (%20 konsantrasyon 30° çarpma açısı) 7,60 mg deney değerinde %10 konsantrasyon, 30° çarpma açısında meydana gelen 3,50 mg kütle kaybı değerine oranla %117 daha fazla kütle kaybının olduğu tespit edilmiştir.
- En fazla kütle kaybının yaşandığı (%20 konsantrasyon 30° çarpma açısı) 7,60 mg deney değerinde %15 konsantrasyon, 30° çarpma açısında meydana gelen

5,40 mg kütle kaybı değerine oranla %29 daha fazla kütle kaybının olduğu tespit edilmiştir.

- %15 konsantrasyon, 60° çarpma açısında meydana gelen 4,00 mg kütle kaybı değerinde en az kütle kaybının yaşandığı (%10 konsantrasyon 60° çarpma açısı) 1,10 mg deney değerine oranla %264 daha fazla kütle kaybının olduğu tespit edilmiştir.
- %20 konsantrasyon, 60° çarpma açısında meydana gelen 7,20 mg kütle kaybı değerinde en az kütle kaybının yaşandığı (%10 konsantrasyon 60° çarpma açısı) 1,10 mg deney değerine oranla %80 daha fazla kütle kaybının olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.4.'de X120Mn12 numunelerinin farklı aşınma koşullarındaki kütle kayıplarının grafiği gösterilmiştir.



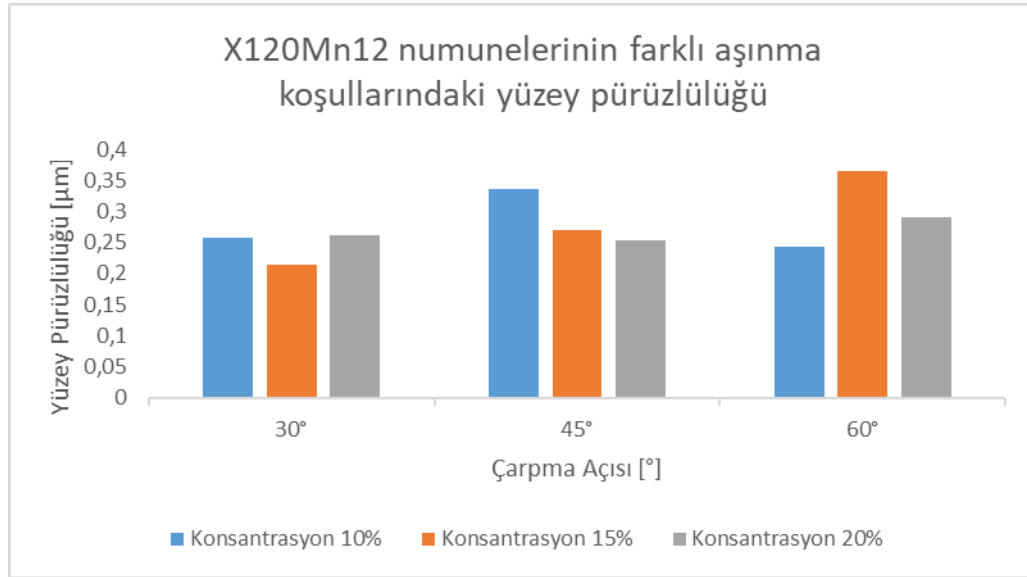
Şekil 6.4. Numunelerin farklı aşınma parametrelerindeki kütle kayıpları.

6.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Çizelge 6.1.'de yer alan veriler ışığında gerçekleştirilen deneyler sonucunda numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinde değişimlerin olduğu ve deney parametreleriyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Konsantrasyon değeri arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı yani yüzey pürüzlülük değeri ile konsantrasyon değerinin doğru orantılı olduğu ancak çarpma açısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, bu iki değer birbirleriyle ters orantılı olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte Şekil 5.1.'de yer alan çalışmamış silika kumunun SEM görüntüleri incelendiğinde silika kumunun düzgün bir geometrisinin olmaması deney sonrası numune yüzey pürüzlülüğü değerini etkilediği görülmektedir.

- En fazla yüzey pürüzlülük değişiminin yaşandığı 0,365 μm değer ile %15 konsantrasyon ve 60° çarpma açısında meydana geldiği, en düşük yüzey pürüzlülük değerinin ise 0,214 μm değer ile %15 konsantrasyon ve 30° çarpma açısında olduğu ve çarpma açısının yüzey pürüzlülük değeri ile doğru orantılı olduğu, konsantrasyon parametresiyle ise ters orantılı olduğu tespit edilmiştir.
- En fazla yüzey pürüzlülük değerinin yaşandığı (%15 konsantrasyon ve 60° çarpma açısında) 0,365 μm 'lik deney değerinde %10 konsantrasyon 60° çarpma açısında meydana gelen 0,244 μm deney değerine oranla %50 daha fazla yüzey pürüzlülüğünün yaşandığı belirlenmiştir.
- En fazla yüzey pürüzlülük değerinin yaşandığı (%15 konsantrasyon ve 60° çarpma açısında) 0,365 μm 'lik deney değerinde %20 konsantrasyon 60° çarpma açısında meydana gelen 0,291 μm deney değerine oranla %25 daha fazla yüzey pürüzlülüğünün yaşandığı belirlenmiştir.
- %10 konsantrasyon 30° çarpma açısında meydana gelen 0,257 μm yüzey pürüzlülük değerinde en düşük yüzey pürüzlülük değerinin yaşandığı (%15 konsantrasyon ve 30° çarpma açısında) 0,214 μm 'lik deney değerine oranla %20 daha fazla yüzey pürüzlülüğünün yaşandığı belirlenmiştir.
- %20 konsantrasyon 30° çarpma açısında meydana gelen 0,261 μm yüzey pürüzlülük değerinde en düşük yüzey pürüzlülük değerinin yaşandığı (%15 konsantrasyon ve 30° çarpma açısında) 0,214 μm 'lik deney değerine oranla %22 daha fazla yüzey pürüzlülüğünün yaşandığı belirlenmiştir.

Yapılan deney verileri incelendiğinde en fazla yüzey pürüzlülüğünün 0,365 μm değeriyle %15 konsantrasyon, 60° çarpma açısında olduğu 6 numaralı deneyde olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri olan 0,214 μm ile %15 konsantrasyon 30° çarpma açısında olduğu 5 numaralı deneyde olduğu görülmüştür. Şekil 6.5.'de X120Mn12 numunelerinin farklı aşınma koşullarındaki yüzey pürüzlülüğü grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.5. X120Mn12 numunelerinin farklı aşınma koşullarındaki yüzey pürüzlülüğü.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada X120Mn12 östenitik paslanmaz çeliğinin slurry erozif aşınma davranışının incelenmesi yapılmıştır. Çalışmada numunelerin kütle kayıpları ve yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslanmıştır. Daha önce benzer slurry erozif aşınma çalışmalarında çarpma hızının etkileri incelendiğinden bu çalışmada çarpma hızı 600 d/d (3,32 m/s) olarak sabit bırakılmış, numunelere üç farklı konsantrasyon değeri (%10, %15 ve %20) ve üç farklı çarpma açısı (30°, 45° ve 60°) değerlerinde parametreler uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir. Belirlenen bu parametrelerle 9 adet deney gerçekleştirilmiş ve her bir parametrenin numuneler üzerindeki kütle kayıplarına etkisi ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Yapılan deney sonuçları neticesinde;

- En yüksek kütle kaybının 7,60 mg ile %20 konsantrasyonda 30°'lik çarpma açısında gerçekleştiği görülmüştür. En düşük kütle kaybının ise 1,10 mg ile %10 konsantrasyonda 60°'lik çarpma açısında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda çarpma açısının artmasıyla birlikte kütle kayıplarının azaldığı gözlemlenmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği diğer konsantrasyonlarda da aynı şekilde en yüksek kütle kayıplarının 30°'lik çarpma açısında olduğu görülmekle birlikte aynı zamanda ağırlıkça konsantrasyon miktarının artmasıyla beraber kütle kaybının da arttığı görülmüştür.
- En fazla kütle kaybının 7,60 mg değer ile %20 konsantrasyon ve 30° çarpma açısında meydana geldiği, en düşük kütle kaybının ise 1,10 mg değer ile %10 konsantrasyon ve 60° çarpma açısında olduğu ve konsantrasyon değeri ile kütle kaybının doğru orantılı olduğu çarpma açısıyla ise ters orantılı olduğu, tespit edilmiştir.

- Yapılan çalışmada da gözlemlendiği üzere konsantrasyon değerinin artmasıyla birim alana düşen silika kumunun miktarı arttığından numunelerdeki kütle kayıpları artmaktadır. Yüzey pürüzlülük değeri ise değişkenlik göstermiştir. Partiküllerin düzgün bir geometriye sahip olmamaları bunun sebebi olarak gösterilebilir.
- Yapılan çalışma neticesinde yüzey pürüzlülüğü açısından sulu çamur erozif aşınmaya maruz kalan malzemelerin kullanım ömürlerinin arttırılması için düşük çarpma açısı değerinde çalışılması önerilmektedir.

Bu çalışmada, aşınma direnci yüksek olan östenetik paslanmaz çelik X120Mn12 çeliği kullanılmış olup, aynı malzemenin yüzey kaplaması yapılarak veya farklı paslanmaz çelik türündeki alaşımla çeliklere yüzey kaplaması yapılarak, farklı çarpma hızı, konsantrasyon değeri veya farklı çarpma açısı değerlerinde incelenerek erozif aşınma davranışı üzerindeki etkileri incelererek bu konular üzerinde çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Ürün kataloğu, “Soylu Döküm”, <https://www.soyludokum.com/e-katalog.pdf> (2023).
2. Öztürk, M. "Ticari bazalt cam-seramiklerin katı partiküllerin erozif aşınma sonrası yüzey karakterizasyonu", *SERAMİK – Journal of the Turkish Ceramics Society Dergisi*, 1(2): 21-25, (2021).
3. Ada, H. D., “Ankara şeker fabrikası’nda değişik ünitelerden alınan şerbet örneklerinde çelik türlerinin korozyon direnç ölçümleri, uygun malzeme seçimi ve maliyet analizi çalışmaları”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2014).
4. Alnak, Y., “Farklı standartlardaki paslanmaz çelik ve sade karbonlu çelik çiftlerinin sürtünme, karıştırma kaynak yöntemiyle birleştirilmesi, mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2020).
5. Kaplan, E.Y., “Borlu çelikler ve mikro alaşımlı çeliklere uygulanan temperleme ve kriyojenik işlemin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2022).
6. Akcan, K., “Yüksek mukavemetli çeliklerin şekillendirilmesinde termomekanik modelleme”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2021).
7. Çarboğa, C., “Düşük karbonlu çeliklere bor ilavesinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2010).
8. Topbaş, A., “Çelik ve Isıl İşlem”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 1-102, (1998).
9. Singh, R. P., “Applied welding engineering Processes, Codes, and Standards”, *Kidlington, Oxford: Waltham, MA*, 2: 8-59 (2016).
10. Şavaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Makine Mühendisliği”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, 132-168, (1999).
11. Yurt, A., “Düşük karbon çeliğinin 0,1M HCl çözeltisindeki korozyonun akuaternar amonyum grubu içeren bileşiklerin inhibitör etkisi”, Doktora Tezi *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2000).

12. Oğuz, H., “Paslanmaz çelik galvanizli çelik çiftinin elektrik nokta direnç kaynağında kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, (2018).
13. Akçakese, O., “Yüksek alaşımlı çeliklerin nitrülenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2011).
14. Gök, M. S., “Düşük ve orta karbonlu çeliklerin yüzeyine tig kaynak metoduyla kaplanan östenitik paslanmaz çelik tozunun aşınma direncine karbür içeriğinin etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, (2008).
15. Temel, M.A ve Aran A., “Paslanmaz çelik üretimi ve kullanımı standartları”, **Sarıtaş Teknik Yayın**, İstanbul, (2004).
16. Tekin, N., “Paslanmaz çelik malzeme ile düşük karbonlu alaşımsız çelik malzemelerin toz altı kaynak metodu ile birleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2006).
17. Oğuz, B., “Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı”, **Oerlikon Yayınları**, İstanbul,(1985).
18. Ceyhun, V., “Ferritik-ostenitik paslanmaz çeliklerin karbonlu çelik ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının çekme-makaslama dayanımına ve taneler arası korozyona etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (1992).
19. Odabaş, C., “Paslanmaz çelikler, temel özellikleri, kullanım alanları, kaynak yöntemleri”, **Askaynak**, İstanbul, 2. Baskı (2004).
20. Gürol, U., “Döküm proses parametrelerinin yüksek manganlı östenitik çeliklerin özelliklerine etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2020).
21. Topbaş, M.A., “Çelik ve ısıl işlem el kitabı”, **Prestij Yayıncılık**, İstanbul, (1998).
22. Yüksel, F., “Alüminyum matrisli B₄C partikül takviyeli aşınma direnci yüksek kompozit malzemelerin aşınma özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2014).
23. Bildik, O., “Çelik döküm malzemelerin aşınmasına C-Mn etkisi ve aşınma dayanımının araştırılması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2022).
24. Boynueyri, D., “PVD yöntemiyle ince kaplanmış kesici takımların mikro ölçekli aşınma testi ile aşınma dayanımının belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bartın, (2019).

25. Özbakır, Ö., “Borlanmış kül üfleme nozullarının erozif aşınma dirençlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2016).
26. Demirsöz, R., “Granül cüruf taşımada kullanılan boruların iç yüzeyinin aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
27. Özkaya, O., “Za27 ve CuSn10 alaşımlarının abrasif aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2019).
28. Özdemir, K., “Ti4Al4Mo ve Ti6Al4V alaşımlarının sıcak pres ile üretimi ve erozif aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2018).
29. Akpınar, İ. Ö., “Dual fazlı çeliklerin erozif aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2022).
30. Öztürk, M., “Bazalt cam seramiklerinin erozif aşınma özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (2019).
31. Ercan, H., “Adhezif aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, (2020).
32. Avcu, E., “Farklı büyüklüklere sahip aşındırıcı partikül karışımlarının Ti6Al4V alaşımının erozif aşınma davranışına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2010).
33. Gür, E.S., “Deniz sularında kullanılan çelik malzemelerin slurry erozyon aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2019).
34. Yılmaz, S., “AISI 316 ve AISI 420 paslanmaz çeliklerin sulu çamur erozif aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2023).
35. Çakır, O., “Borlama ile yüzeyi sertleştirilmiş AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğinin erozif aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2023).
36. Desale, G. R., Ghandi, B. K., Jain, S.C., “Slurry erosion of ductile materials under normal impact condition”, *Indian Institute of Technology Roorkee*, 3-4: 322-330 (2008).

37. Demet, S. M., Sepetçioğlu, H., Bağcı, M. "Effect of particle velocity and impingement angle on inner surface erosive wear behavior of basalt/epoxy composite pipes manufactured by filament winding technique", *Gazi Üniversitesi, Journal of Science Dergisi*, 10(4): 1046-1058, (2022).
38. Ağar, E., "Elektrot ve gazaltı kaynağı kaplanmış St 37 malzemesinin erozif aşınma davranışının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, (2023).
39. Yıldızlı, K., Eroğlu, M., Karamış, M.B., "Erosive Wear Behaviour of Hardfacing Austenitic Manganese Deposit", *Tribology in Industry*, Vol. 27, No. 3&4. (2005).
40. KATSICH, C., "et al. Erosive wear of hardfaced Fe–Cr–C alloys at elevated temperature", *Wear*, 267.11: 1856-1864 (2009).
41. More, S. R., Nandre, B. D. and Desale, G. R., "Development of pot test to simulate the erosion wear due to solid-liquid mixture", *International Journal of Researchers, Scientists and Developers*, 2:6-12 (2014).
42. Erdem V.E., "AISI 1060 çeliğinin erozif aşınma özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Gayenur TEKER ÇELİK; ilk ve orta öğrenimini Karabük Yenişehir Atatürk İlköğretim okulunda tamamlamış, liseyi ise Karabük Eskipazar Seyhan Cengiz Turhan Anadolu Lisesi'nden 2011 yılında mezun olarak bitirdi. Lisans eğitimini 2016 yılında Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği alanında tamamladı. 2017 yılında Kardemir A.Ş. Satınalma Müdürlüğü'nde Satınalma Elemanı olarak göreve başlamasının ardından 2018 yılında aynı müdürlük bünyesinde Satınalma Uzman Yardımcısı unvanını alarak görevine devam etti. 2021 yılından bu yana ise Satınalma Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.