



**BAZİK OKSİJEN FIRINI (BOF) İLE ÇELİK
ÜRETİMİNDE MALZEME KATKI ŞUTUNUN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Ozan GENÇ

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**BAZİK OKSİJEN FIRINI (BOF) İLE ÇELİK ÜRETİMİNDE MALZEME
KATKI ŞUTUNUN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Ozan GENÇ

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Ozan GENÇ tarafından hazırlanan “BAZİK OKSİJEN FIRINI (BOF) İLE ÇELİK ÜRETİMİNDE MALZEME KATKI ŞUTUNUN İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr.Hasan GÖKKAYA

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Meltem ALTIN KARATAŞ (BAİBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

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.”

Ozan GENÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZIK OKSİJEN FIRINI (BOF) İLE ÇELİK ÜRETİMİNDE MALZEME KATKI ŞUTUNUN İYİLEŞTİRİLMESİ

Ozan GENÇ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA

Haziran 2021, 76 sayfa

Endüstriyel tesislerde, malzeme iletimi ve hareketinin bulunduğu bölgelerde aşınma meydana gelmekte ve gerekli önlemlerin alınmaması durumunda büyük problemlere sebep olabilmektedir. Endüstriyel tesislerin hemen hemen hepsinde malzeme aktarımının yapılması için çeşitli konveyör sistemleri ve aktarma şutları kullanılmaktadır. Endüstriyel tesislerin üretim yaptıkları alanlara göre kullandıkları malzeme cinsleri değişkenlik göstermektedir. Kullanılan malzemeler çeşitli türlerde aşınmalar meydana getirmektedir. Şutlarda meydana gelen aşınma kaynaklı hasarlar; üretim prosesinin durmasına, bu duruşa bağlı olarak da üretim kayıplarına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş.Demir ve Çelik Fabrikası'nda, çelik üretimi esnasında kullanılan katkı malzemelerinin (flux malzemeler) bazik oksijen fırını (BOF) içerisine aktarımını sağlayan flux şut üzerinde meydana gelen aşınmalar

incelenmiştir. Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda flux şut üzerinde oluşan aşınmaların etkisini azaltmak için flux şut üzerine Thermanit 14 K Si ilave teli kullanılarak 3 mm kalınlığında matel aktif gaz (MAG) kaynak yöntemi ile kaplama yapılarak iyileştirilmiştir. Flux şut malzemesi St35-8 kalitesinde olup Thermanit 14 K Si ilave teli kullanılarak 3 mm kalınlığında MAG kaynak yöntemi ile iyileştirildikten sonra flux şut yüzeyinde oluşan aşınmalar incelenmiştir.

Flux şut üzerinde yapılan iyileştirme sonrasında BOF ile çelik üretimi esnasında oluşan aşınma kaynaklı duruş sürelerinde azalma, çelik üretim miktarında artma gözlenmiştir. Yıllık 12.960 ton sıvı çelik üretiminde artış, üretim duruşlarında 72 saatlik azalış ve BOF gazı toplanmasında 72 saatlik artış gerçekleştirilmiştir. İyileştirme sonucunda sıvı çelik üretimindeki % 0,5 artış, geri kazanımı yapılan BOF gazı miktarındaki % 0,5 ve flux şut çalışma ömürlerinin artması ile yedek parça maliyetinin % 1,79 düşmesi ile birlikte elde edilen toplam yıllık kazanç 4.572.120 ₺ olarak hesaplanmış olup iyileştirmenin maliyeti ise 45.000 ₺ olmuştur.

AnahtarSözcükler : Çelik üretimi, bazik oksijen fırını (BOF), BOF gazı, erozif aşınma, korozif aşınma, flux şut.

Bilim Kodu : 91415

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

IMPROVEMENTS OF MATERIAL ADDITIVES CHUTE IN STEEL PRODUCTION WITH BASIC OXYGEN FURNACE (BOF)

Ozan GENÇ

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

Thesis Advisor:

Prof.Dr. Hasan GÖKKAYA

June 2021,76 pages

In industrial facilities, abrasion occurs in the areas where material transmission and movement is located, and if necessary precautions are not taken, it may cause major problems. In almost all industrial facilities various conveyor systems and transfer chutes are used for material transfer. The types of materials used by industrial facilities vary according to the production areas. The used materials cause various types of abrasions. Damages occurred on chutes which are caused by abrasion bring stops in the production process and production losses due to this downtime.

In this study, the abrasions occurring on the flux chute that enables the transfer of additives (flux materials) used during steel production into the basic oxygen furnace (BOF) have been investigated in Kardemir A.Ş. Iron and Steel Factory. As a result of the investigations, in order to reduce the effect of abrasions on the flux chute, Thermanit 14 K Si additional wire was used with 3 mm thick MAG welding method

was applied on the flux chute and enhanced. Flux chute material is of St35-8 quality and after curing with 3 mm thick MAG welding method using Thermanit 14 K Si additional wire, the abrasions on the flux chute surface were investigated.

After the improvement on the flux chute, a decrease in the abrasion induced downtime during steel production with BOF and an increase in the amount of steel production were observed. Yearly, increase in 12.960 tons of liquid steel, 72 hour decrease in production stoppages and 72 hour increase in BOF gas collection were executed. As a result of the improvement, the total annual gain was calculated as 4.572.120 ₺, with a % 0,5 increase in liquid steel production, % 0,5 in the amount of recovered BOF gas, and a % 1,79 decrease in spare parts cost due to the increase in flux chute operating life. The cost of the improvement was 45.000 ₺.

Key Word : Steel production, basic oxygen furnace (BOF), BOF gas, erosive wear, corrosive wear, flux chute.

Science Code : 91415

TEŞEKKÜR

Bu tez alışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yrtlmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrbelerinden yararlandığım, ynlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hasan GÖKKAYA'ya sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Çalışma hayatımda bana çok büyük katkıları bulunan Müdürüm Metin ULUÇAY'a, çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarım Engin NAKAŞ, Halil İbrahim EMİROğLU ve Haluk AKMAN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen değerli eşim Evşen GENÇ, babam Ramiz GENÇ, annem Nurhan GENÇ, kardeşim Okan GENÇ ile amcam Ziya GENÇ'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ÇELİK ÜRETİM PROSESİ VE AŞINMA	3
2.1. ÇELİK ÜRETİM PROSESİ.....	3
2.1.1. Bazık Oksijen Fırını (BOF) ile Çelik Üretimi	4
2.1.2. BOF Sisteminde Gaz Yıkama ve Geri Kazanımı Sistemi	10
2.1.3. BOF Katkı Besleme Sistemi.....	15
2.2. AŞINMA	16
2.2.1. Aşınma Sisteminde Temel Parametreler.....	17
2.2.2. Aşınma Mekanizmaları.....	18
2.2.2.1. Abrazif Aşınma.....	18
2.2.2.2. Adhezif Aşınma	19
2.2.2.3. Eroziv Aşınma	20
2.2.2.4. Korozif Aşınma.....	22
2.2.2.5. Yorulma Aşınması	22
BÖLÜM 3	23

	<u>Sayfa</u>
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
3.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRMESİ.....	39
BÖLÜM 4	40
MATERYAL VE METOD	40
4.1. GİRİŞ.....	40
4.2. KARDEMİR A.Ş ÇELİK ÜRETİM TESİSİNDE FLUX ŞUT AŞINMASINA BAĞLI OLARAK OLUŞAN SU KAÇAKLARINDAN KAYNAKLI ÜRETİM DURUŞ PROBLEMİNİN ARAŞTIRILMASI.....	47
4.3. YENİ FLUX ŞUT İMALATI VE İÇ YÜZEYİNE KAPLAMA YAPILMASI	54
BÖLÜM 5	59
BULGULAR VE TARTIŞMA	59
5.1. GİRİŞ.....	59
5.2. FLUX ŞUTUN TABAN VE YAN YÜZEYLERİNDEKİ AŞINMANIN ÜRETİM DURUŞUNA ETKİSİ.....	59
5.3. MALİYETE ETKİSİ.....	62
5.4. AŞINMA MİKTARINA ETKİSİ.....	66
5.5. GAZ TOPLAMA MİKTARINA ETKİSİ.....	66
5.6. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ' NE ETKİSİ.....	67
BÖLÜM 6	70
SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	120 ton sıvı çelik kapasiteli BOF saha fotoğraf görüntüsü.....	6
Şekil 2.2.	Torpedodan sıvı ham demir aktarma çukuruna sıvı ham demirin boşaltılma anı.....	7
Şekil 2.3.	BOF ile sıvı çelik üretim prosesinin temel aşamalarının şematik görüntüsü	7
Şekil 2.4.	BOF ile sıvı çelik üretim prosesinin temel aşamalarının şematik görüntüsü	9
Şekil 2.5.	BOF ve sıvı ham demir aktarma çukurlarındaki toz ve dumanı emen sekonder toz toplama sisteminin şematik görüntüsü	10
Şekil 2.6.	BOF sistemindeki toz ve dumanı emen primer toz toplama sisteminin şematik görüntüsü	11
Şekil 2.7.	BOF ile sıvı çelik üretim prosesi esnasında etek mekanizmasının a) kapalı pozisyondaki durumunu gösteren saha görüntüsü b) açık pozisyondaki durumunu gösteren saha görüntüsü	12
Şekil 2.8.	Primer toz toplama sistemi üzerinde bulunan gaz yıkama sisteminin şematik görüntüsü	13
Şekil 2.9.	Primer toz toplama sistemi üzerinde bulunan SMS Group dizaynı Baumco gaz yıkama sisteminin şematik görüntüsü	14
Şekil 2.10.	Abrazif aşınma mekanizması şematik görüntüsü	18
Şekil 2.11.	İki ve üç gövdeli abrazyon mekanizması şematik görüntüsü.....	19
Şekil 2.12.	Adhezif aşınma mekanizması şematik görüntüsü.....	20
Şekil 3.1.	a) Metal-metal, b) Metal-abrazyon test düzeneğinin şematik olarak gösterilişi. (1) Dengeleyici ağırlık, (2) Yük, (3) Numune, (4) Aşındırıcı disk, (5) İletici silindir, (6) Abrazif bant, (7) Çelik destek plakası.....	25
Şekil 3.2.	Pilot plant test cihazının şematik görüntüsü	29
Şekil 3.3.	Mikro abrazyon deney düzeneğinin şematik görüntüsü	36
Şekil 3.4.	Mikro abrazyon deney düzeneğinin fotoğraf görüntüsü.....	36
Şekil 4.1.	Kardemir A.Ş BOF bunkerlerle malzeme besleme sistemi genel görüntüsü	41
Şekil 4.2.	Kardemir A.Ş BOF katkı malzemelerinin çelik üretim tesisi içerisine nakil güzergahı görüntüsü.....	42
Şekil 4.3.	Kardemir A.Ş BOF için tripper arabasının bunker üzerinde malzeme boşaltım anı görüntüsü.....	42
Şekil 4.4.	Kardemir A.Ş BOF elektromanyetik besleyicinin proje görüntüsü	43

Şekil 4.5. Kardemir A.Ş BOF elektromanyetik besleyicinin görüntüsü.....	44
Şekil 4.6. Kardemir A.Ş BOF tartım bunkerlerinin altında bulunan kantarların proje görünüşü	45
Şekil 4.7. Kardemir A.Ş BOF kantarlarının çalışma pozisyonu fotoğraf görüntüsü	45
Şekil 4.8. Kardemir A.Ş BOF flux şutun proje görüntüsü.....	46
Şekil 4.9. Kardemir A.Ş BOF flux şutun fotoğraf görüntüsü	46
Şekil 4.10. Kardemir A.Ş BOF hareketli baca genel görüntüsü	48
Şekil 4.11. Kardemir A.Ş BOF hareketli bacada B harfi ile gösterilen bölgenin Inconel 625 ilave teli kullanılarak MAG kaynağı ile kaplama yapılmış görüntüsü	48
Şekil 4.12. Kardemir A.Ş BOF hareketli bacada B harfi ile gösterilen bölgenin Inconel 625 ilave teli kullanılarak MAG kaynağı ile kaplanmış görüntüsü	48
Şekil 4.13. Kardemir A.Ş BOF flux şut değişimi sonrası oluşan aşınmanın yakın fotoğraf görüntüsü	51
Şekil 4.14. Kardemir A.Ş BOF flux şutun planlı bakım duruşlarında yapılan kontrollerde gözlenen aşınma görüntüleri	52
Şekil 4.15. Kardemir A.Ş BOF flux şutun planlı bakım duruşlarında yapılan kontrollerde gözlenen aşınma görüntüleri	52
Şekil 4.16. Kardemir A.Ş BOF içerisine katkı malzemeleri besleme esnasında aşındırıcı özelliğe sahip katkı malzemelerinden kaynaklı oluşan a) soğutucu borularda oluşan aşınmalar b) borular arasında bulunan lamalarda oluşan aşınma görüntüleri	53
Şekil 4.17. Kardemir A.Ş BOF flux şut detay imalat projesi	55
Şekil 4.18. Kardemir A.Ş BOF flux şut atölye imalatı a) flanş görüntüsü b) boru imalatı görüntüsü	55
Şekil 4.19. Kardemir A.Ş BOF flux şut a) kaplama işleminin yapıldığı atölye fotoğraf görüntüsü b) kaplama işleminin tamamlanarak ısıya dayanıklı boya ile boyanmış atölye fotoğraf görüntüsü	56
Şekil 4.20. Kardemir A.Ş BOF flux şut kaplama sonrası yakın fotoğraf görüntüsü .	56
Şekil 4.21. Flux şutun taban yüzeyinin tamamı ile yan duvarların ilk 3 sıra boru yüzeyleri Thermanit 14 K Si ilave tel ile kaynak dolgusu yapılarak BOF sistemine montaj yapılmış hali ile 24 ay çalışma süresi sonucunda gözle görünür bir aşınma veya delinme olmadığının saha görüntüsü	57
Şekil 5.1. Kardemir A.Ş BOF flux şut çelik üretim prosesi içerisindeki konumunu gösteren a) proje görüntüsü b) saha görüntüsü	60

Sayfa

Şekil 5.2. Kardemir A.Ş Çelik üretim tesisi BOF gazı toplama verimliliği ile elde edilen kazanç ilişkisi grafiği	64
Şekil 5.3. Flux şut üzerinde yapılan yüzey sertleştirme iyileştirmesi sonrasında Kardemir A.Ş Çelik üretim tesisinde elde edilen kazanç grafiği.....	65
Şekil 5.4. Kardemir A.Ş. fabrika sahasında risk skorlarını belirlemek için kullanılan L tipi matris değerleri ve tanımları.	67
Şekil 5.5. Kardemir A.Ş. fabrika sahasında risk ölçüsü belirlemede kullanılan L tipi risk matris tablosu.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1.Inconel 625 ilave telinin % element değerleri	49
Çizelge 4.2.Inconel 625 ilave telinin mekanik özellikleri.....	49
Çizelge 4.3.Thermanit 14 K Si ilave telinin % element değerleri	50
Çizelge 4.4.Thermanit 14 K Si ilave telinin mekanik özellikleri.....	50
Çizelge 4.5.Flux şut vasıtası ile BOF'a nakil edilen katkı besleme malzemelerinin ortalama günlük tüketim miktarları.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

%	: yüzde
/	: bölme
°C	: santigrat derece
Ø	: çap
°	: derece, açı birimi
₺	: türk lirası
mm	: milimetre
g/d	: gram/dakika
mm/d	: milimetre/dakika
m/s	: metre/saniye
s	: saniye
d	: dakika
pH	: potansiyel hidrojen
bar	: bar
Mpa	: mega paskal
m ³ /h	: metre küp/saat
t/h	: ton/saat
g	: gram
kg	: kilogram
mg	: miligram
m	: metre
m ²	: metre kare
m ³	: metre küp
mm ³	: milimetre küp
Hz	: hertz
d/d	: devir/dakika

μm	: mikron
N	: newton
kN	: kilo newton
CO	: karbonmonoksit
NO ₂	: azot dioksit
SO ₂	: kükürt dioksit
CO ₂	: karbondioksit
Fe	: demir
Cu	: bakır
Sn	: kalay
Co	: kobalt
Ar	: argon
C	: karbon
Mg	: magnezyum
V	: vanadyum
S	: kükürt
Ni	: nikel
Cr	: krom
Mo	: mobilden
Si	: silisyum
Mn	: manganez
P	: fosfor
O ₂	: oksijen
N ₂	: azot
CaO	: kalsine kireç
CaMg(CO ₃) ₂	: dolomit mıcırı
FeSi	: ferro silisyum
SiC	: silisyum karbür
WC	: tungsten karbür
SiO ₂	: silisyum dioksit
MnO	: manganez (II) oksit
P ₂ O ₅	: difosfor pentaoksit
Al ₂ O ₃	: alüminyum oksit

AISI 316L	: düşük karbonlu paslanmaz çelik
34CrNiMo6	: nikelli ıslah çeliği
42CrMo4	: yüksek karbonlu ıslah çeliği
GX120Mn	: östenitik manganezli dökme çelik
AISI 8620	: düşük alaşımlı sementasyon çelik
AISI 52100	: rulman çeliği
GS-52	: karbon çelik
GS-60	: karbon çelik
GGG25	: lamel grafitli dökme demir
GG20	: küresel grafitli dökme demir
St35-8	: karbon çelik
AA6063	: alüminyum alaşımı
AA6082	: alüminyum alaşımı
HV	: hardness vickers (Vickers sertlik derecesi)
HS	: hardness shore (Plastikler için sertlik derecesi)
HB	: hardness brinell (Brinell sertlik derecesi)
WC-Co	: karbürlü seramik
Al ₂ O ₃ -3TiO ₂	: alümina-titanya
TiAlN	: titanyum alüminyum nitrür
TiN	: titanyum nitrür
MAG	: metal active gas
AISI 1060	: orta karbonlu çelik
AISI 1030	: ötektoit altı çelik
vb.	: ve benzeri
Bkz.	: bakınız

KISALTMALAR

EAF	: Electric Arc Furnace (Elektrik Ark Fırını)
BOF	: Bazik Oksijen Fırını
ID Fan	: Induced Draft, (Emiş Gücü Yüksek Fan)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
ESD	: Electro Spark Deposition (Elektro Kıvılcım Biriktirme)
APS	: Atmosferik Plazma Spreyi
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Endüstriyel tesislerde makina, ekipman veya malzeme hareketinin olduğu yerlerde aşınma problemlerinin meydana geleceği aşıkardır. Sürtünmenin yok edilemediği gibi aşınmalar da yok edilemez. Aşınmalar kontrol altına alınarak, aşınan parça veya malzemelerin çalışma ömürlerini uzatacak iyileştirmeler yapılarak sistemin sürekli olarak çalışması sağlanabilmektedir. Aşınmaların kontrol altına alınamadığı durumlarda aşınma kaynaklı çok büyük problemler yaşanabilmekte ve ciddi maddi kayıplara neden olabilmektedir [1]. Öncelikle aşınmaların bulunduğu bölgelerdeki aşınma tipi veya tiplerine göre uygun özelliklerdeki malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Makina tasarımında ihtiyaca göre malzeme seçimi ve kullanımı büyük önem arz etmektedir.

Endüstriyel tesislerde katı malzeme manipülasyonları büyük oranda bantlı konveyörler, kovalı elevatörler, elektromanyetik bantlar vb. sistemler ile sağlanmaktadır. Belirli bir stok alanından tüketim noktasına sevk edilen malzemeler her aktarım noktasında aşınmaya maruz kalmaktadır. Tüketim noktasına ulaşan malzemeler genellikle hareketli veya sabit şutlar yardımı ile yönlendirilerek ihtiyaç noktasında kullanılmaktadır. Tüketim malzemesinin sevk edilmesi esnasında malzeme ile makine ekipmanı arasında temas bulunduğundan burada sistemin çalıştığı süre boyunca aşınma meydana gelmektedir. Aşınma belirli bir süre sonra makine ekipmanına zarar vererek delinmesine, kırılmasına, kopmasına veya parçalanmasına neden olarak görevini gerçekleştirememesine sebep olabilir. Aşınmaların bu tip şutlar üzerindeki etkisi aşındırıcı malzemeye göre değişkenlik göstermekte olup çok büyüktür.

Çelik yaklaşık olarak her yıl 1,3 milyar ton üretilmekte ve insanoğlunun en çok kullandığı malzemeler arasında bulunmaktadır. Modern teknoloji ile çelik üretimi

günümüzde iki çeşitli yöntem ile üretilebilmektedir. Bu yöntemlerden ilki; büyük entegre tesislerde yüksek fırın vasıtası ile elde edilen sıvı ham demirin bazik oksijen fırınında (BOF) katkı malzemeleri ilavesi ile elde edilen karışımın üzerine %80 sıvı maden ve %20 oranında hurda ilave edildikten sonralans vasıtası ile yüksek debi ve basınçta oksijen üflenmesi ile sıvı çelik üretimi, ikinci yöntem ise; çeşitli kalite ve büyüklüklerdeki çelik hurdalarınelektrik ark fırınlarında (EAF) karbon (C) elektrotlar yardımı ile elektrik enerjisi kullanılarak tekrar ergitilmesiyle sıvı çelik üretimidir. Bu yöntemde de ilave katkı maddeleri kullanılarak farklı çelik kaliteleri elde edilebilmektedir [2].

Bu çalışmada; Kardemir A.Ş. BOF ile sıvı çelik üretiminde hurda ve sıvı maden karışımı üzerine saf oksijen üflenmesi sonucu başlayan çelik üretim prosesinde kullanılan ilave katkı malzemelerin BOF içerisine sevkini sağlayan flux şut üzerinde meydana gelen aşınmaların sebep olduğu hasarların oluşum süreci izlenmiştir. Kardemir A.Ş. çelik üretim prosesinde sıvı çelik üretim sürecinde önemli bir yere sahip olan flux şut üzerindeki aşınmaların, su kaçaqlarına sebep olmaması ve su kaçaqları nedeni ile üretim duruşlarının minimum seviyeye inmesi için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

BÖLÜM 2

ÇELİK ÜRETİM PROSESİ VE AŞINMA

2.1. ÇELİK ÜRETİM PROSESİ

Günümüzde çelik üretim prosesi iki yöntem ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden birincisi; yüksek fırınlar vasıtası ile Fe (demir) cevherinden üretilen sıvı ham demirin BOF içerisine şarj edildikten sonra hurda ve ilave alaşımlandırma malzemelerinin eklenmesi ile birlikte üzerine saf oksijen (O_2) üflenmesidir. İkinci yöntem ise; hurda çeliklerin EAF' da elektrik enerjisi kullanılarak tekrar sıvı çeliğe indirgenmesi ile elde edilmektedir [3].

Çelik, Fe elementi ile genellikle %0,2 ile %2,1 arasında değişenlik gösteren karbon (C) miktarının birleşmesi ile oluşan bir alaşımdır. Çelik alaşımları içerisinde ihtiva eden C miktarı, çeliğin karakteristik olarak sınıflandırılmasında önemli rol oynamaktadır. C miktarı yüksek olan çelikler Fe elementine göre daha sert ve dayanıklı olmalarına rağmen daha az sünek olmaktadır. Çelik alaşımları içerisinde Fe ve C elementleri ile birlikte; magnezyum (Mg), silisyum (Si), molibden (Mo), vanadyum (V) vb. alaşım elementleri bulunabilmektedir [4].

17. yüzyılda çelik kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. 19. yüzyılda Thomas-Bessemer ve Siemens-Martin (Open Heart) yöntemlerinin geliştirilmesi ile birlikte çelik üretimi pahalı olmayan seri üretim malzemesi halini almıştır. İlerleyen süreçte üretim prosesine oksijen ilave edilmesi ile birlikte çelik üretim maliyetleri düşürülerek üretilen çeliğin kalitesi arttırılmıştır [4].

1945 yılından sonra geliştirilen bazik oksijen fırını ile çelik üretim yöntemi, kitle çelik üretiminde yeni bir akım yaratmış olup günümüzde bu yöntem ile dünya çelik

üretiminin %65'i gerçekleştirilmektedir [5]. Son çeyrek asırda yapılmış olan teknik iyileştirmeler ile birlikte elektrikle sıvı çelik üretim yöntemlerinde de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Günümüzde elektrik ile sıvı çelik üretimi dünya üzerindeki toplam çelik üretiminin %32'sini teşkil etmektedir [5]. Siemens-Martin yöntemi, çevresel nedenler ve yeni üretim yöntemleri ile kıyaslandığında düşük verimliliğe sahip olması nedeniyle önemini kaybetmiştir. Bu yöntem ile üretilen çelik miktarı dünya çelik üretiminin %3'ün teşkil etmektedir [5].

Çelik; dünya üzerinde çeşitli sanayi alanlarında kullanılmaktadır. Makine imalat, gemi, silah, otomotiv sanayisi, çelik konstrüksiyon binalar ve inşaat sektörü bunların başında gelmektedir. Son yıllarda dünya üzerindeki çelik tüketimi ve buna paralel olarak çelik üretimi de artış göstermektedir. 2019 yılındaki dünya çelik üretimi 1,9 milyar ton mertebesinde gerçekleşmiştir [6].

2.1.1. Bazik Oksijen Fırını (BOF) ile Çelik Üretimi

BOF ile sıvı çelik üretim prosesi; tüm yöntemler arasındaki en önemli olanı ve en çok tercih edilenidir. BOF ile sıvı çelik üretim esnasında saf oksijen kullanımı diğer sıvı çelik üretim yöntemleri ile benzerlik göstermektedir.

Henry Bessemer çelik üretim prosesinde hava ile rafinasyon yöntemini geliştirmiş olup 1855 yılında rafinasyon işleminin saf oksijen gazı kullanılarak yapılmasının hava kullanımından daha uygun olduğunu belirtmiştir. Saf oksijen üretiminin 1855 yılında mümkün olmaması sebebi ile hem Bessemer hem de Thomas yöntemlerinde kazanların alt kısımlarında bulunan deliklerden hava üflenmesi ile üretim tekniği şekillendirilmiştir. Hava, kazanın alt bölgesinde bulunan nozul benzeri bir delikten geçirilerek kazanın içerisindeki sıvı ham demire karıştırılmaktadır. Hava içerisinde bulunan oksijen, sıvı ham demir içerisinde düşük miktarlarda bulunan elementleri ve karbonu yakarak sıvı çelik elde edilmektedir.

Bessemer yöntemi, yüksek Si ve düşük fosforlu (P) sıvı ham demirin asidik astarlı bir konverter içerisinde çeliğe rafine edilmektedir. Thomas yönteminde ise (bazik Bessemer yöntemi olarak daha çok bilinir) yüksek oranlarda P ve kükürt (S) içeren

sıvı ham demir, bazık astarlı refrakter içeren bir konverterde çeliğe dönüştürülmektedir. Her iki yöntemde de sıvı çelik oluşumu sırasında ısı açığa çıkmaktadır. Bu yöntemler ile üretilen çeliğin düşük kalitelerde olması, oksijen metalurjisi ile üretilen çeliklere kıyasla maliyetlerin yüksek olması gibi etkenlerden ötürü günümüzde diğer çelik üretim yöntemleri tercih edilmektedir.

Saf oksijenin kullanımı ile gerçekleştirilen çelik üretiminde, hava kullanılarak gerçekleştirilen çelik üretimindeki kadar azot (N₂) gaz miktarı içermediğinden maliyet etkinliğini artırarak önemli oranda rafınasyon reaksiyonlarını hızlandırmaktadır. Rafınasyon reaksiyonu esnasında sıvı ham demir içerisindeki elementler yüksek hızla yanarak önemli miktarlarda ısı açığa çıkarır ve sıvı ham demir hurda eklenerek soğutulmaktadır. BOF kapasitelerinde ve verimlerinde son zamanlarda çok büyük gelişmeler yaşanmış olup bu gelişmeler çelik fabrikalarının üretkenliğini ve verimliliğini büyük oranda arttırmıştır. Günümüzde BOF'ların her bir ergitmedeki kapasiteleri 50 ile 400 ton arasında değişkenlik göstermektedir [5].

BOF ile sıvı çelik üretimi; sıcak sıvı ham demir ve hurdanın BOF içerisine şarj edildikten sonra üzerine %99,9 saflıkta oksijen üflenmesi ile birlikte ilave katkı malzemeleri ilave edilerek yapılmaktadır. Sıvı ham demir ve hurdanın üzerine üflenen oksijen karbonu yakarak sıvı çelik elde edilmesini sağlamaktadır.

BOF, yatay mıyılı ekseni etrafında 360 ° dönebilen, içerisi refrakter tuğla ile kaplı, alt kısmı bombeli ve üst kısmı konik olan bir yapıya sahiptir. 120 ton kapasiteli BOF'un genel görünüşü Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

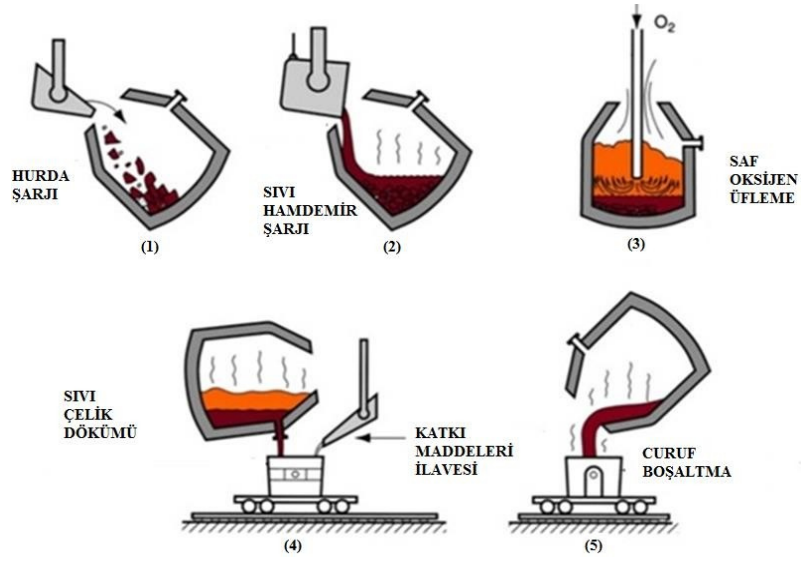


Şekil 2.1. 120 ton sıvı çelik kapasiteli BOF saha fotoğraf görüntüsü.

Kardemir A.Ş çelik üretim tesisindeki çelik üretim prosesinde; yüksek fırınlarda demir cevherinden elde edilen sıvı ham demir 180 tonluk torpedolar vasıtası ile çelik üretim tesisine taşınmaktadır. Torpedolar, ön ve arka kısmında bulunan tekerlekler vasıtasıyla lokomotifler ile birlikte demiryolu üzerinde gidebilen maden taşıma araçlarıdır. Torpedolar kendi eksenlerinde 360° dönebilmekte olup içerisindeki sıvı ham demirin tamamını boşaltabilmektedir. Torpedolar vasıtası ile çelik üretim tesisine taşınan sıvı ham demir, sıvı ham demir aktarma çukurlarında potalara dökülmektedir. Sıvı ham demir ile doldurulan potalar sıvı ham demir aktarma çukurlarından tavan vinçleri ile alınarak BOF'lara şarj edilmektedir. Sıvı ham demir aktarma çukurunda torpedodan sıvı ham demir boşaltılma anı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. BOF ile sıvı çelik üretim prosesinin temel aşamaları şematik olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Torpedodan sıvı ham demir aktarma çukuruna sıvı ham demirin boşaltılma anı.



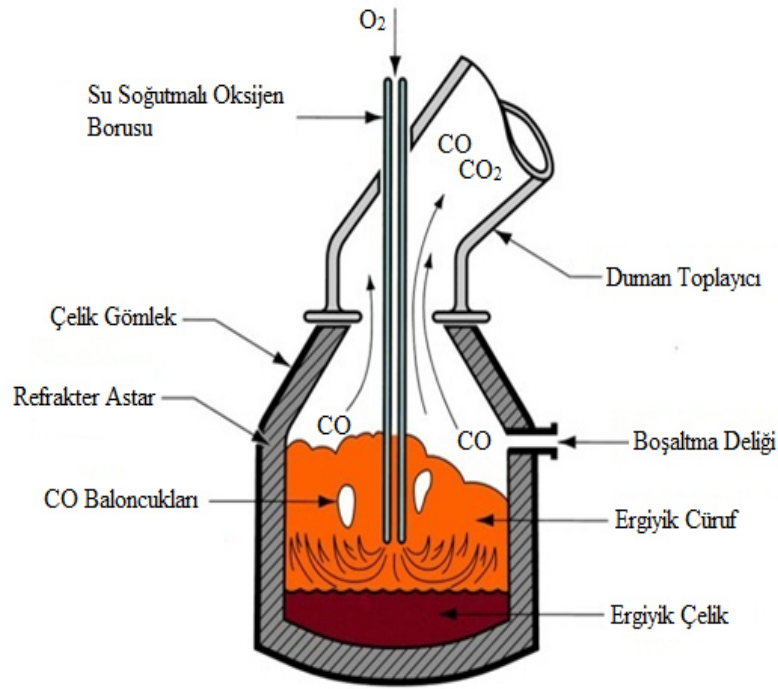
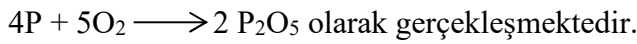
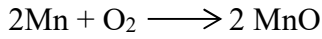
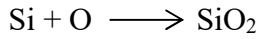
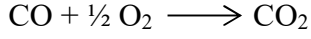
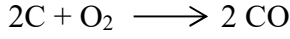
Şekil 2.3. BOF ile sıvı çelik üretim prosesinin temel aşamalarının şematik görüntüsü [7].

Şekil 2.3'te 1 ile gösterilen bölümde BOF içerisine çelik hurdası, 2 ile gösterilen bölümde ise sıvı ham demir aktarma çukurlarına torpedolardan boşaltılan sıvı ham demirin potalar vasıtası ile BOF içerisine şarj edilmesi gösterilmiştir. 3 ile gösterilen bölümde lans vasıtası ile BOF içerisine yüksek basınçlı oksijen üfleme ile sıvı ham demir içerisindeki S, P, manganez (Mn), Si gibi elementler istenilen çelik kalitesine göre uygun değerlere indirgenmektedir. Lans ile oksijen üfleme esnasında BOF içerisine flux şüt yardımı ile kalsine kireç (CaO), dolomit mıcırı ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ferro

silisyum (FeSi), pelet cevher ve antrasit gibi katkı malzemeleri ilave edilmektedir. 4'te ise içerisindeki C, S, P ve Si gibi element değerlerin istenilen seviyelere gelmesinden sonra yaklaşık 1635 °C sıcaklıktaki sıvı çelik BOF'un aşağıya doğru döndürülmesi ile birlikte çelik potalarına aktarımı gösterilmektedir. 5'te ise sıvı çelik dökümü sonunda BOF içerisinde kalan cürufun pota içerisine döküldüğü gösterilmektedir.

BOF içerisine genellikle %70-80 oranında yüksek fırından gelen sıvı ham demir, kalan %30-20'lik kısmını çelik hurdası, CaO, CaMg(CO₃)₂ vb. katkı malzemeleri oluşturmaktadır. Uygun döküm sıcaklığında istenilen C yüzdesine erişmek için BOF'a şarj edilecek ham maddelerin cinslerinin ve miktarlarının ayarlanması gerekmektedir. BOF %100 sıvı ham demir ile şarj edilir ve O₂üflenirse, sıvı ham demir içindeki C ve diğer yabancı maddelerin O₂ ile birleşmesi sonucunda çok fazla ısı açığa çıkmasına sebep olmaktadır. 1700 °C ve üzerindeki sıcaklıklara sahip olan sıvı çelik, potalara döküldüğünde refrakter tuğlaları eriterek çelik potalarının delinmesine ve tehlikeli durumların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumu önlemek için BOF içerisine soğutucu olarak hurda şarj edilmektedir. Hurdanın erimesi C ve diğer yabancı maddelerin yanması esnasında açığa çıkan gizli ısı ile gerçekleşmektedir. BOF, %75 hurda ve %25 sıvı ham demir ile şarj edilirse sıcak metal içindeki C ve diğer elemanların oksijen ile yanması sırasında verdikleri ısı hurdanın yalnız küçük kısmını eritmektedir. Bu sebep ile BOF içerisine uygun miktar ve oranlarda sıvı ham demir ve çelik hurdası şarj edilmesi gerekmektedir. BOF içerisine sıvı ham demir ve çelik hurdası şarj edilmesinden sonra lans vasıtası ile 15-20 dakika arasında değişen sürelerde oksijen üflenerek sıvı ham demir içerisindeki C oranı %1'in altına (genel olarak % 0,1' in altına) düşürülmektedir. Kardemir A.Ş çelik üretim prosesinde BOF ile yaklaşık olarak 40 dakikada bir 120 ton sıvı çelik üretimi gerçekleştirilmektedir. Sıvı çelik üretimi esnasında flux şüt vasıtası ile BOF içerisine sevk edilen katkı malzemesinin miktarı ve oksijen üfleyen lansın banyo seviyesine uzaklığı bilgisayar kontrolü ile ayarlanmaktadır. Üflemenin başlaması ile birlikte bakır başlıklı ve su soğutmalı olan oksijen lanslarının içerisinden yaklaşık 10-12 bar basınçta ve 300 m³/h oksijen BOF içerisine üflenmektedir. Lans üfleme aşamasına yaklaşık olarak banyo seviyesinin 1,5 m yüksekliğinde başlayıp prosesin gerekliliklerine göre banyo seviyesine yaklaşarak kademeli olarak üfleme

yapmaktadır. BOF içerisine oksijen üflenmesi ile birlikte artan sıcaklıkla hurda eriyerek, sıvı ham demir içerisindeki C, Si, Mn ve S gibi safsızlıklar oksitlenmektedir. BOF içerisinde meydana gelen kimyasal tepkimeler aşağıda verilmiş olup lans ile oksijen üfleme anı şematik olarak Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



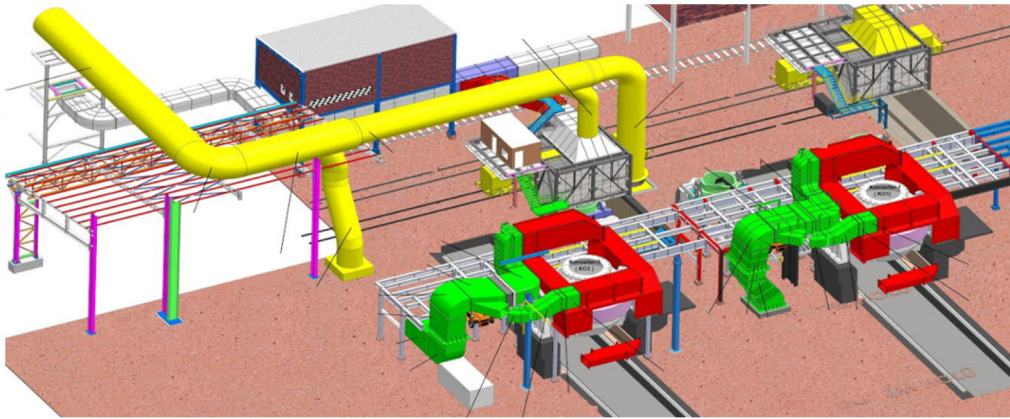
Şekil 2.4. BOF ile sıvı çelik üretim prosesinin temel aşamalarının şematik görüntüsü [7].

Yukarıda verilen 5 aşamalı kimyasal tepkimelerden birinci ve ikinci sırada gösterilen kimyasal tepkimelerde açığa çıkan karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) birincil toz toplama sistemi içerisinde bulunan ID fan (Induced Draft) yardımı ile emilerek BOF' tan uzaklaştırılmaktadır. Diğer kimyasal tepkimelerde ürün olarak açığa çıkan silisyum dioksit (SiO₂), manganez (II) oksit (MnO), difosfor pentaoksit (P₂O₅) cüruf olarak sıvı çeliğin yüzeyinde birikmektedir. Üfleme prosesi boyunca sıvı çelik içerisinde bulunan C miktarı doğrusal olarak azalmaktadır. Çelik üretim

prosesinde BOF içerisinde cüruf yapıcı olarak CaO kullanılmaktadır. BOF içerisine şarj edilen sıvı ham demirin sıcaklığı 1590 °C -1600 °C aralığında olması durumunda BOF sıcaklığını yükseltmek ve 1650 °C -1680 C° aralığına getirmek için FeSi kullanılmaktadır. BOF içerisine şarj edilen sıvı ham demirin sıcaklığı 1720 °C – 1730 °C aralığında olması durumunda ise BOF sıcaklığını düşürmek ve 1650 °C – 1680 °C aralığına getirmek adına pelet cevher ve $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ kullanılmaktadır. Üfleme tamamlandıktan sonra BOF içerisindeki refrakterin ömrünü korumak ve arttırmak adına antrasit kullanılmaktadır.

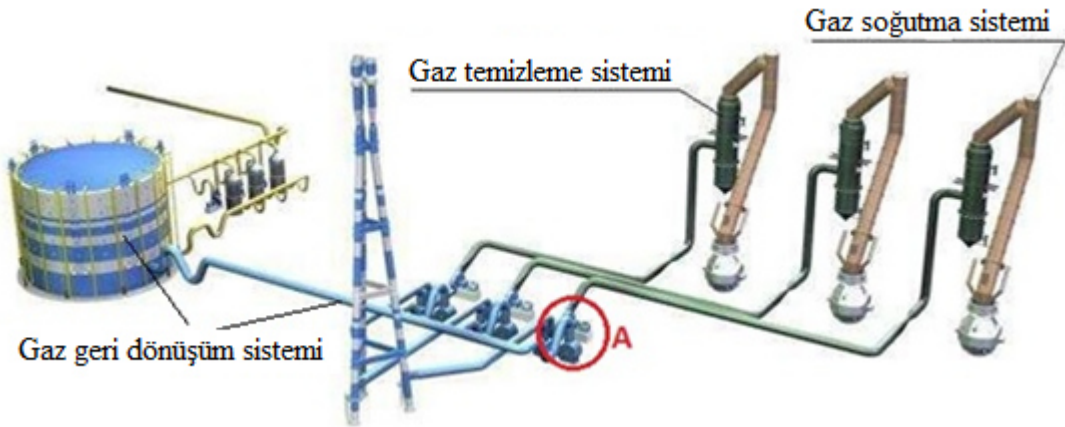
2.1.2. BOF Sisteminde Gaz Yıkama ve Geri Kazanımı Sistemi

Kardemir A.Ş çelik üretim prosesinde sıvı çelik üretimi esnasında açığa çıkan toz ve gazları toplamak adına iki farklı sistem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki; sekonder toz toplama olarak adlandırılarak BOF içerisine sıvı ham demirin şarjı esnasında ve sıvı çelik üretimi gerçekleştikten sonra sıvı çeliğin BOF içerisinden çelik potasına dökülmesi esnasında çıkan toz ve dumanı emerek bertaraf etmektedir. 2 adet endüstriyel fan yardımı ile emilen toz ve duman karışımı filtrasyon edildikten sonra temiz hava atmosfere atılmaktadır. Üç adet BOF ve sıvı ham demir aktarma çukurlarında çıkan toz ve dumanı bertaraf etmek için 1 adet 1.000.000 m³/h kapasitesinde torbalı tip toz toplama ünitesi ve 1 adet 700.000 m³/h kapasitesinde torbalı tip toz toplama ünitesi kullanılmaktadır. Sekonder toz toplama sistemi vasıtası ile BOF ve sıvı ham demir aktarma çukurlarından emilen toz ve dumanın şematik olarak görünüşü Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. BOF ve sıvı ham demir aktarma çukurlarındaki toz ve dumanı emen sekonder toz toplama sisteminin şematik görüntüsü.

BOF ile sıvı çelik üretimi esnasında açığa çıkan gazın emilerek depolanmasını sağlayan diğer sistem ise; primer toz toplama olarak adlandırılmaktadır. Çelik üretim esnasında BOF içerisindeki kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan gazlar primer toz toplama sistemi vasıtası ile toplanmaktadır. Primer toz toplama sistemi üzerinde BOF ağzından emilen gaz ve toz karışımı yıkılarak BOF gazları temiz hale getirilmektedir. Yüksek sıcaklığa sahip olan BOF gazı primer toz toplama sistemi ile emilirken sistem üzerinde bulunan gaz kanalları su soğutmaya sahip olup üzerine püskürtülen yıkama suları vasıtası ile gazın soğumasını sağlamaktadır. Primer toz toplama sisteminin genel görünüşü Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Sistem üzerinde Şekil 2.6'da A ile gösterilen sistemin ortasında bulunan ID fan yardımı ile emilen gaz, gaz temizleme sisteminde yıkılarak sıcaklığı düşürülmekte ve içerisindeki tozlardan arındırılmaktadır. Sistem üzerinde temizlenen gaz ID fan yardımı ile 300.000 m³ gaz toplama kapasitesine sahip olan gaz geri dönüşüm sistemine gönderilmektedir. Çelik üretim esnasında sürekli olarak çalışan ID fanlar 1200 d/d açılmal hız ile dönmektedir. ID fanın herhangi bir arıza sebebi ile çalışmadığı durumda BOF ile sıvı çelik üretimi gerçekleştirilememektedir.



Şekil 2.6. BOF sistemindeki toz ve dumanı emen primer toz toplama sisteminin şematik görüntüsü [8].

Çelik üretim prosesi esnasında BOF içerisindeki kimyasal tepkimeler sonucu oluşan gazların %70' i CO, %10' u azot dioksit (NO₂), %10'u kükürt dioksit (SO₂), ve %10'u CO₂'den oluşmaktadır. BOF'un en üst noktası ile hareketli baca arasında kalan mesafe etek olarak tabir edilen ekipman ile ayarlanmaktadır. Su soğutmalı borulardan oluşan etek; 4 adet hidrolik piston ile hareketli bacaya bağlı olup, 800

mm strok içerisinde aşağı yukarı yönde hareket edebilen bir ekipmandır. Etek, üfleme esnasında aşağıya doğru inerek BOF'un üst noktasındaki mesafeyi kapatarak atmosferdeki oksijenin BOF içerisine girmesini engellemekte ve primer toz toplama sistemi vasıtası ile toplanan CO gazının atmosfere kaçmasının önüne geçmektedir. Etek mekanizmasının kapalı pozisyonu Şekil 2.7a'da, açık pozisyonu ise Şekil 2.7b'de gösterilmektedir.

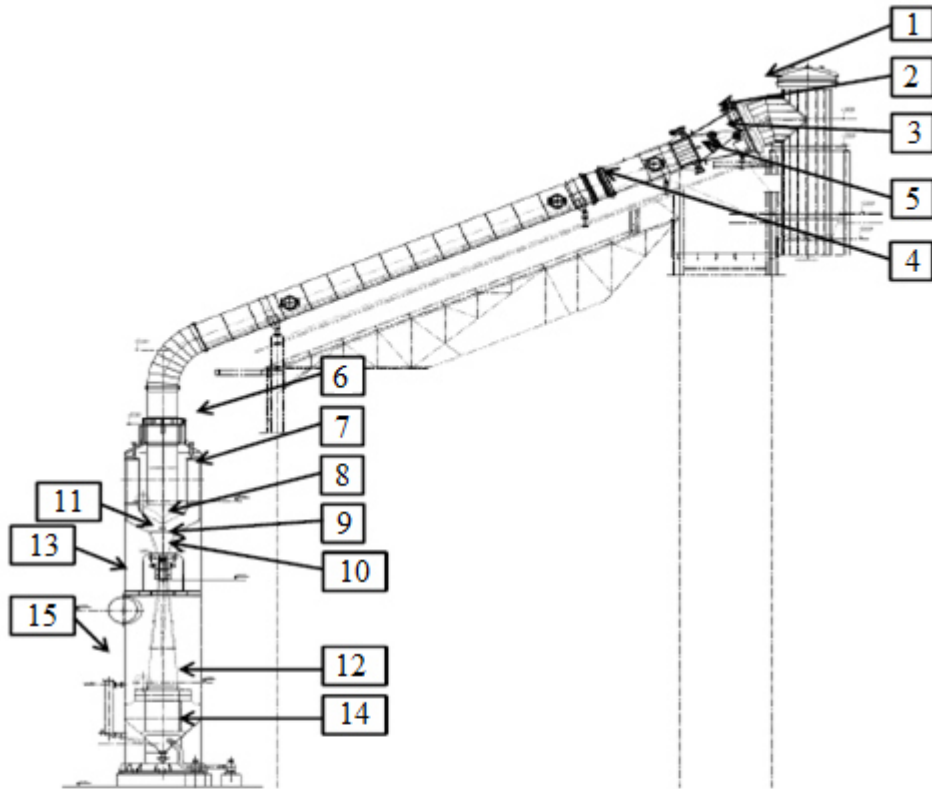


Şekil 2.7. BOF ile sıvı çelik üretim prosesi esnasında etek mekanizmasının a) kapalı pozisyonundaki durumunu gösteren saha görüntüsü b) açık pozisyonundaki durumunu gösteren saha görüntüsü.

Çelik üretim prosesi esnasında BOF ağzından çıkarak primer toz toplama sistemindeki ID fan aracılığı ile emilen gazın sıcaklığı yaklaşık olarak 1400 °C'dir. Su soğutmalı bacadan geçerek söndürücü bölgesine gelene kadar gazın sıcaklığı 800°C'ye düşmektedir. Su soğutmalı olan ve 160 adet Ø38x4,5 mm borudan meydana gelen su soğutmalı bacada dolaşan suyun sıcaklığı ortalama 80 °C mertebesindedir. Su soğutmalı bacada dolaşan su sıcaklığının 100 °C'yi geçmesi durumunda su, borular içinde kaynamaya başlayarak içinde bulunduğu panel boruları çatlatmakta ve su kaçaqlarına sebep olmaktadır. Sistem giriş ve çıkış su sıcaklıkları

sürekli kontrol altında tutularak sistemin istenilen sıcaklık aralığında çalışabilmesi için devamlı su ile beslenmesi gerekmektedir.

BOF gazı geri kazanımı; prosesin ikinci aşaması olarak adlandırılır ve söndürücü bölgesi ile başlamaktadır. Gaz soğutma ve yıkama işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalar I. ve II. gaz temizleme aşamaları olup sisteminin genel görünüşü Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



I. Birinci gaz temizleme aşaması

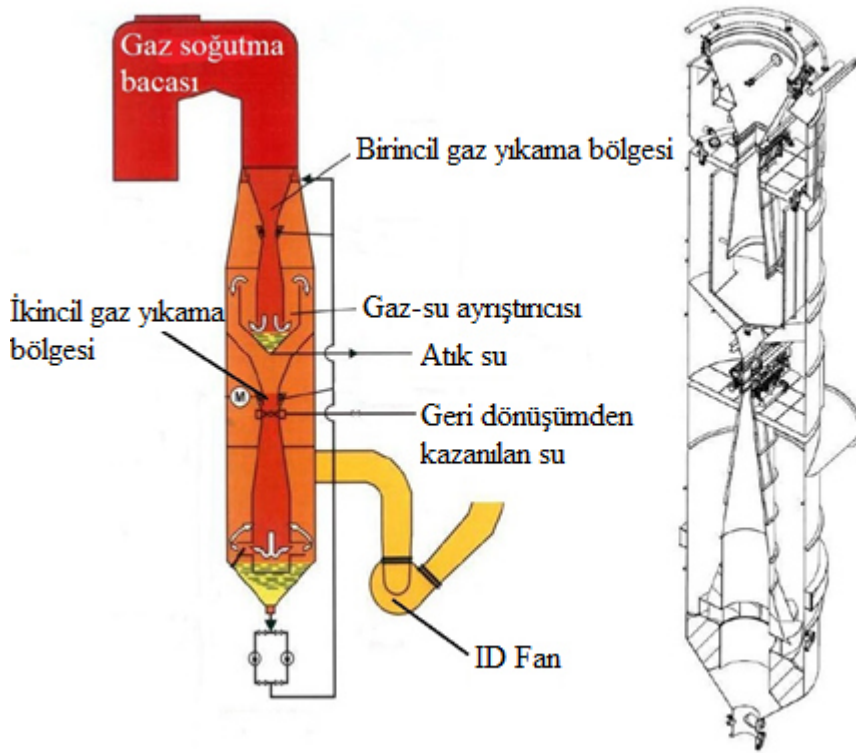
II. ikinci gaz temizleme aşaması

- 1-) Acil durum nozulu
- 2-) Söndürücü kollektörü
- 3-) Söndürücü nozulları
- 4-) Kompansatör
- 5-) Söndürücü
- 6-) Yıkayıcı nozulları
- 7-) Yıkayıcı üst bölüm
- 8-) Su çıkışı (I. aşama)

- 9-) Venturi boğazı kompansatörü
- 10-) Venturi boğazı (ayarlanabilir)
- 11-) Venturi boğazı için sökme kirişi
- 12-) Döner pervaneli seperatör
- 13-) Gaz çıkış kanalı
- 14-) Söndürücü pompalarının emiş haznesi
- 15-) Seviye ölçüm cihazı

Şekil 2.8. Primer toz toplama sistemi üzerinde bulunan gaz yıkama sisteminin şematik görünüşü [8].

Şekil 2.8’de 5 numara ile gösterilen söndürücü bölgesinde birinci gaz temizleme aşamasına 800 °C sıcaklık ile gelen gaz 5 adet söndürme nozulu vasıtası ile yıkanmaktadır. Gazın içerisinde bulunan toz ve diğer katı partiküller çamur kıvamına getirilerek gazın temizlenmesi sağlanmaktadır. Söndürücü bölgesinde yıkanan gaz ve çamur karışımı yer çekimi etkisi ile aşağı doğru yönelerek ikinci gaz temizleme aşaması olan yıkayıcı kuleye giriş yapmaktadır. Yıkayıcı kule içerisinde birincil ve ikincil gaz yıkama bölgeleri bulunmakta olup yıkayıcı kule ve gazın içerisindeki akış yönü Şekil 2.9’da detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Primer toz toplama sistemi üzerindeki SMS Group tasarımı Baumco gaz yıkama sisteminin şematik görüntüsü [8].

Söndürücü bölgesinde yıkanarak birincil gaz yıkama bölgesine gelen gaz-çamur karışımı gaz-su ayırıcısı bölümünde birbirinden ayrılarak ID fanın emiş kuvveti sayesinde gaz yukarı doğru yönlendirilen kanallardan çıkarak ikinci gaz yıkama bölgesine yönelmektedir. İkincil gaz yıkama sisteminin girişinde kanalın kesiti doğrusal olarak daralmakta ve gazın hızı yükselmektedir. Akış hızı yükselen gaz venturi boğazı olarak adlandırılan bölüm üzerinde 6 adet hidrolik piston bulunan mekanizmanın içerisinde geçmektedir. İkincil gaz yıkama sisteminden geçen gaz yeniden yıkanarak su-toz karışımı yer çekimi etkisi ile yıkama sisteminin taban

bölgesine, temizlenen gaz ise ID fan vasıtası ile çekilmektedir. Gaz yıkama ve gaz toplama sistemini içerisinde bulunduran primer toz toplama sisteminde; BOF ile ID fan arasında kalan bölüm negatif basınç, ID fan ile gaz geri dönüşüm sistemi arasında kalan bölüm ise pozitif basınç altında çalışmaktadır.

Primer toz toplama sistemi üzerinde bulunan CO analizörleri, gaz karışımı içerisindeki CO miktarını sürekli kontrol ederek CO konsantrasyonunun %40 oranının altına düşmesi ile birlikte gaz toplama işlemini durdurmaktadır. BOF içerisinden çıkan gaz bu süreçten sonra yakılarak yakma bacasından atmosfere atılmaktadır. Toplanan gaz içerisindeki CO konsantrasyonunun %40 oranının altına düşmesi, geri dönüşüm sistemindeki gaz holder tankında biriktirilen CO gazının derişimini düşüreceğinden gaz toplama sistemi kapatılarak yakma bacası üzerinden atmosfere atılmaktadır.

2.1.3. BOF Katkı Besleme Sistemi

Kardemir A.Ş. çelik üretim ünitesindeki BOF' larda sıvı çelik üretimi için gerekli olan katkı malzemeleri tripper arabası vasıtası ile 7 adet malzeme depolama bunkerine sevk edilmektedir. Tripper arabası bantlı konveyör mantığı ile çalışarak ileri ve geri hareket edebilen, üzerinde gerdirme tamburu ve saptırma tamburları vasıtası ile bantın gerginliğini ve mesafesini ayarlayarak her BOF için kullanılan 7 adet malzeme depolama bunkerine (3 BOF için toplam 21 adet) katkı malzemelerinin sevkini sağlamaktadır. Her bunkerin üzerinde bulunan pozisyon şartelleri yardımı ile, banttan gelen malzemeyi kumanda odasından seçilen bunkere boşaltmaktadır. Malzeme depolama bunkerlerinin alt kısmında bulunan elektromanyetik besleyicilerin oluşturduğu titreşim vasıtası ile bunker içerisinde bulunan malzeme, aşağı yönde harekete zorlanarak 7 m³ kapasiteli tartım bunkerlerine gönderilmektedir. Hangi bunkerden kaç kg malzeme gönderileceği operatör tarafından SCADA (Merkezi denetleme kontrol ve veri toplama) üzerinden girilerek tam otomatik sistem vasıtası ile malzeme sevki gerçekleştirilmektedir. 7 m³ kapasiteli tartım bunkerlerinin altında bulunan bulunan 10 ton ağırlık ölçme kapasitesine sahip 3 adet kantar yardımı ile set değeri olarak belirlenen ağırlığa ulaşıldığında, elektromanyetik vibratörler malzeme aktarım işlemini

sonlandırmaktadır. BOF ile sıvı çelik üretimi esnasında ihtiyaç duyulan CaO, CaMg(CO₃)₂, pelet cevher, antrasit ve FeSi gibi katkı malzemelerinin tamamı benzer şekilde BOF içerisine sevk edilmektedir. Malzeme depolama bunkerlerinden flux şuta gelene kadar tüm malzeme aktarım noktalarında toz çıkışını önlemek için, tüm olukların bunkerlere giriş noktaları kauçuk bant ile kapatılarak toz çıkışının önüne geçilmektedir.

Katkı malzemelerinin BOF içerisine aktarılmasını sağlayan son nokta olan flux şut su soğutmalı borulardan oluşmakta olup, giriş-çıkış su bağlantıları bulunmaktadır. Flux şutun uç tarafı hareketli baca içerisinde ve dolayısı ile direkt olarak aleve ve sıcaklığa maruz kaldığı için; (atmosfere açık olması sebebi ile) BOF içerisindeki CO gazının katkı besleme sistemi içerisine sızmasını engellemek, BOF içerisindeki alev, toz ve dumanın sisteme yayılmasını önlemek adına azot sızdırmazlık perdesi uygulanmaktadır.

2.2. AŞINMA

Malzemeler ilk günkü görüntüsünde kalamayacağı gibi sürekli olarak bir değişim ve dönüşüm içerisinde bulunmaktadır. Birbirleri ile temas halindeki iki yüzeyin veya maddenin fiziksel etkileri ile meydana gelen malzeme kaybına aşınma denilmektedir. Aşınma istenmeyen bir durum olmakla birlikte aşınmaya karşı önlem alınmaması ekipmanların ömürlerini kısaltarak maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Aşınma ile gündelik yaşantımızda da oldukça sık karşılaşılmaktadır. Üzerimize giydiğimiz elbise ve ayakkabılarımızın zaman içerisinde yıpranması, kullandığımız mobilyaların ve eşyaların zamanla eskimesi, bıçak ve diğer kullandığımız kesici ve delici aletlerin zaman içerisinde körelmesi günlük yaşantımızda karşılaştığımız durumlara örnek teşkil etmektedir [4].

ASTM (American Society for Testing and Materials/Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu) G40-02 standardına göre aşınmanın tanımı; “Katı bir yüzeyile, bu yüzeye temas eden parça veya parçacıklar arasındaki harekete bağlı oluşan, genellikle sürekli malzeme kaybını içeren hasardır.” olarak belirtilirken, DIN (Deutsches Institut für Normung/Alman Standartlar Enstitüsü) 50320 standardına göre aşınma; “Kullanılan

malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması ile meydana gelen değişikliktir.” olarak tanımlanmıştır. Her iki standarta ait tanımdan da anlaşılacağı üzere aşınma ile ilgili en önemli etkenin süreklilik olduğu belirtilmiştir.

2.2.1. Aşınma Sisteminde Temel Parametreler

Bir sistem üzerinde aşınmanın meydana gelebilmesi için belirli parametrelerin olması gerekmektedir. Bu parametreler; aşınan malzeme, aşındıran malzeme, hareket, yük ve ortam şartları olarak sıralanmaktadır. Ortam; katı, sıvı veya gaz olabilmektedir. Aşınan ve aşındırılan malzemelerin bir araya gelmesine aşınma çifti denilmektedir. Aşınma çiftine ek olarak içerisinde parçacık bulunduran sıvı veya gaz malzemelerinin de aynı ortam içerisinde bulunmasına aşınma kombinasyonu denilmektedir [7].

Aşınmayı etkileyen faktörler;

Ana malzemeye bağlı faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu

Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

Ortam şartları

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

Servis şartları

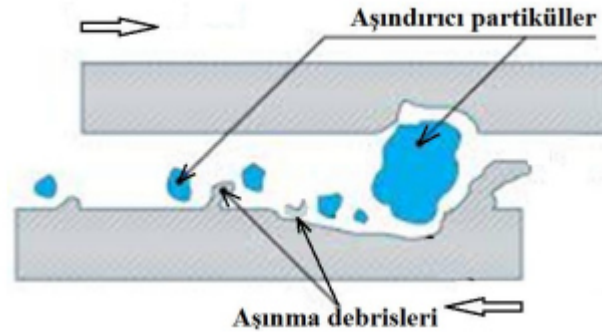
- Basınç
- Hız
- Kayma yolu

2.2.2. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanizmaları; abrazif, adhezif, erozif, korozif ve yorulma aşınması olmak üzere 5 ana başlıkta değerlendirilmektedir.

2.2.2.1. Abrazif Aşınma

Abrazif aşınma türünde birbirlerine göre zıt yönlerde belirli bir hızda hareket eden iki malzemenin yüzey sertliği yüksek olanının üzerinde bulunan çıkıntılar sebebiyle diğer malzemenin parça koparmaktadır. Abrazif aşınmanın şematik görüntüsü Şekil 2.10'da belirtilmektedir.



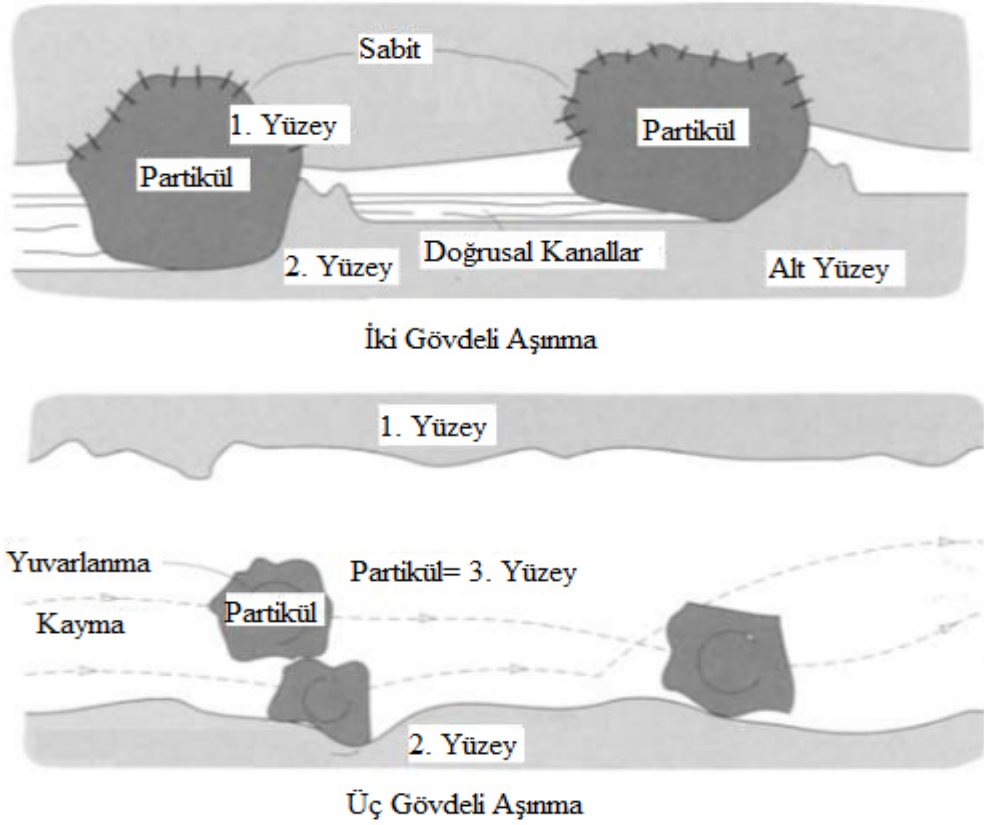
Şekil 2.10. Abrazif aşınma mekanizması şematik görüntüsü [9].

Yüzeyler arasındaki aşındırıcı partiküller sisteme dışarıdan gelebilmekte veya adhezif aşınma sonucunda sistem içerisinde de oluşabilmektedir. Aşınma sonucunda koparak ana malzemenin ayrılan parçacıklar aşınma sistemine dahil olmaktadır. Abrazif aşınma oluşumundaki en önemli kriterler; malzemelerin sertlik değeri, aşındırıcının türü, hareket hızı, malzemenin geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü gibi etkenler olarak belirtilmiştir [7].

Abrazif aşınma mekanizmasında, sürtünen malzemelerden daha sert olanın yüzey pürüzlülüğünün veya yüzeylerden birisine gömülmüş sert malzemelerin diğer yüzeyi kazıyarak malzeme kaldırması gövdeli abrazif aşınma olarak adlandırılmaktadır. Gövdeli abrazif aşınma 2 ve 3 gövdeli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [7].

Üç gövdeli abrazif aşınmada; sert parçacıklar yüzeyler arasında yuvarlanarak ya da kayarak serbest bir şekilde hareket etmekte olup, iki gövdeli abrazif aşınmada ise iki yüzey arasında kalmış sert çıkıntılar ya da malzeme içerisine gömülmüş sert malzemeler hareket edememektedir.

Üç gövdeli abrazif aşınmadaki ağırlık kaybı iki gövdeli aşınmaya kıyasla daha az olmaktadır. Üç gövdeli abrazif aşınmada malzemenin yaklaşık olarak % 90'lık kısmı yuvarlanırken, % 10'luk kısmı aşınmaya sebep olmaktadır. Bu sebep ile 2 gövdeli abrazif aşınmadaki aşınma miktarı 3 gövdeli abrazif aşınma miktarına göre daha fazla olmaktadır. 2 ve 3 gövdeli abrazif aşınma türleri şematik olarak Şekil 2.11'de gösterilmektedir [7].

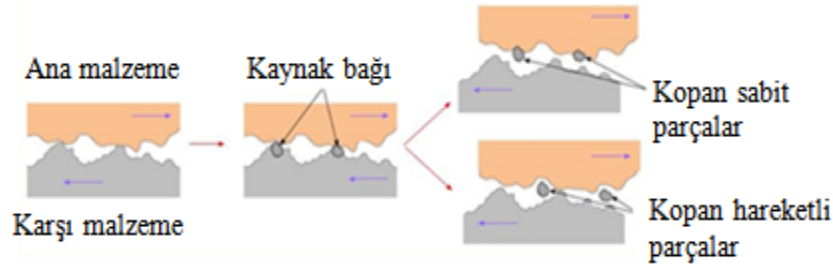


Şekil 2.11. İki ve üç gövdeli abrazif aşınma mekanizması şematik görüntüsü [10].

2.2.2.2. Adhezif Aşınma

Adhezif aşınma, iki metal yüzeyin birbirleri ile kayma sürtünmesi yapması durumunda meydana gelmektedir. Birbiri ile temas halinde olan iki metal yüzey

arasında herhangi bir koruyucu veya yağlayıcı madde bulunmaması durumunda adhezyon kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvetin oluşabilmesi için iki malzemenin birbiri ile yakın temas halinde bulunması gerekmektedir. Metal malzemelerin yüzeyindeki pürüzlülükler gelecek olan gerilme kuvveti veya basınç kuvveti çok büyük olmaktadır. Söz konusu kuvveti taşıyamayan pürüzlülükler plastik deformasyona uğramaktadır. Malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksek ise mikro adhezyon alanları hızlı bir şekilde malzeme yüzeyine yayılmaktadır. Genel olarak adhezif aşınmaya maruz kalan malzemelere örnek olarak; yağlanmamış rulmanlar, silindir dış yüzeyleri, kaymalı yataklar, çelik hadde merdaneleri verilebilmektedir. Adhezif aşınma şematik olarak Şekil 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Adhezif aşınma mekanizması şematik görüntüsü [7].

2.2.2.3. Eroziyon Aşınma

Katı partikül erozyonu sıvı veya gaz akışkan içerisinde belirli bir hızda akan aşındırıcı partiküllerin malzemenin yüzeyine sürekli çarpması sonucu oluşturduğu malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Bu aşınmada etkili olan faktörler; katı partikül akışı, partikül özellikleri ve aşınmaya maruz kalan malzemenin özellikleri olarak sıralanabilmektedir. Katı partikül akışındaki en önemli özellikler; hız, çarpma açısı ve akışkanın katı konsantrasyonu olmaktadır. Katı partikül erozyonu istenmeyen bir durum olmasına rağmen sanayide kullanım alanları bulunmaktadır. İmalat sektöründe kullanılan kumlama ve su jeti ile metal kesme yöntemleri katı partikül erozyonuna örnek verilebilmektedir. Kumlama yönteminde malzemenin yüzeyinde istenmeyen maddeleri (boya, pas, malzeme kesiminden kalan kalıntılar) temizlemek amacı ile kullanılmaktadır. Su jeti ile kesimde ise belirli bir basınç ve

hızdaki suyun içerisine aşındırıcı katılarak yüzey üzerine kontrollü olarak püskürtülmesi ile malzeme kesiminde kullanılmaktadır [11].

Sıvı damlası erozyonu; yüksek hıza sahip katı malzemenin kendisinden daha düşük hıza sahip olan sıvı damlalarının çarpması sonucu meydana gelmektedir. Sıvı partiküllerin neden olduğu yağışın meydana getirdiği aşınma miktarının azaltılması için sıvı damlalarının boyutlarının küçültülmesi, daha dayanıklı bir malzeme seçimi yapılması ve katı malzemenin hareketinin engellenmesi gerekmektedir [11].

Sıvı veya gaz akışkan içerisinde taşınan katı partiküllerin hedef malzemenin iç yüzeyine çarpması ile meydana gelmektedir. Endüstriyel tesislerde genellikle pompa çarklarında ve boru hatlarında karşılaşılmaktadır. Sulu çamur erozyonunda aşınmaya etkileyen en önemli özellikler partikül sertliği, katı malzeme konsantrasyonu, partikül boyutları, partikül hızı ve çarpma açısı olarak belirtilmektedir. Bu etkenlere ilave olarak partiküllerin geometrisi, partikül yoğunluğu ve sıvı ortam içerisindeki O_2 miktarı da diğer etkili parametreler olarak bilinmektedir. Katı partiküllerin sertlik değeri ve yoğunluğunun aşınma kaynaklı malzeme kaybı ile doğru orantılı olduğu belirtilmektedir [4].

Kavitasyon; sıvı mekanikçileri ve fizikçiler tarafından, bir sıvı içerisinde kavitelerin veya kabarcıkların tekrardan büyüme ve şiddetli çarpması olarak tanımlanmaktadır. Kavitasyon erozyonu ise; sıvılardaki kabarcıklar nedeni ile malzemenin mekanik olarak bozulması anlamına gelmektedir. Kabarcıkların yüzeye ve yüzeye yakın yerlere çarparak patlaması sayesinde katı yüzeyde mekanik bir bozulma meydana gelmektedir. Bu patlamalar sıvı içerisinde oluşan ve direkt olarak malzemenin yüzeyine yönelen sıvı mikrojetlere neden olmaktadır. Sıvı mikrojetler malzeme yüzeyinde deformasyon oluşturarak malzeme kaybına sebep olmaktadır. Kavitasyon aşınması genel olarak; buhar ortamlarında çalışan pervaneler ve türbin kanatları gibi parçalarda, valf gövdelerinde ve pompa kanatlarında görülmektedir [4].

Elektro erozyon; iletken olmayan bir sıvı veya vakum altında meydana gelmektedir. Anot ve katot kutupları arasında meydana gelen akım sebebi ile katot malzemesinin yüzeyinden küçük parçacıklar halinde kopması ile meydana gelmektedir [7].

2.2.2.4. Koroziyon Aşınması

Metallik malzemelerin kimyasal bileşiklerini oluşturan alaşım elementlerinin türü ve miktarına göre yüzeyinde doğal bir oksit tabakası bulunmaktadır. Bu oksit tabakası koroziyon aşınmaya karşı direnç oluşturmaktadır. Mekanik sürtünmeler ve darbeler etkisi ile oksit tabakası ortadan kalkabilmekte ve tekrar oluşmayabilmektedir. Malzeme yüzeyinin dayanıksız olması sebebi ile meydana gelen kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda yaşanan malzeme kaybı koroziyon aşınma olarak adlandırılmaktadır.

2.2.2.5. Yorulma Aşınması

Çok sayıda tekrar eden yüklerin meydana getirmiş olduğu titreşimler sonucunda yorulma aşınması meydana gelmektedir. Bu tür yük tekrarları malzemelerin yüzey alanlarında meydana gelen çatlakların yüzeye doğru ilerlemesine sebep olmaktadır. Bu çatlakların yüzeye ulaşması ile birlikte yüzeyde malzeme ayrılmaları yaşanmaktadır. Yağlamanın kötü yapıldığı yerlerde görülebileceği gibi yağlamanın iyi yapıldığı alanlarda da bu aşınma türü ile karşılaşabilmektedir. Karıncalanma, oyuklanma, yüzey ayrılması, darbe aşınması ve yatak çiziklenmesi gibi türleri bulunmaktadır.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması bölümünde, deneysel çalışmaya yol göstermesi ve aşınma ile ilgili problemlerin doğru tespit edilmesini sağlamak amacıyla; literatürde değişik aşınma türleri araştırılarak, alınan önlem ve tedbirlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Mertgenç, electro spark deposition (ESD) ile duplex kaplanmış AISI 316L paslanmaz çeliğin mekanik davranışlarının incelenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada; AISI 316L, kutu borlama yöntemi ile borlanmış AISI 316L ve duplex kaplanmış AISI 316L paslanmaz çelik numuneleri bilye-disk sisteminde kuru sürtünme şartlarında ve oda sıcaklığında aşınma deneylerine tabi tutmuştur. Aşınma testleri, ASTM-99' a uygun olarak tasarlanan aşınma test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerinde 8 mm çapında ve ortalama 1895 HV sertliğe sahip tungsten karbür kobalt (WC-Co) bilyeler kullanılmıştır. Aşınma deneyleri, oda sıcaklığında kuru sürtünme şartında, 10 N yük, 340 devirde ve 0,3 m/s kayma hızında, 200 m mesafe boyunca gerçekleştirilmiştir. Deney öncesi ve sonrasında her bir numune ve aşındırma elemanı alkolle temizlenmiştir. Aşınma hızı, Rugosimeter marka pürüzlülük cihazından aşınma hacim miktarı belirlenerek hesaplanmıştır. Deneyler, 3 tekrarlı gerçekleştirilerek aritmetik ortalaması alınmıştır. Mertgenç, yapmış olduğu aşınma deney test sonuçlarında en fazla aşınmanın AISI 316L, en az aşınmanın ise Duplex kaplanmış AISI 316L' de meydana geldiğini gözlemlemiştir. Borlanmış AISI 316L numunesinin AISI 316L' ye göre %30 daha fazla, Duplex kaplanmış AISI 316L' ye göre %13 daha az aşınma direncine sahip olduğunu belirtmiştir [12].

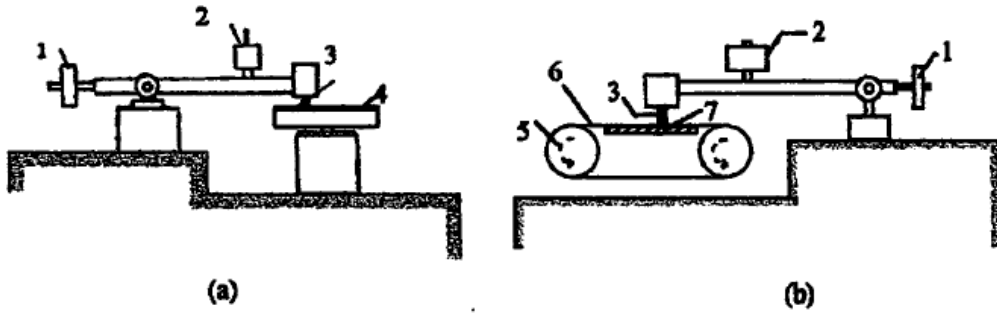
Erdem, normalleştirilmiş AISI 1060 çeliğini değişik aşındırıcı parçalar ile test ederek aşınma özelliklerini incelemiştir. Aşındırıcı olarak, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve martenzitik çelik gritler kullanmıştır. Al_2O_3 aşındırıcılar $3,96 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluk, 70

μm ortalama tanecik boyutu ve 1875 Vickers sertlikte, martenzitik çelik gritler 7,85 gr/cm^3 yoğunluk, 420 μm ortalama tanecik boyutu ve 547 Vickers sertliğe sahiptir. Eroziyon aşınma deneyi uygulamasında kum püskürtme cihazı kullanılmıştır. Kum püskürtme cihazında numune tutucu kolun açısı değiştirilerek çarpma açısı ayarlanabilmekte, hava basıncı değiştirilerek çarpma hızı değiştirilebilmektedir. 30° ve 90° çarpma açılarındaki gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda Al_2O_3 aşındırıcı parçacıkların martenzitik çelik grit aşındırıcılara göre yaklaşık 5 kat daha fazla aşınmaya neden olduğu belirtilmiştir. Al_2O_3 aşındırıcıların tanecik boyutunun, martenzitik çelik gritlere göre 6 kat küçük olmasına rağmen sertlik değerinin yaklaşık 3,5 kat yüksek olması, eroziyon aşındırmaya etkisinin çok daha fazla olduğunu belirtmiştir. 30° ve 90° lik çarpma açılarındaki deneyler her iki aşındırıcının da 30° lik çarpma açısında AISI 1060 çeliği üzerinde daha etkili aşındırma yaptığını ifade etmiştir [13].

Çelik ve arkadaşları, AISI 1030 ötektoid altı çelik deney numunelerini 900, 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat borlama işlemine tabi tutarak borür tabakanın abrazyon aşınma davranışını incelemişlerdir. Abrazyon aşınma deneyi Plint TE 53 marka aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 400 gritlik Al_2O_3 ve silisyum karbür (SiC) esaslı zımpara kağıtlarını kullanmışlardır. Cihaz üzerindeki 60 mm çapındaki metal disk üzerine zımpara kağıtları yapıştırılarak, her test için yeni zımpara kağıtları kullanılmıştır. Deney sonrasında test parçaları üzerindeki sürtünmeye bağlı ağırlık kayıpları 0,0001 g hassasiyetindeki terazi ile ölçülmüştür. Dönen diskin test parçalarına uyguladığı sabit kuvvet 42 N, diskin dönme hızı 150 d/dolarak belirlenmiştir. Abrazyon aşınma deneyi sırasında oluşan ağırlık kayıpları 500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 devir sonunda ayrı ayrı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ağırlık kayıpları aynı test parçasının değişik yüzeylerinde 3 tekrarla ağırlık ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda; Al_2O_3 aşındırıcı zımpara kağıdı kullanılarak yapılan testlerde en az aşınmanın 950 °C sıcaklıkta 6 saat borlama işlemine tabi tutulan deney numunesinde, en fazla aşınmanın ise 1050 °C sıcaklıkta 4 saat borlama işlemine tabi tutulmuş deney numunesinde olduğunu tespit etmişlerdir. SiC aşındırıcı zımpara kağıdı kullanılarak yapılan testlerde ise; en az aşınmanın 900 °C' de 4 saat borlama işlemine tabi tutulan deney numunesinde, en fazla aşınmanın ise 1050 °C' de 2 saat borlama işlemine tabi tutulan deney

numunesinde oluştuğunu belirtmişlerdir. Al_2O_3 zımpara kağıdının kullanılarak yapılan aşınma test deneylerinde; en az aşınmanın tespit edildiği borlanmış AISI 1030 deney numunesinin, kaplamasız AISI 1030 malzemeye göre 24,5 kat fazla aşınma dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. SiC zımpara kağıdı kullanılarak yapılan aşındırma deneyinde en az aşınmanın görüldüğü borlanmış AISI 1030 deney numunesi, kaplamasız AISI 1030 malzemeye göre 5,4 kat fazla aşınma dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir [14].

Çelik, küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşınma dayanımı deneylerinde disk üzerinde aşınan pim (pin on disc) düzeneği kullanılmıştır. Metal metale aşınma, şerit zımpara üzerinde aşınan pim (pin on flat) düzeneği kullanılarak, metal abrazif aşınma deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği düzenekler Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Metal-metal, b) Metal-abrazif test düzeneğinin şematik olarak gösterilişi. (1) Dengeleyici ağırlık, (2) Yük, (3) Numune, (4) Aşındırıcı disk, (5) İletici silindir, (6) Abrazif bant, (7) Çelik destek plakası [15].

Metal metale aşınma deneylerinde sabit hızla dönen bir metal disk üzerine, deney numuneleri sabit yük altında bastırılmıştır. Metal metale sürtünme deneyinde, aşındırıcı parça olarak M2 kalite takım çeliğinden üretilmiş disk kullanılmıştır. Disk kendi eksenini etrafında 0,52 m/s hızda dönerken, deney numunesinin üzerindeki kolun üzerine 40 N’ luk sabit bir yük altında bırakılmıştır. Toplamda 10000 m kayma mesafesinde deneyi tamamlamıştır. Metal metale sürtünme deneyi öncesinde numune yükseklikleri 0,01 mm hassasiyette ölçülmüş olup, numune ağırlıkları 0,1 g hassasiyetle ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Ayrıca deney esnasında her 2000 m kayma mesafesinde yükseklik ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sabit oda

sıcaklığında yapılmış olup oda rutubet oranı %41,3 ile %62,3 arasında değiştiği belirtilmiştir. Metal abrazif aşınma deneyinde ise; sabit hızla dönen şerit zımpara üzerindeki deney numunesine sabit yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Metal abrazif aşınma deneyinde 0,2 m/s sabit hızda dönen 125 µm büyüklüğünde Al₂O₃ şerit zımparalar kullanılmıştır. Metal abrazif deneyleri; oda sıcaklığında toplam kayma mesafesi 22 m, 150 °C sıcaklıkta toplam kayma mesafesi 11 m ve 250 °C sıcaklıkta toplam kayma mesafesi 5,5 m olarak gerçekleştirilmiştir. Metal abrazif deneyi öncesinde test numuneleri 0,01 mm hassasiyette yükseklik ölçümleri yapılarak 0,1 g hassasiyette ağırlıkları ölçülmüştür. Metal abrazif deneyi esnasında her 5,5 m kayma mesafesinde ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan metal metale aşınma deneyinde; nem oranının artışı ile birlikte test numunesinin üzerindeki aşınmanın da arttığı, test sonunda yapılan yükseklik kontrolleri ile tespiti yapılmıştır. Ortamdaki nemin %46,4' ten %62,3' e artışı, numune üzerindeki aşınma miktarının %14' ten %65,3 mertebesine artmasına neden olduğu belirtilmiştir. Yapılan metal abrazif aşınma deneyinde; test numunelerinin oda sıcaklığında en yüksek aşınma direncine sahip oldukları, sıcaklığın yükselmesi ile birlikte aşınma dayanımının düştüğü ifade edilmiştir [15].

Pejakovic ve arkadaşları, polietilen, poliüretan ve iki adet alaşımlı çelik numunelerin, polimer ve çelik aşındırıcılara karşı aşınma mukavemetlerini incelemişlerdir. Aşındırma cihazı olarak ASTM G65 cihazı kullanılmıştır. Polimer ve alaşımlı çelik numunelerin ölçüleri 10x25x75 mm olarak seçilmiştir. Polietilen test numunesinin sertlik değeri 60 hardness shore (HS), poliüretan-1 numunesi 72 HS, poliüretan test numunesi-2 85 HS, poliüretan test numunesi-3 92 HS olup, alaşımlı çelik numunelerinden 34CrNiMo6' nın sertlik değeri 248 hardness brinell (HB) ve 42CrMo4'ün sertlik değeri 255 HB' dir. Aşındırıcı olarak kullanılan malzeme 0,8-1,6 mm arasındaki silikon dioksit (SiO₂) olarak seçilmiştir. Aşındırma testi ASTM G65 aşındırma cihazında 50 N sabit yük altında döner disk ile gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı disk (plastik ve çelik) 200 d/d sabit hız ile dönmekte olup disk ile numune arasına 3 l/d debisinde kum gönderilmiştir. Aşındırma testi, plastik ve çelik disklerin her biri için 1,5, 3, 4,5 ve 6 saatte gerçekleştirilmiştir. Numuneler testten önce etanol ile temizlenerek durulanmıştır. Tüm test numunelerinin ağırlık ölçümleri 0,001 g hassasiyetli terazi ile yapılmıştır. Her bir deney 2 tekrarlı gerçekleştirilmiştir. 1,5 saat

süresince yapılan test çalışmasının sonucuna göre; hem plastik disk hem de çelik disk kullanılarak yapılan deneylerde en fazla aşınma gösteren test numunesinin 60 HS sertlik değerine sahip olan polietilen test numunesi olduğu belirtilmiştir. Polietilen test numunesi, çelik disk kullanılarak yapılan testte plastik diske göre %65 daha az aşınma göstermiştir. 72 HS sertlik değerine sahip olan poliüretan-1 test numunesi çelik disk kullanılarak yapılan aşınma testindeki aşınma miktarı plastik diske göre, %22 daha az olduğu belirtilmiştir. Fakat 85 HS ve 92 HS sertlik değerlerine sahip olan poliüretan test numunesi-3 ve 2'nin plastik disk kullanılan testteki aşınma miktarı çelik disk kullanılarak yapılan testteki aşınma miktarına göre %35 ve %48 daha az olduğu belirtilmiştir. Poliüretan-2 ve poliüretan-3 numuneleri 34CrNiMo6 ve 42CrMo4 numuneleri ile kıyaslandığında, plastik disk ile yapılan deneylerde poliüretan-2 numunesi, 34CrNiMo6 ve 42CrMo4 numuneleri arasında herhangi bir fark görülmemiştir. Poliüretan-3 numunesi ise en fazla aşınmaya maruz kalan numune olmuştur. Çelik disk ile yapılan deneyler sonrasında alınan sonuçlarda ise; poliüretan-2 test numunesinin alaşımlı çeliklere göre %35, poliüretan-3 test numunesinin ise %20 daha az aşındığı belirtilmiştir [16].

Üçkardeşler, çelik dökümlerdeki borlama ısıl işleminin abrazif aşınma direncine etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında; GX120Mn, AISI 8620, GS-52 ve GS-60 çeliklerinin; işlem görmemiş ve borlama ısıl işlemi uygulanmış durumları arasındaki abrazif aşınmalarını kıyaslamıştır. Borlama işlemi 1100 °C sıcaklığa kadar çıkabilen, 200x150x400 mm boyutlarındaki ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir. Borlama işlemi, Ekabor-2 ticari borlama tuzu ile birlikte ekrit tozu kullanılarak yapılmıştır. Ekrit tozunun yapısında saf demir ve oksitleyici bileşenler bulunup, borlama işleminin atmosfer şartlarından izole edilmesi için kullanılmıştır. Tüm test numuneleri 850, 900 ve 950 °C sıcaklıkta 2, 4 ve 6 saat boyunca borlama işlemine tabi tutularak havada soğumaya bırakılmıştır. Yapılan abrazif aşınma deneyi disk üzerinde pim test düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Aşındırıcı olarak 500, 800 ve 1200 mesh değerindeki Al₂O₃ zımparalar kullanılmıştır. Abrazif aşınma testleri; 10, 20 ve 30 N'luk yükler altında, 0,2 m/s kayma hızında, 175 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri deneyden önce silinerek alkol ile temizlenmiş ve 0,1 mg hassasiyetindeki terazi ile ağırlık ölçümleri yapılmıştır. 1200 mesh değerindeki aşındırıcı disk zımpara, 30 N yük altında ve 25 m kayma mesafesindeki

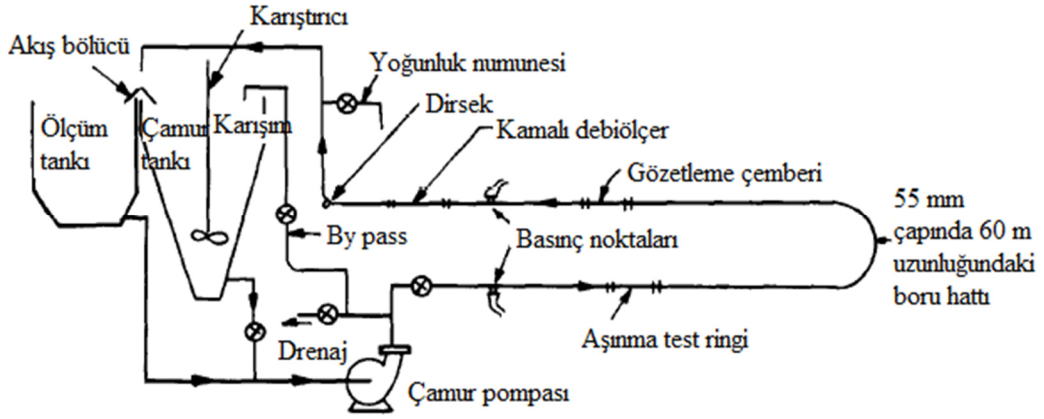
yapılan deneyler sonuçları incelenmiştir. Döküm ile elde edilen test numunelerinde; GS-60 çeliğinin, GS-52 çeliğine göre daha fazla aşınma direncine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu durumun GS-60 çeliğinin, karbon miktarına bağlı olarak sertik değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. AISI 8620 çeliğinin yapısındaki %0,5 oranında Ni ve krom (Cr) olmasına rağmen bu bileşenlerin test numunesinin sertliğini arttırmadığı görülmüş olup, dolayısı ile aşınma dayanımının GS-52 ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek aşınma dayanımına sahip olan test numunesinin GX120Mn13 olduğu, bu durumun sahip olduğu sertlik derecesi ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. 900 °C sıcaklıkta, 6 saat borlama işlemine tabi tutulan test numuneleri ile 30 N yük altında, 1200 mesh aşındırıcı disk ile 25 m kayma mesafesinde testler yapılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre en fazla aşınma sırası ile; GS-52, GS-60, AISI 8620 ve GX120Mn13 test numunelerinde gözlemlenmiştir [17].

Desale ve arkadaşları, slurry pot test düzeneği ile aşındırıcı partikül boyutlarının, aşınan malzeme üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Test numunesi olarak; AA6063 alüminyum alaşımı, aşındırıcı olarak 37,5 µm ile 655 µm arasındaki 8 değişik büyüklükteki kuartz toz parçacıklarını kullanmışlardır. Su ile kuartz parçacıklarını birleştirdiği sulu çözeltideki kuartz konsantrasyonunu %20, hızını 3 m/s seçerek testleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, aşındırıcı kuartz partikül boyutlarının artması ile birlikte AA6063 alaşımlı test numunesinin aşınma miktarının arttığını belirtmişlerdir [18].

Xinhua Lin ve arkadaşları, sıcaklığın APS (Atmosferik plazma spreyi) yöntemi ile kaplama yapılan nano-yapılı ve klasik Al₂O₃-3TiO₂ kaplamalarının tribolojik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Her iki kaplamanın, aşındırıcı silisyum nitrür kürelerine karşı tribolojik özellikleri oda sıcaklığı ile 600 °C sıcaklık aralığında incelemiştir. Test sonuçlarına göre; nano yapılı kaplamanın aşınma direncinin, klasik kaplamaya göre yüksek sıcaklıklarda daha iyi olduğunu gözlemlenmiştir [19].

Gupta ve arkadaşları, pirinç ve düşük karbonlu çeliklerin erozif aşınmaya karşı dayanımlarını incelemiştir. Yaptıkları çalışmada plot plant aşınma test cihazını kullanmışlardır. Plot plant test cihazı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Testlerde aşındırıcı

olarak pirinç ve düşük karbonlu çelik aşındırıcılar kullanılmıştır. Aşındırıcıların hızının, konsantrasyonunun ve partikül boyutunun malzeme yüzeyindeki erozif aşınmaya etkisini incelemişlerdir.



Şekil 3.2. Pilot plant test cihazının şematik görüntüsü [20].

Belirli bir konsantrasyon değeri baz alındığında, akışkan hızındaki artış ile aşınma miktarının arttığını belirtmişlerdir. Belirli bir akışkan hızı baz alındığında ise, aşındırıcı boyutlarının artması ile aşınma miktarının artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Ancak, bu artışın nispeten daha küçük olduğunu ve akışkan hızının aşınma miktarına etkisinin, akışkan derişimine göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca akışkan içerisindeki partikül boyutunun azalması ile test numunelerindeki aşınmanın azaldığını belirtmişlerdir [20].

Sezer, yapmış olduğu çalışmada 50x50 mm boyutlarındaki AA6082 T6 test numunelerinin, katı partiküller üzerindeki aşınma dayanımlarını incelemiştir. Özel olarak tasarlanan aşınma test cihazı sayesinde test numunesi ile aşındırıcıların çarpma açıları değiştirilebilmektedir. 15' er derecelik artışlar ile 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° olarak farklı açılarda ayarlanabilmektedir. Test numunelerinin püskürtme tabancası ile arasındaki mesafe 20 mm olarak belirlenmiştir. Aşındırıcı olarak; 60, 80, 120 mesh büyüklüklerinde Al_2O_3 , 60, 80, 180 mesh büyüklüklerinde garnet taşı, 100-200, 200-300, 300-400 mesh büyüklüklerinde cam küre ve 121-600 μm büyüklüğünde çelik bilyeler kullanılmıştır. Aşındırma testleri, 90° çarpma açısında ve 3 bar basınçta püskürtme işlemi ile gerçekleştirilmiştir. Birinci testte, tüm aşındırıcı numunelerin ortalama ağırlıkları 40 g olarak uygulanmış, ikinci testte ise test numuneleri belirli bir ağırlık referans değerinden bağımsız olarak aşındırıcılar

tarafından toplam 10 s aşınmaya maruz bırakılmıştır. Birinci test sonuçlarına göre; en fazla aşınma 120 mesh boyutlarında Al_2O_3 aşındırıcı kullanılan deneyde, en az aşınmanın ise 200-300 mesh boyutlarında cam küre aşındırıcılarının kullanıldığı testlerde meydana geldiği belirtilmiştir. 300-400 mesh boyutlarında cam küre aşındırıcıların kullanıldığı testlerde herhangi bir aşınma gözlemlenmemiştir. 100-200 mesh boyutlarındaki cam küre aşındırıcılarda ise; aşınmanın aksine malzemenin yüzeyine saplanan aşındırıcılar AA6082 T6 test numunesinin ağırlığını arttırdığı belirtilmiştir. İkinci testte ise tüm veriler aynı tutularak, test numunesi ortalama 10 s aşınmaya maruz bırakılmıştır. En fazla aşınma 80 mesh boyutlarında Al_2O_3 aşındırıcıların kullanıldığı testlerde meydana geldiği, en az aşınmanın 60 mesh garnet taşı aşındırıcılarının kullanıldığı testlerde meydana geldiği belirtilmiştir. Sezer, Al_2O_3 ve garnet aşındırıcılarının küçük partiküllerinin, büyük partiküllerine nazaran AA6082 T6 alaşımı aşınmasına daha fazla etkili olduğunu belirtmiştir. Garnet aşındırıcılarının küçük partikül boyutları, çarpma hızını arttırmış ve daha yüksek potansiyelli enerji ve momentum ile test numunesini aşındırdığını belirtmiştir. Al_2O_3 aşındırıcıların ise; keskin köşeli ve sert bir yapıya sahip olması, eşit süre içerisinde test numunesinin birim alanına daha küçük parçacıklar halinde çarpması sonucunda aşınmanın büyük partiküllere oranla daha fazla gerçekleştiğini belirtmiştir [21].

Warun Wongprachum ve arkadaşları, elyaf takviyeli çimento harcının sülfat aşındırması ve su altı aşınmalarına karşı etkilerini incelemişlerdir. Arıtmave su tesislerindeki gibi, suya ilave edilen kimyasalların beton zemin ve oluklarda aşınmalar meydana getirmektedir. Elyaf takviyeli çimentolar; çatlakları köprülemek, betonun tokluğunu sağlamak ve beton içerisinde bulunan çelik donatı ihtiyacını azaltmak için kullanılmaktadır. Elyaf takviyeli harçların bu tip tesislerde kullanıldığı ve iyi sonuçlar alındığı bilinmektedir. Ancak, bunun ile ilgili yazılı veya kayıt altına alınmış bir literatür kaynağı bulunmamaktadır. Düz harç karışımı ile üç tipteki elyaf takviyesi yapılmış çimento harçlarını birbirleri ile kıyaslamışlardır. Çimento harçlarını; çelik lifler, polipropilen lifler ve mikro propilen lifler ile güçlendirilmiş harçlar olarak hazırlamışlardır. Mikro polipropilen elyaf malzemesini, çelik elyaf ile polipropilen elyafı melezleştirilerek oluşturmuşlardır. Test örneklerini ASTM C1138' e göre hazırlayarak testleri gerçekleştirmişlerdir. Tüm test numunelerini %5 sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisi içerisinde bıraktıktan sonra 4 ve 8 ay süreleri

sonrasında test numunelerinin aşınma dayanımlarını incelemişlerdir. Tüm test numunelerinde ağırlık kaybı gözlemlenmiş, bekleme süresinin artması ile test numunelerindeki ağırlık kaybının arttığını belirtmişlerdir. Lifler ile güçlendirilmiş test numunelerinin aşınmaya karşı dirençleri incelenerek; en yüksek aşınma direnci %1 hacimli konsantrasyonunda polipropilen lifi ile karıştırılmış harçta olduğunu belirtmişlerdir. Düz harç karışımı ile mikro polipropilen fiber ilaveli harcın aşınma dayanımları karşılaştırıldığında, mikro polipropilen fiber ilaveli harcın aşınma dayanımına katkısının yok denecek kadar az olduğunu belirtmişlerdir [22].

Teressia ve arkadaşları, aşındırıcı tane boyutu ve sulu çözeltinin pH (sertliğinin) değerinin, martenzitik H-13 çeliği ve östenitik Hadfield çeliğinin aşınma direnci üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, aşınma deneylerini ıslak kauçuk test cihazı kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Kauçuk diskin dönerek deney numunesini aşındırdığı çalışmada, aşındırıcı taneciklerinin boyutlarını 0,15 ile 2,4 mm aralığında seçmişlerdir. Sulu çözelti pH değerini ise 5,5 ile 12,8 arasında değişik değerlerde kullanmışlardır. Aşındırma deneyi sonrasında numunelerin mikro yapılarını optik ve taramalı elektron mikroskobu ile analiz etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre; östenitik Hadfield çeliğinin aşınma dayanımının, tüm aşındırıcı boyutları ve pH değerlerinde martenzitik H-13 çeliğine göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Deneylerde kullanılan aşındırıcı tane boyutunun artması ile östenitik Hadfield ve martenzitik H-13 çeliklerinin mikro sertliklerinin arttığını gözlemlenmiştir. Fakat martenzitik H-13 çeliğinin mikro sertliğindeki artışın, östenitik Hadfield çeliğindeki artıştan daha az olduğunu belirtmişlerdir. Böylece östenitik Hadfield çeliğinin işleme sertliğinin, martenzitik H-13 çeliğine göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Düşük asidik çözeltilerin kullanıldığı deneylerde, her iki numunedeki kütle kaybının minimum değerinde olduğu ve tüm aşındırıcı tanecik boyutlarında aynı sonuca ulaşıldığı belirtilmiştir [23].

Budak, mermer kesmede kullanılan toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş kesici takımların, kimyasal matris kompozisyonlarındaki yüzde oranlarının aşınma performansına etkilerini incelemiştir. Kesici takım alaşımlarında %99,9 saflıkta ve tanecik boyutu 1,1 ile 200 µm arasında değişen Fe, bakır (Cu), kalay (Sn) ve kobalt (Co) tozlarını kullanmıştır. Toz metalürjisi yöntemi ile 4 adet kesici takım numunesi

elde edilmiş olup bu numunelerdeki alaşım elementlerinin % ağırlıklarını; N1 numunesi için %78 Fe, %20 Cu, %2 Sn, N2 numunesi %68 Fe, %20 Cu, %2 Sn, %10 Co, N3 numunesi %63 Fe, %20 Cu, %2 Sn, %15 Co ve N4 numunesi için %58 Fe, %20 Cu, %2 Sn, %20 Co olarak belirlemiştir. Budak, yapmış olduğu aşınma deneyinde pin-on-disk aşınma test cihazını kullanmıştır. Aşındırma test işlemlerini 90 mm çapında, 90 d/d açılmal hızda dönen, 220 mesh tanecik boyutlu SiC aşındırıcı disk ile; 10 N, 20 N ve 30 N'luk sabit yükler altında gerçekleştirmiştir. Aşınma deneyleri, 25 m, 50 m ve 75 m yol alma mesafelerinde gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler deney öncesi ve sonrasında 0,0001 g hassasiyetindeki Precisa marka, XB 220 A model terazi ile tartılmıştır. 10 N'luk sabit yük altında, 25 m, 50 m ve 75 m yol alma mesafelerindeki deney sonuçlarına göre; Fe tozuna ilave edilen diğer element miktarları arttıkça aşınma miktarında artış görülmüştür. Aşınma deneyleri sonucuna göre; tüm yol alma mesafelerinde en az aşınmanın N1 numunesinde, en fazla aşınmanın ise N4 numunesinde olduğunu belirtmiştir. Bu durumu, deney numunelerindeki aşınmanın, artan Co miktarına bağlı olarak artarak deney numunelerinde ağırlık kaybına neden olduğunu belirtilmiştir [24].

Büyükdoğan, yaşlandırılmış Al-Mg-Si alaşımının aşınma davranışlarını araştırmıştır. Yapmış olduğu çalışmada, 6 mm çap ve 15 mm uzunluğundaki T6 ısıl işlemi uygulanmış AA6063 alaşımlı numuneleri kullanmıştır. Deney numunelerini, herhangi bir işlem uygulanmamış AA6063 alaşımı, solüsyona alınan AA6063 alaşımı, solüsyona alındıktan sonra 180 °C sıcaklıkta 1, 5, 24 ve 72 saat yaşlandırılan AA6063 alaşımı ile solüsyona alındıktan sonra %6 ön deformasyona uğratarak 180 °C sıcaklıkta 1, 5, 24 ve 72 saat yaşlandırılan AA6063 alaşımlarını aşınma deneylerine tabi tutmuştur. Solüsyona alma işlemi 530 °C sıcaklıkta PROTHERM marka ve PLF120/27 model cihaz ile, 5 saat ısıl işleme tabi tutulduktan sonra suda soğutularak yapılmıştır. Solüsyona alındıktan sonra ön deformasyona uğratan malzemeler, SHIMADZU AG-IS marka, 50 kN çekme kapasiteli, 2 mm/d çekme hızında %6 ön deformasyona uğratılmıştır. Solüsyona alınan ve solüsyona alındıktan sonra %6 ön deformasyona uğratan deney numuneleri 180 °C sıcaklıkta 1, 5, 24 ve 72 saat sürelerde ısıl işlem fırınında bekletildikten sonra soğumaya bırakılmıştır. Aşınma deneyi, 1 m/s dönme hızında, toplam 1000 m yol alma mesafesinde ve 20 kN yükte standart pin-on-disk deney ünitesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşlem

uygulanmamış AA6063 alaşımlı deney numunesi ve solüsyona alınan deney numunelerinin deneyinde; AA6063 alaşımlı numunenin 0,0019 g, solüsyona alınan numunenin 0,0024 g ağırlık kaybına uğradığını belirtmiştir. Solüsyona alındıktan sonra 180 °C’de 1, 5, 24 ve 72 saat yaşlandırılan numuneler aşınma deneyine tabi tutulduğunda, 1 saat yaşlandırılan numunenin 0,0023 g, 5 saat yaşlandırılan numunenin 0,0022 g, 24 saat yaşlandırılan numunenin 0,0019 g ve 72 saat yaşlandırılan numunenin 0,0031 g ağırlık kaybına uğradığını belirtmiştir. Solüsyona alınıp %6 ön deformasyon verilerek 180 °C sıcaklıkta 1, 5, 24 ve 72 saat yaşlandırılan deney numuneleri üzerinde yapılan aşınma deneyinde ise 1 saat yaşlandırılan numunenin 0,0021 g, 5 saat yaşlandırılan numunenin 0,0020 g, 24 saat yaşlandırılan numunenin 0,0018 g ve 72 saat yaşlandırılan numunenin 0,0024 g ağırlık kaybına uğradığını belirtmiştir. Yapılan deneyler sonrasında aynı sürede solüsyona alındıktan sonra ön deformasyona uğratılmayan numunelerin, solüsyona alındıktan sonra %6 ön deformasyona uğratılan numunelere göre her yaşlandırma zaman değerlerinde daha fazla aşınmaya uğradığını belirtmiştir [25].

Çetinkaya, kumlama makinelerinde kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demirden imal edilmiş paletlerin, Al_2O_3 aşındırıcıları karşısındaki aşınma davranışlarını incelemiştir. Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı olan 6 mm çapındaki 5 adet test numunesini pin-on-disc cihazında aşındırma deneyine tabi tutmuştur. Deneyleri 200 d/d sabit hız, 80 gritlik Al_2O_3 zımpara kağıdı, 10-20-40 N’ luk yük ve 60-90-120 m’ lik yol alma mesafelerinde gerçekleştirmiştir. Tüm numunelerin deney sonrasındaki ağırlık kayıplarını 0,0001 g hassaslıktaki terazi ile ölçmüştür. Deneylerde kullanılan test numunelerinin kimyasal bileşimleri;

Numune-1: %2,711 C, %8,824 Cr, %0,440 Mo, Numune-2: %2,941 C, %16,656 Cr, %1,204 Mo, Numune-3: %3,339 C, %18,338 Cr, %1,459 Mo, Numune-4: %3,380 C, %18,487 Cr, %1,473 Mo ve Numune-5: %3,300 C, %15,084 Cr, %2,522 Mo dır.

Tüm deney sonuçlarına göre; aşınma dayanımı en fazla olan numunelerin 4. ve 5. numuneler, en az aşınma dayanımına sahip olan numunenin ise 2. numune olduğunu belirtmiştir. Aşınma dayanımında Cr/C oranının büyük etkisi olduğunu, en yüksek Cr/C değerine sahip 2. numunenin en fazla aşınmaya uğradığını belirtmiştir [26].

Uzun, borlama ile yüzeyi sertleştirilen çeliklerin, aşınma ve korozyona karşı dirençlerini incelemiştir. Çalışmada, borlanmış Ç1040 çeliği ve borlanmamış Ç1040 çeliğini pin-on-disc (ASGTM G99-90) deney cihazında gerçekleştirmiştir. Aşındırıcı olarak 800 mesh'lik SiC zımpara kağıtlarını kullanmıştır. Aşındırma işlemleri 30 N yük, 250 d/d hız ve 2 d'lık periyotlarla; 20 mm çap ve 300 mm boyutlarındaki deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerindeki ağırlık kayıpları 0,1 mg hassasiyetindeki terazi ile ölçmüştür. Borlama işlemini 1000 °C' de 5 saat süresince gerçekleştirmiş olup bor kaynağı olarak Na₂B₄O₇ (Boraks) kullanılmıştır. Uzun, iki dakikalık aralıklar ile 8 tekrarlı yaptığı deneyler sonucunda; 1000 °C'de 5 saat süre ile borlanmış Ç1040 deney numunesinin, borlanmamış Ç1040 deney numunesine göre 6 kat daha fazla aşınmaya karşı dirençli olduğunu belirtmiştir [27].

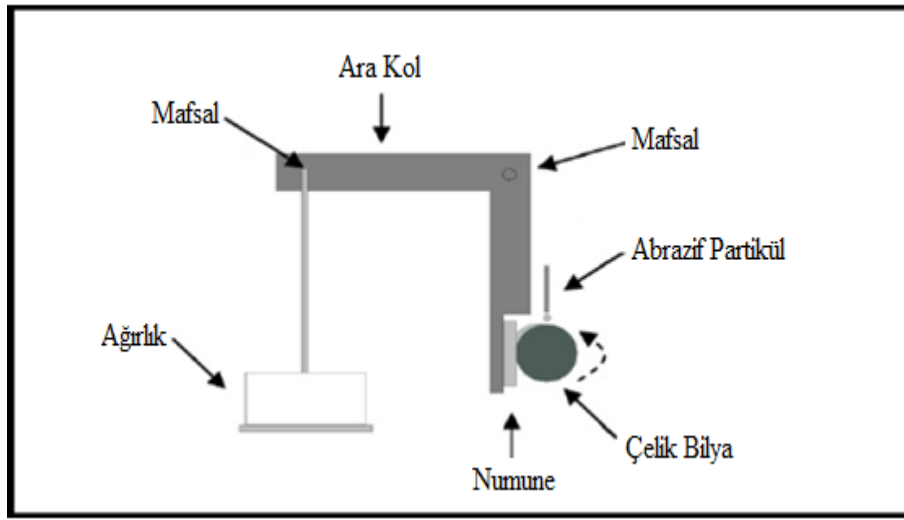
Tabur, AISI 8620 ve HARDOX 400 çeliklerinin abrazif aşınma davranışlarını incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmasında,değişik sürelerde borlama işlemine tabi tutulmuş deney numuneleri ile borlama işlemine tabi tutulmayan deney numunelerini kullanmıştır. Deney numunelerinin;aşınma dayanımlarını, aşındırıcı tanecik boyutunun deney numuneleri üzerindeki aşınma miktarına etkisini ve borlama süresinin aşınma dayanıma etkisini araştırmıştır. Aşınma deneylerini pin-on-disc aşındırma deney cihazında gerçekleştirmiştir. 10-20-30 N' luk sabit yük, 80 ve 120 mesh' lik Al₂O₃ aşındırıcı zımparalar, 0,2 m/s kayma hızı ve 20 m toplam kayma mesafesinde gerçekleştirmiştir. İlk olarak borlanmamış HARDOX 400 ve AISI 8620 çeliklerinin aşındırma deneyini yaparak, en fazla aşınmanın 30 N' luk yükler altında ve 80 mesh değerindeki aşındırıcı zımparaların kullanıldığı deneylerde olduğunu belirtmiştir. Artan yükün ve aşındırıcı tane boyutunun büyümesi, deney numunelerindeki aşınma miktarlarını arttırdığını belirtmiştir. Borlanmamış AISI 8620 çeliğinin, borlanmamış HARDOX 400 çeliğine göre ortalama 2 kat fazla aşındığını belirtmiştir. İkinci deneyinde ise 850 °C' de 2, 4 ve 6 saat sürelerinde borlama işlemine tabi tutulan AISI8620 ve HARDOX400 deney numunelerini kullanmıştır. 10-20-30 N' luk yükler altında 80 ve 120 mesh aşındırıcı zımparalar ile aşındırma deneyini gerçekleştirerek, en fazla aşınmanın 30 N' luk yükler altında, 80 mesh aşındırıcı zımparalar ile ve ikişer saat borlama işlemi uygulanmış AISI 8620 ve HARDOX 400 deney numunelerinde oluştuğunu belirtmiştir. Artan tanecik boyutu ve azalan borlama süresinin deney numunelerinin aşınma miktarlarını arttırdığını

belirtmiştir. 2 saat borlama işlemine tabi tutulan AISI 8620 çeliğinin, 2 saat borlama işlemine tabi tutulan HARDOX 400 çeliğinden %25 daha fazla aşındığını belirtmiştir. Üçüncü deneyinde ise 950 °C’ de 2, 4 ve 6 saat sürelerinde borlama işlemine tabi tutulan AISI 8620 ve HARDOX 400 deney numunelerini kullanmıştır. 10-20-30 N’ luk yükler altında 80 ve 120 mesh aşındırıcı zımparalar ile aşındırma deneyini gerçekleştirmiştir. En fazla aşınmanın 30 N’ luk yükler altında, 80 mesh aşındırıcı zımparalarla ve ikişer saat borlama işlemi uygulanmış AISI 8620 ve HARDOX 400 deney numunelerinde oluştuğunu belirtmiştir. 3. deney verilerini 2. deney verileri ile kıyasladığında; 950 °C’ de borlama işlemine tabi tutulan deney numunelerindeki borlama sıcaklığının artmasının aşınma miktarını arttırdığını belirtmiştir. Yükselen borlama sıcaklığının, aşınma dayanımını olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir [28].

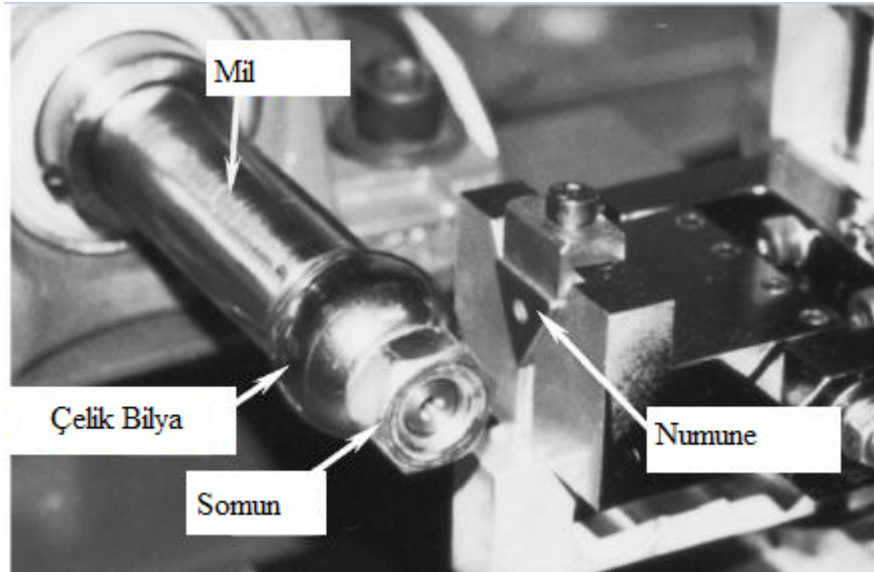
Bilici, alaşımsız dökme demirlerin aşınma dayanımlarını incelemiştir. Çalışmasında, GGG25 ve GG20 numunelerine pin-on-disc düzeneği ile aşındırma testi uygulamıştır. Metal metale aşınma deneyleri için 3 mm çapında ve 30 mm boyunda deney numuneleri hazırlamıştır. Deneylerde; aşındırıcı disk olarak AISI D2 soğuk takım çeliği kullanılmıştır. 30 N’ luk yük, 112 d/d hız, 5000 m ve 10000 m toplam kayma mesafelerinde gerçekleştirmiş olduğu aşınma deneylerinde, numunelerin ağırlık kaybını 0,00001 g hassasiyetindeki terazi ile ölçmüştür. 5000 m toplam kayma mesafesinde gerçekleştirdiği deneyler sonucunda GGG25 numunesinin 0,067 g, GG20 numunesinin 0,129 g ağırlık kaybının olduğunu belirtmiştir. 10000 m toplam kayma mesafesinde GGG25 numunesinin 0,120 g, GG20 numunesinin 0,189 g ağırlık kaybının olduğunu belirtmiştir. GGG25 deney numunesinin iç yapısında bulunan Si elementinin grafitlerin kısmi olarak daha küresel olmasını sağladığını ve bu etkenin aşınma dayanımını olumlu yönde arttırdığını belirtmiştir. GG20 numunesinin sertlik değerinin düşük olması ve iç yapısındaki grafit lamellerin daha kaba olması bu numunenin aşınma dayanımının düşük olmasına neden olduğunu belirtmiştir [29].

Temir, farklı bileşime sahip kesici takımların mikro aşınma davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında, tungsten karbür (WC) kesici takım, fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi ile yüzeyi titanyum alüminyum nitrür (TiAlN) kaplanan

WC kesici takım, PVD yöntemi ile yüzeyi titanyum nitrür (TiN) kaplanan WC kesici takım ve saf Al_2O_3 takımlarını kullanmıştır. 800 mesh' lik aşındırıcı SiC tozlar kullanarak aşındırma deneylerini gerçekleştirmiştir. 25,4 mm çapındaki AISI 52100 malzemedен imal edilmiş çelik bilyayı torna tezgahının aynası ile gezer puntası arasına sabitlemiştir. Deney numuneleri ile çelik bilya arasına püskürttüğü SiC tozlarını kullanarak mikro-abrazyon aşınma deneylerini gerçekleştirmiştir. Kullanmış olduğu aşındırma deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 3.3'te, fotoğraf görüntüsü ise Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Mikro abrazyon deney düzeneğinin şematik görüntüsü [30].



Şekil 3.4. Mikro abrazyon deney düzeneğinin fotoğraf görüntüsü [30].

Deneyleeri iki farklı yük (1 N ve 2 N), üç farklı devir hızı (40 d/d, 80 d/d ve 160 d/d) ve %25 SiC - %75 damıtık su olarak hazırlanan çözeltili ile gerçekleştirmiştir. Her 20 saniyede 2 d boyunca, AISI 52100 çelik bilyann üzerine çözeltiliyi damlatarak gerçekleştirmiştir.

Kaplamasız WC kesici takımlar ile yapılan deneylerde en az aşınmanın; 0,008285289 mm³ hacim kaybı ile 40 d/d devir hızı ve 1 N' luk yük altında gerçekleştiğini belirtmiştir. En fazla aşınmanın ise; 0,071653694 mm³ hacim kaybı ile 160 d/d devir hızı ve 2 N' luk yük altında gerçekleştiğini belirtmiştir. Artan devir hızı ve uygulanan kuvvetin aşınma miktarı ile doğru orantılı olduğunu belirtmiştir. PVD yöntemi ile TiAlN kaplanan aşındırıcı uçlar ile yapılan deneylerde en az aşınmanın; 0,003865148 mm³ hacim kaybı ile 40 d/d devir hızı ve 1 N' luk yük altında gerçekleştiğini belirtmiştir. En fazla aşınmanın 0,070965548 mm³ hacim kaybı ile 160 d/d devir hızı ve 2 N' luk yük altında gerçekleştiğini belirtmiştir. Temir, test numunelerindeki aşınma miktarının kaplamasız WC takımlar ile kıyaslandığında nispeten daha az olduğunu, bunun sebebinin TiAlN kaplamanın sertlik değerinin yüksek olması ve sürtünme katsayısının düşük olmasına bağlamıştır. PVD yöntemi ile TiN kaplanan aşındırıcı takımlar ile yapılan deneylerde en az aşınmanın; 0,002592749 mm³ hacim kaybı ile 40 d/d devir hızı ve 1 N' luk yük altında gerçekleştiğini belirtmiştir. En fazla aşınmanın ise; 0,026621115 mm³ hacim kaybı ile 160 d/d devir hızı ve 2 N' luk yük altında gerçekleştiğini belirtmiştir. Sertlik değeri daha düşük olan TiN kaplamasının, TiAlN kaplamasından daha az aşınması daha önce karşılaşılan bir sonuç olmadığını ve bunun sebebinin TiN kaplamasının kalınlığının TiAlN kaplamasına kıyasla daha kalın olmasına bağlamıştır [30].

Brozek, çeşitli ağaç parçalarının aşınma dirençlerini incelemiştir. Çalışmasında, elma, kavak, kayın, gürgen, at kestanesi, londra çınarı, maun, ak köknar, vişne ve kiraz ağaçlarından elde ettiği 10 mm çap ve 70 mm boyundaki numuneleri kullanmıştır. Pin-on-disc deney cihazında aşındırma deneyleri uygulamıştır. Aşındırıcı olarak 44,5 µm, 115,5 µm ve 275 µm tanecik büyüklüklerindeki kumaş parçası kullanmıştır. Aşındırma deneyleri 0,1 MPa sabit yükte gerçekleştirilmiş olup tüm deney numunelerinin ağırlıkları 0,0001 g hassasiyetli terazi ile ölçülmüştür. 44,5 µm aşındırıcı ile gerçekleştirdiği deneylerde en fazla ağırlık kaybının; at kestanesi

ağacı numunesinde (0,27 g) gerçekleştiğini belirtmiştir. En az ağırlık kaybının ise; maun ağacı numunesinde (0,12 g) olduğunu ve ağırlık kayıpları oranını 0,44 olduğunu tespit etmiştir. 115,5 µm tanecik boyutlu aşındırıcı ile yapılan deneylerde en fazla ağırlık kaybının; at kestanesi ağacı numunesinde (0,44 g) gerçekleştiğini belirtmiştir. En az ağırlık kaybının ise; maun ağacı numunesinde (0,16 g) olduğunu ve ağırlık kayıpları oranını 0,36 olarak elde etmiştir. 275 µm tanecik büyüklüğündeki deneylerde en fazla ağırlık kaybının; at kestanesi ağacı numunesinde (0,39 g) gerçekleştiğini belirtmiştir. En az ağırlık kaybının ise; maun ağacı numunesinde (0,13 g) olduğunu ve ağırlık kayıpları oranını 0,34 olarak tespit etmiştir. Yaptığı deneylerde aşındırıcı parçacık boyutunun artması, en az ve en fazla ağırlık kaybına uğrayan deney numunelerinin birbirine olan ağırlık kaybı oranını düşürdüğünü belirtmiştir. Brozek, 44,5 µm ve 115,5 µm tanecik boyutlu aşındırıcıları kullandığı deneyleri kıyasladığında, tüm numunelerin ağırlık kayıplarında artış olduğunu belirtmiştir. 115,5 µm ve 275 µm tanecik boyutlu aşındırıcıları kullandığı deney sonuçlarını kıyasladığında ise; sadece gürgen, kiraz, vişne ve londra çınarı numunelerinin ağırlık kayıplarının arttığını, diğer tüm deney numunelerinin ağırlık kayıplarının azaldığını belirtmiştir [31].

Adamiak ve arkadaşları, krom alaşımlı dökme demir, HARDOX 400 ve ABRADUR 64 elektrot dolgusu ile aşınma dayanımı güçlendirilmiş S335JR malzemelerinin aşınma dayanımlarını incelemişlerdir. Kauçuk disk kullanarak yapmış oldukları %0,5 kuruluk değerine sahip 212 µm büyüklüğündeki Ottawa kumunu, 300 – 400 g/d debisinde aşındırıcı olarak kullanmışlardır. Araştırmacılar, deneyleri 130 N' luk kuvvet altında, 200 d/d devir hızında, 229 mm çapında kauçuk disk ile toplam 6000 devirde tamamlamışlardır. Tüm deneyleri her numune için 2 tekrarlı olarak gerçekleştirmişlerdir. Krom alaşımlı deney numunelerinin ortalama ağırlık kayıplarını 0,11635 g, ABRADUR 64 elektrot dolgusu ile kaplanmış S355JR numunelerinin ortalama ağırlık kayıplarını 0,19825 g ve HARDOX 400 numunelerinin ortalama ağırlık kayıplarını 1,06910 g olarak elde etmişlerdir. Adamiak ve arkadaşları yaptıkları deneyler sonucunda, krom alaşımlı dökme demirin aşınma dayanımının; HARDOX 400' e göre yaklaşık 9 kat, ABRADUR 64 ile kaplanmış S335JR deney numunesine göre yaklaşık 2 kat fazla olduğunu belirtmişlerdir [32].

3.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASININ GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda sistemin bir parçası olarak çalışan hareketli veya sabit elemanların çalışma süresi boyunca çeşitli aşındırıcılara ve dolayısı ile aşınma türlerine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Oluşan aşınmaların, sistem elemanlarının çalışma ömürlerine negatif etkisinin olduğunu ve bu etkilerin sistem elemanları üzerinde çeşitli uygulamalar yapılarak kayda değer oranlarda iyileşme gösterdiği görülmüştür. Bu uygulamalar; ısıl işlem, sertlik derecesi ve aşınma direnci yüksek malzeme seçimi ile yüzey kaplama işlemleri olarak gözlemlenmiştir. İyileştirme işlemleri arasında özellikle yüzey kaplama yönteminin yaygın olarak uygulandığı görülmüştür. Yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kolaylığı, yüksek verim ve düşük maliyet ile gerçekleştirilebilmelerisebebi ile yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

Kardemir A.Ş çelik üretim tesisi BOF ile sıvı çelik üretim prosesinde kullanılan flux şutun belli bölgeleri malzeme nakil işlemi sırasında yüksek sertlik değeri ve aşındırma kabiliyetine sahip malzemeler tarafından aşınmaya maruz bırakılmaktadır. Bu çalışma ile flux şutun aşınmaya maruz kalan bölgesi Thermanit 14 K Si kaynak dolgusu ile kaplanarak aşınmaya karşı dayanımının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 4

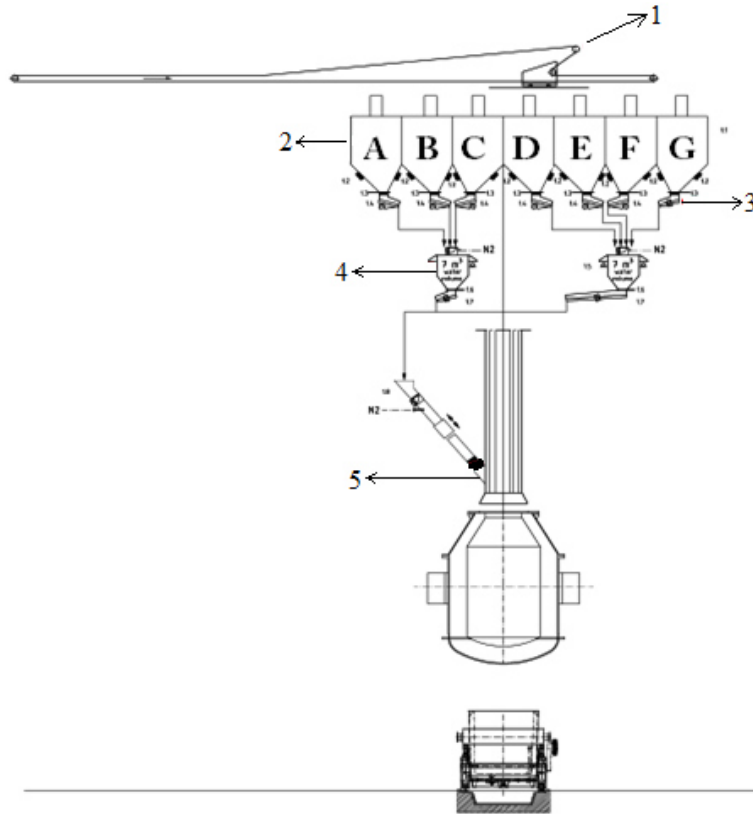
MATERYAL VE METOD

4.1. GİRİŞ

Malzeme aktarımında kullanılan şutlar endüstriyel tesislerin büyük çoğunluğunda (maden tesislerinde, çimento fabrikalarında, hayvancılık sektöründe, enerji santrallerinde ve demir-çelik sektöründe) kullanılmaktadır. Genel olarak malzeme nakil hatlarında kullanılan şutlar, sürtünmelerden kaynaklı aşınmalardan dolayı yapılarında meydana gelen incelmeler, delinmeler vb. hasarlar nedeniyle görevini yapamaz hale gelirler. Şutların delinmesi veya hasar alması malzeme aktarım prosesinin çalışmamasına ve işletmenin duruşa geçerek üretim kayıpları yaşamasına neden olmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar ve bakım onarım birimleri tarafından üretim duruşlarını en az seviyeye indirmek, işçilik ve bakım maliyetleri ile yedek parça maliyetlerini düşürmek ve üretimdeki verimi arttırmak için malzeme taşıma sistemlerinde kullanılan şutların aşındırıcılar (abrazif ve korozif) karşısında aşınma dirençlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Kardemir A.Ş çelik üretim tesisinde BOF içerisine yaklaşık 30-32 ton hurda malzeme ve üzerine 100 ton sıvı ham demir şarj edilmesinden sonra lans vasıtası ile BOF içerisine saf oksijen üflenerek ve ilave katkı malzemeler eklenmesi sonucu 10-12 ton cüruf ve 120 ton sıvı çelik üretimi gerçekleştirilmektedir. Katkı malzemeleri genel olarak CaO, FeSi, pelet cevher, antrasit, $CaMg(CO_3)_2$, ve kok kömürü şeklindedir. BOF sisteminde bu katkı malzemeleri genel olarak flux malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Bu sebep ile flux malzemelerin BOF içerisine aktarıldığı şut flux şut olarak adlandırılmaktadır. Çelik üretimi için gerekli olan katkı malzemelerinin sevk işlemi sırasında katkı malzemeleri flux şut içerisinden geçmektedir. Katkı malzemeleri flux şutun içerisinden geçerken zamanla flux şutun taban ve kısmi olarak yanal yüzeylerini aşındırmaktadır. Bu durum, zamanla flux şutu görev yapamaz hale getirmektedir. Flux şutun aşınması ile birlikte içerisinde dolaşan kapalı çevrim soğutma suyu

dışarıya çıkarak BOF içerisine akmaktadır. BOF içerisine akan su, sıvı çelik üretimi sırasında istenmeyen bir durumdur. Bu çalışmada, Kardemir A.Ş çelik üretim tesisinde BOF ile sıvı çelik üretimi yapabilmek için üretim hattı içerisinde önemli bir yere sahip malzeme besleme sistemi aktarım noktası olan flux şutun maruz kaldığı aşınan bölgelerin iyileştirilmesinin sağlanması için flux şut üzerindeki aşınan bölgelerin kaynak dolgusu ile kaplanması, kaynak yöntemi, ilave tel malzemesi seçiminin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Kardemir A.Ş çelik üretim tesisinde bulunan BOFsistemine ait malzeme besleme ünitesi 5 önemli ekipmandan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Şekil 4.1’de 1 numara ile gösterilen tripper arabası, yer altı bunkerlerine dökülen katkı besleme malzemelerinin konveyör bantlar yardımı ile 7 adet flux silosuna aktarılma işlemini sağlamaktadır. Tripper arabası taşınan malzemenin hangi bunkerlere boşaltılacağını motor sürücüsü üzerinden aldığı mesafe verileri yardımı ile aktarım işlemini gerçekleştirmektedir.

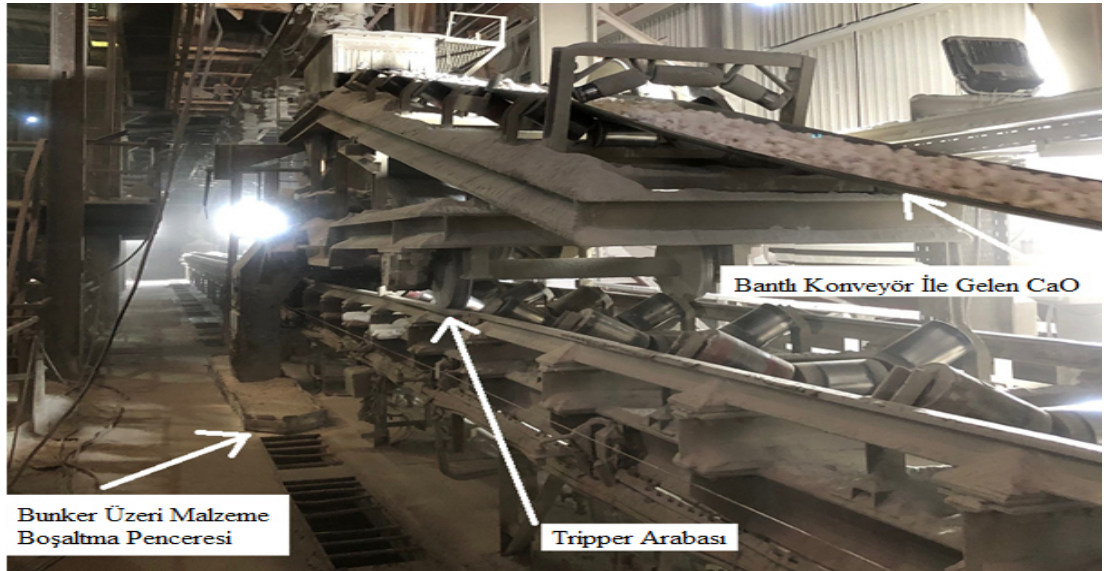


Şekil 4.1. Kardemir A.Ş BOF bunkerlerle malzeme besleme sistemi genel görüntüsü.

Tripper arabası vasıtası ile bunkerlere doldurulan katkı malzemelerinin çelik üretim prosesi içerisine nakil güzergahlarının fotoğraf görüntüsü Şekil 4.2’de, tripper arabasının bunkerler üzerindeki malzeme boşaltma anı görüntüsü ise Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



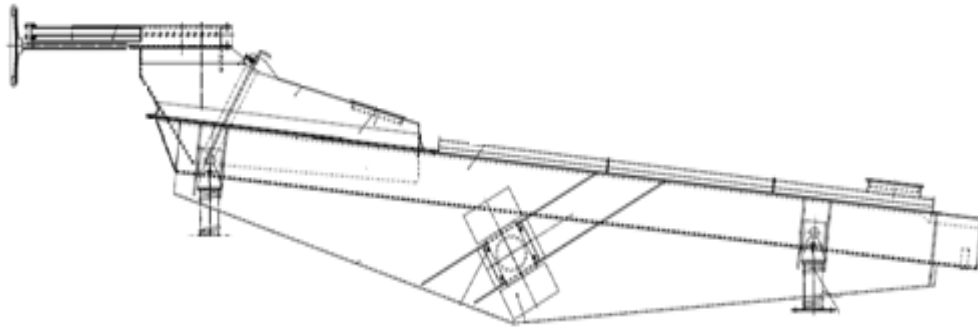
Şekil 4.2. Kardemir A.Ş. BOF katkı malzemelerinin çelik üretim tesisi içerisine nakil güzergahı görüntüsü.



Şekil 4.3. Kardemir A.Ş. BOF için tripper arabasının bunker üzerinde malzeme boşaltım anı görüntüsü.

BOF malzeme besleme ünitesinde 2 numara ile gösterilen 7 adet flux bunkerinden A ve C 50 m³, B, F ve G 30 m³, D ve E ise 80 m³ malzeme alma kapasitesine sahiptir. BOF içerisine aktarılan katkı malzemeleri ara stok olarak bu bunkerler içerisinde depolanmaktadır. D ve E bunkerlerine CaO, A bunkerine (CaMg(CO₃)₂), B bunkerine FeSi, C bunkerine pelet cevher, F bunkerine antrasit, G bunkerine ise kok kömürü depolanmaktadır.

BOF malzeme besleme ünitesinde 3 numara ile gösterilen manyetik vibratörlü besleyicilerdir. IFE marka LM 656 T model olan ve 380 V 50 Hz elektrik enerjisi ile çalışan manyetik vibratörlü besleyiciler, flux bunkerlerindeki katkı malzemelerinin tartım bunkerlerine iletilmesini sağlamaktadır. Malzeme aktarımı esnasında toz çıkmasını önlemek için boşaltım noktalarındaki ek yerleri kauçuk bant ile sarılmaktadır. Malzeme aktarımı esnasında yüksek frekansta titreşimler meydana gelmektedir. Bu nedenle, manyetik vibratörlü besleyiciler alt kısımlarından zemine yay sistemi ile bağlanmakta ve titreşimin çelik konstrüksiyona aktarılması engellenmektedir. Elektromanyetik besleyicilerin proje görüntüsü Şekil 4.4'te, fotoğraf görüntüsü ise Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bunkerlerin altında bulunan besleyicilerin kapasiteleri; A: 15 t/h, B: 30 t/h, C: 60 t/h, D: 60 t/h, E: 30 t/h, F: 45 t/h, G: 130 t/h şeklindedir.

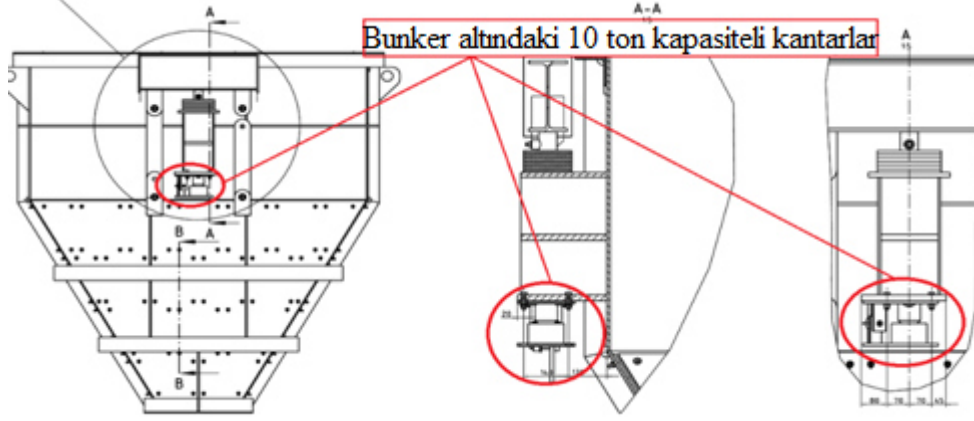


Şekil 4.4. Kardemir A.Ş BOF elektromanyetik besleyicinin proje görüntüsü.

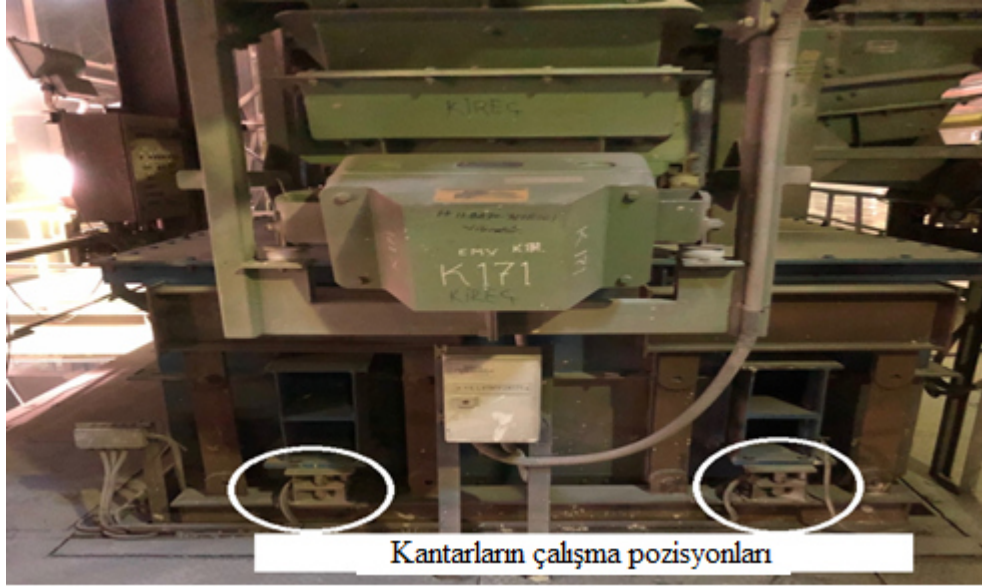


Şekil 4.5. Kardemir A.Ş BOF elektromanyetik besleyicinin görüntüsü.

BOF malzeme besleme ünitesinde 4 numara ile gösterilen tartım kantarlarıdır. Tartım bunkerlerinin altında 3 adet kantar bulunmaktadır. Kantarlar SCHENCK PROCESS marka RTN 10t 0.05 model 10 ton tartım kapasitesinde ve %0,05 hata payı ile çalışmaktadır. Operatör odasından girilen set değerine göre katkı malzemelerinden kaç kilogram ihtiyaç varsa tartım bunkerlerinin alt kısmında bulunan kantarlar vasıtası ile ihtiyaç duyulan katkı besleme malzemesinin ağırlık ölçümü yapılarak malzeme miktarı belirlenmektedir. 7 m³ kapasiteli tartım bunkerlerinin altında bulunan kantarların proje görüntüsü Şekil 4.6'da, fotoğraf görüntüsü ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



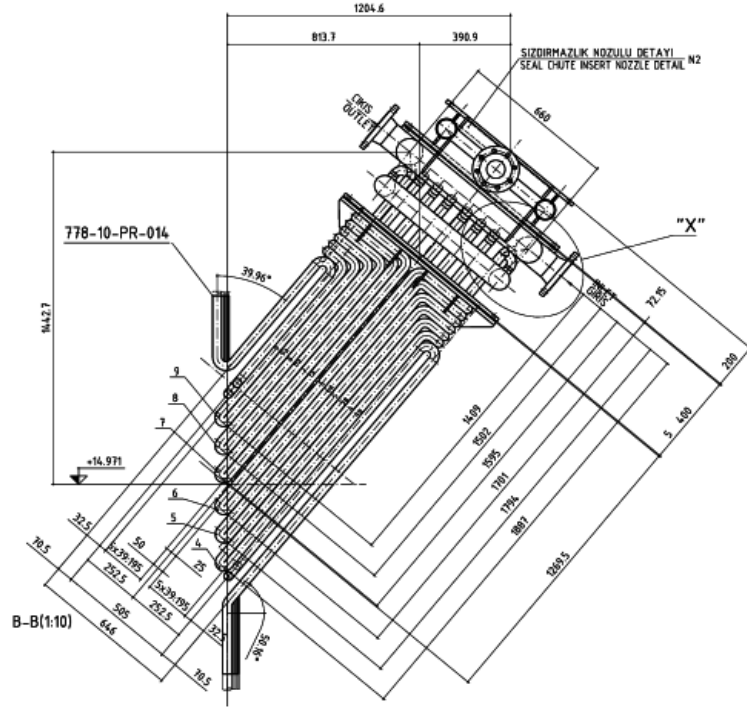
Şekil 4.6. Kardemir A.Ş BOF tartım bunkerlerinin altında bulunan kantarların proje görünüşü.



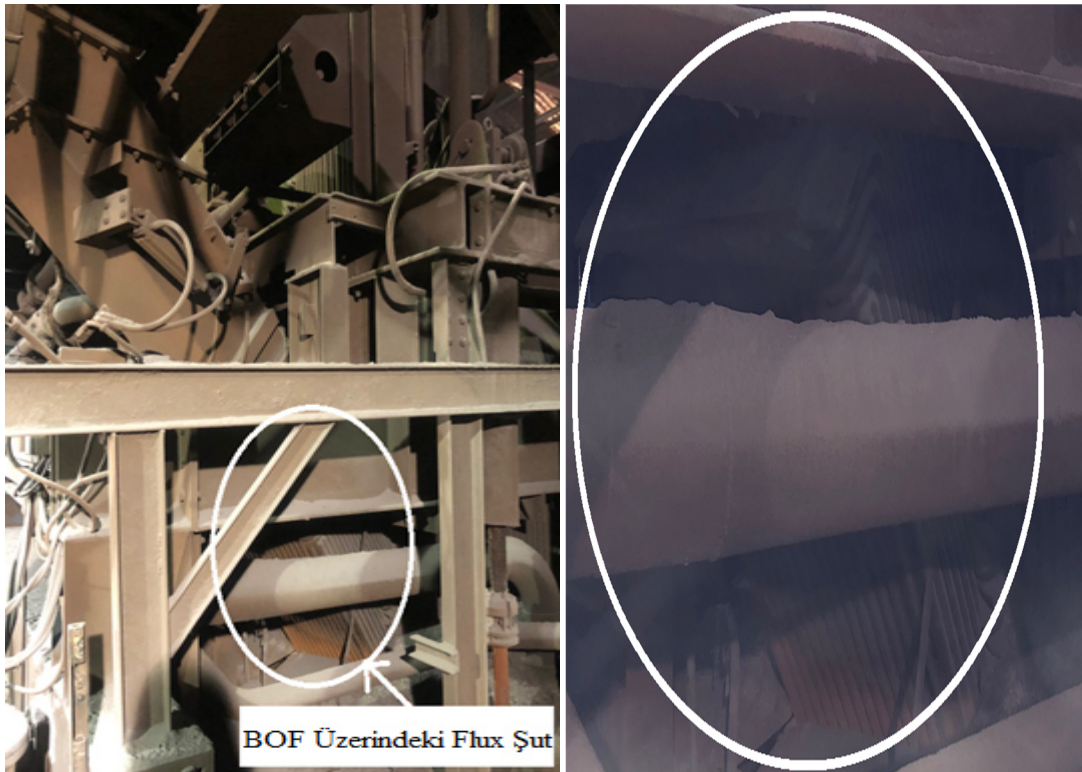
Şekil 4.7. Kardemir A.Ş BOF kantarların çalışma pozisyonu fotoğraf görüntüsü.

BOF malzeme besleme ünitesinde 5 numara ile gösterilen flux şuttur. Flux şut katkı malzemelerinin BOF içerisine aktarımında kullanılmaktadır. Çelik üretim prosesi boyunca BOF içerisine gönderilen katkı besleme malzemelerinin tamamı flux şut içerisinden geçmektedir. Flux şut 38 mm çapında ve 4,5 mm et kalınlığına sahip St35-8 malzeme boruların birleşiminden meydana gelmiş olup içerisinde kapalı çevrim soğutma suyu dolaşmaktadır. St35-8 malzeme DIN 17175 standardı borular; yüksek basınç ve sıcaklıklarda kullanıldığı için kazanlar ve basınçlı kap imalatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. BOF içerisine malzeme sevki esnasında BOF gazının atmosfere çıkmaması için flux şutun hemen üzerindeki kollektörde azot perdesi

oluşturulmaktadır. Flux şutun genel görünüşü Şekil 4.8’de, fotoğraf görüntüleri ise 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kardemir A.Ş BOF flux şutun proje görüntüsü.



Şekil 4.9. Kardemir A.Ş BOF flux şutun fotoğraf görüntüsü.

4.2. KARDEMİR A.Ş ÇELİK ÜRETİM TESİSİNDE FLUX ŞUT AŞINMASINA BAĞLI OLARAK OLUŞAN SU KAÇAKLARINDAN KAYNAKLI ÜRETİM DURUŞ PROBLEMİNİN ARAŞTIRILMASI

Kardemir A.Ş çelik üretim tesisinde BOF ile sıvı çelik üretimi sırasında BOF sıcaklığını azaltıp artırmak, sıvı çelik içerisinde cüruf oluşumunun önüne geçmek, BOF içerisindeki refrakter tuğlayı korumak, ömrünü arttırmak ve istenilen çelik kalitesini elde etmek gibi nedenler ile BOF içerisine oksijen üfleme esnasında katkı malzemeleri eklenilmektedir. Bu katkı malzemeleri BOF içerisine flux şut üzerinden geçerek mevcut yapı yüzeyinde aşınmalar meydana getirmektedir. Flux şutlarda malzeme sevkinden dolayı oluşan aşınmaların üretim duruşlarına sebep olmaması için Kardemir A.Ş mekanik birimi olarak üretim duruşuna neden olan problemlerin araştırılması yapılmıştır.

Kardemir A.Ş mekanik birimi; flux şut üzerindeki aşınmaların nedenini araştırmadan önce 2014 yılında BOF yatırımı ile birlikte hareketli baca üzerinde, yüksek sıcaklık, oksitlenme ve aşınmaya maruz kalan bölgelerde iyileştirme çalışmasında bulunmasından dolayı iyileştirme tecrübesi edinmiştir. BOF gazı birincil toz toplama, gaz yıkama ve temizleme sistemi üzerinde bulunan hareketli bacanın üzerinde kritik önem taşıyan bölgelerde zaman zaman aşınma ve su kaçakları oluşmaktadır. Su kaçaklarının oluşmasının başlıca sebepleri BOF içerisine oksijen üfleme esnasında yüksek sıcaklığın oluşması, oluşan BOF gazının aşındırıcı etkisi ve hurda şarjı sırasında koni ağzı ile hareketli baca arasına sıkışan hurda parçalarıdır. Flux şut ile aynı malzemeden (St35-8) imal edilen hareketli bacanın proje üzerinde A harfi ile gösterilen bölümü (Şekil 4.10) ile Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de atölye imatları sırasında çekilen fotoğraflarda B harfi ile gösterilen bölgeler Inconel 625 ilave teli kullanılarak MAG (Metal Active Gas) kaynağı ile kaplama yapılmıştır.

Inconel alaşımları oksidasyon ve korozyona dayanıklı malzemelerdir. Inconel 625 sıcaklık altında genişleyip sertleşerek oksidasyonun yüzey üzerindeki ilerlemesini engelleme özelliğine sahiptir [33]. Inconel 625, alüminyum ve çeliğin ısı yüzünden kristal boşluklar oluşması sonucu sıvılaşıp akışkanlaştıkları yüksek sıcaklıklar için uygun malzeme olup bu sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahiptirler. %58 oranında nikel (Ni) elementi ihtiva etmekte olup yüksek sıcaklık değerlerinde alev bariyeri olarak kullanılmaktadır. Kaplama yapılacak bölgelere Inconel 625 kaplama malzeme ile kaplandıktan sonraki yüzey sertliği yaklaşık 220 HB (Brinell) sertlik derecesindedir [33]. Kullanılan Inconel 625 ilave kaynak telinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Inconel 625 kaynak dolgusunun yapısındaki düşük Fe oranı ve yaklaşık %20-23 oranında Cr bulunması erozyon ve korozyona karşı direncini arttırmaktadır.

Çizelge 4.1. Inconel 625 ilave telinin % element değerleri [34].

Ni	Cr	Fe	Mo	Nb	Co	Mn	Al	Ti	Si	C	S	P
58,0	20,0-23,0	5,0	8,0-10,0	3,15-4,15	1,0	0,5	0,4	0,4	0,5	0,1	0,015	0,015

Çizelge 4.2. Inconel 625 ilave telinin mekanik özellikleri [34].

Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı 0.2% (MPa)	Uzama (%)	Sertlik Brinell (HB)
827	414	30	175

İç çapı 2900 mm, dış çapı 3445 mm olan hareketli bacanın en alt kıvrımlı tarafındaki iç ve dış kısımlarına 250 mm uzunluğunda ve 360° boyunca kaplama uygulanarak aşınmaların önüne geçilmiştir. Bu aşınmalar genel olarak BOF birincil toz toplama sistemi tarafından emilen BOF gazının erozif aşındırması, BOF içerisine hurda şarjı esnasında hareketli baca ile koni arasına sıkışan hurda parçaların meydana getirdiği abrazif aşınma, BOF içerisine oksijen üfleme sırasında açığa çıkan yüksek ısı ve alev oluşturduğu aşınma ile tahribatlar iyileştirilerek ünitenin duruş süreleri kısaltılmıştır.

Kardemir A.Ş mekanik birimi olarak hareketli baca üzerinde uygulanan Inconel 625 kaplama yöntemi sonucu elde edilen tecrübenin flux şut üzerinde de uygulanarak aşınma ve su kaçaklarından dolayı meydana gelen duruşların iyileştirilerek asgari seviyelere düşürülebileceği düşüncesi oluşmuştur. İlk olarak BOF flux şut iyileştirilmesinde Inconel 625 ilave teli ile MAG kaynak dolgusu yapılması düşünülmüştür. Flux şut üzerinde hareketli bacanın maruz kaldığı BOF gazı karışımı gaz nüfuziyetinin olmaması, hareketli bacanın maruz kaldığı kadar yüksek sıcaklıkların olmaması, flux şut yüzeyine abrazif aşındırıcı malzemelerin sürekli olarak temas halinde olması, Inconel 625 kaplamanın flux şut üzerinde meydana gelen abrazif aşındırıcılara karşı dayanıklı olmayışı ve Inconel 625 kaplamanın maliyetinin yüksek olması sebebi ile bakım onarım birimi diğer kaynak dolgusu ile kaplama yöntemleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda flux şutun aşınan bölgelerinin Thermanit 14 K Si kaplaması ile kaplanmasına karar verilmiştir. Thermanit 14 K Si kaplama seçilmesinin nedeni, 7/24 çalışması beklenen flux şut üzerinden üretim devam ettiği sürece katkı malzemeleri geçmekte ve sürekli olarak abrazif aşınmaya maruz kalmaktadır. Flux şut üzerine yapılacak olan kaplamanın yüksek sertlik değerine sahip olması, St35-8 kalite malzemedan imal edilen flux şut yüzeyine kaynak edilebilir olması, maliyetinin düşük olması, abrazif aşınma dayanımının yüksek olması, darbe dayanımının ve vibrasyon altında çalışabilir bir dolgu malzemesi ile kaplama yapılabilir olmasındandır. MAG kaynağı ile uygulaması yapılan kaplama yönteminde kullanılan Thermanit 14 K Si ilave kaynak telinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.3'te, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Thermanit 14 K Si ilave telinin %element değerleri [35].

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,08	0,9	0,65	14,0	0,4

Çizelge 4.4. Thermanit 14 K Si ilave telinin mekanik özellikleri [35].

Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı 0,2% (MPa)	Uzama (%)	Sertlik Brinell (HB)
650	450	15	180

Thermanit 14 K Si ilave tel malzemesi yüksek korozyon direncine sahip, içerisinde yaklaşık %14 seviyelerinde Cr elementi içeren, AISI 410 kalite martenzitik paslanmaz çelik sınıfında bir malzemedir. Kaynak işlemi sonrası yüzey sertliği yaklaşık 400-420 HB civarındadır. Literatürde AISI 410 paslanmaz çelik olarak anılan ilave teli 1.4009 materyal numarası ile de tanımlanmaktadır [35].

BOF ile sıvı çelik üretim süresi boyunca çalışan flux şutlar 12 ayda bir (yaklaşık 5000 döküm) yapılan planlı üretim duruşu sırasında değiştirilen flux şuta ait fotoğraf Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Kardemir A.Ş BOF flux şut değişimi sonrası oluşan aşınmanın yakın fotoğraf görüntüsü.

Planlı bakım duruşlarında flux şut kontrol edilerek yüzeyinde herhangi bir delinme veya aşınmanın olup olmadığı kontrol edilir. Yapılan kontroller sonucunda su kaçağı veya aşınmanın bulunduğu bölgelere tamir kaynakları uygulanır. Flux şutun en alt noktasında bulunan dirsek kısımlarının üzerinde iki çeşit aşınma meydana gelmektedir. Bunlar; katkı besleme malzemelerinin oluşturduğu abrazif aşınmalar ile, BOF gazının ve su kaçaklarının oluşturduğu erozif aşınmalardır. Abrazif ve erozif aşınmalar sebebi ile flux şut dirseklerinde delinmeler oluşmaktadır (Şekil 4.14).

Sistem üzerinde yaşanan su kaçaqlarını gösteren saha fotoğrafı Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



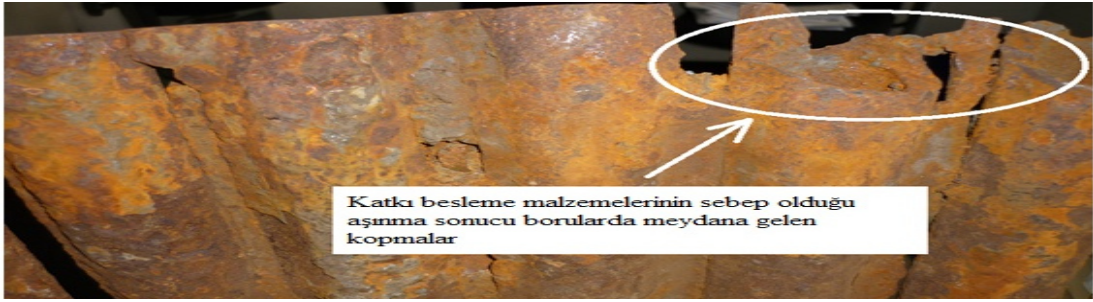
Şekil 4.14. Kardemir A.Ş. BOF flux şutun planlı bakım duruşlarında yapılan kontrollerde gözlenen aşınma görüntüsü.



Şekil 4.15. Kardemir A.Ş. BOF flux şutun planlı bakım duruşlarında yapılan kontrollerde gözlenen aşınma görüntüsü.

Dirsek bölgelerinde oluşan delinmeler planlı duruşlar haricinde üretim esnasında tamir kaynakları ile kapatılmakta ve üretime devam edilmektedir. Tamir kaynakları; BOF'un 180° aşağı yönde çevrilmesi ile BOF'un üzerine çıkarılan seyyar merdivenlerin üzerine çıkan bakım onarım birimi tarafından yapılmaktadır.

Flux şut üzerinden BOF içerisine nakil edilen malzemeler sürekli olarak flux şutun taban yüzeyi ve yan duvarlarından yukarıya doğru 3 sıra boru üzerinde aşınmaya yol açtığı mekanik birim tarafından tespit edilmiştir. Bu kısımdaki aşınmalar, hem boruların üzerinde hemde lamalar üzerinde gerçekleşmektedir. BOF içerisine katkı malzemeleri besleme işlemleri esnasında flux şut aşındırıcı malzemeleri tarafından deformasyona uğratılmaktadır. Deformasyona uğramış flux şut görüntüsü Şekil 4.16.a ve Şekil 4.16.b’de gösterilmiştir.



a)



b)

Şekil 4.16. Kardemir A.Ş BOF içerisine katkı malzemeleri besleme esnasında aşındırıcı özelliğe sahip katkı malzemelerinden kaynaklı oluşan a) soğutucu borularda oluşan aşınmalar b) borular arasında bulunan lamalarda oluşan aşınma görüntüleri.

Tespit edilen aşınmalar sonucunda flux şut üzerinden aşınmalara neden olan, BOF içerisine nakil edilen katkı malzemelerinin her döküm için ortalama kullanım miktarları kg cinsinden tespitleri yapılmıştır (Çizelge 4.5).

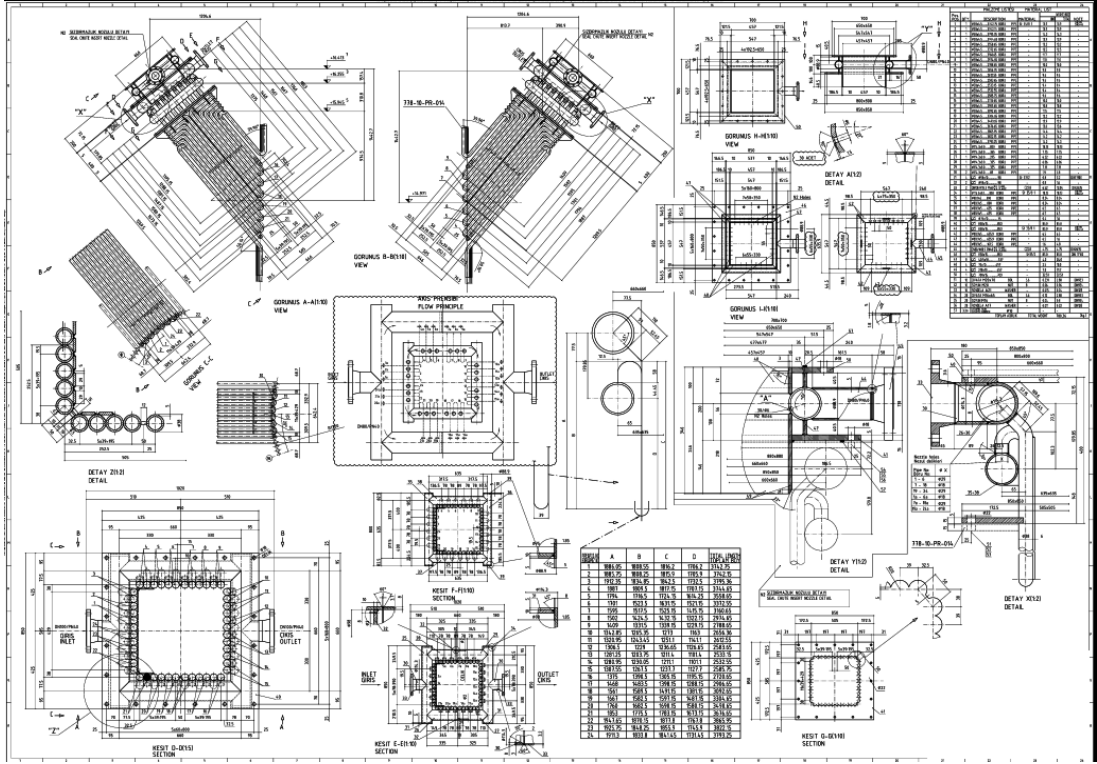
Çizelge 4.5. Flux şut vasıtası ile BOF'a nakil edilen katkı besleme malzemelerinin ortalama günlük tüketim miktarları [36].

Katkı malzemesinin adı	Günlük kullanım miktarı (kg)
Pelet cevher	6.691
Antrasit	3.027
(CaMg(CO ₃) ₂)	19.230
FeSi	630
CaO	100.000

BOF ile sıvı çelik üretimi her 40 dakikada bir tekrarlanmakta ve 120 tonluk sıvı çelik elde edilmektedir. Çizelge 4.5' ten anlaşılacağı üzere üretim esnasında en fazla kullanılan katkı malzemeleri CaO, (CaMg(CO₃)₂) ve pelet cevher'dir. Katkı malzemelerinin BOF içerisine nakil edilen miktarları ve tanecik büyüklükleri göz önüne alındığında; flux şut üzerinde abrazyon aşındırma oluşturmaları kaçınılmazdır. Bu nedenle, bakım onarım birimi tarafından Kardemir A.Ş çelik üretim prosesinde üretim duruşlarının iyileştirilmesi için flux şutun aşınan bölgelerinin Thermanit 14 K Si kaynak teli ile iyileştirilmesine karar verilmiştir.

4.3. YENİ FLUX ŞUT İMALATI VE İÇ YÜZEYİNE KAPLAMA YAPILMASI

Yapılan araştırmalar, gözlemler ve edinilen tecrübeler dahilinde yeni bir flux şut yapımına karar verilmiştir. Yapımına karar verilen şutun proje görüntüsü Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Yeni yapılacak olan flux şut bir önceki ile aynı özelliğe sahiptir. Yapımına başlanan flux şutun atölye imalatının fotoğraf görüntüleri Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Flux şutun katkı malzemeleri ile temas eden bölgeleri olan taban yüzeyinin tamamı ve yan duvarların ilk 3 sıra boru yüzeyleri Thermanit 14 K Si ilave teli ile kaplama yapılma anı Şekil 4.19a'da kaplaması tamamlanan flux şut boru ve diğer ekipmanları ısıya dayanıklı boya ile boyanmış görüntüsü Şekil 4.19b'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kardemir A.Ş BOF flux şüt detay imalat projesi.



a)

b)

Şekil 4.18. Kardemir A.Ş BOF flux şüt atölye imalatı a) flanş görüntüsü b) boru imalatı görüntüsü.



a)

b)

Şekil 4.19. Kardemir A.Ş BOF flux şut a) kaplama işleminin yapıldığı atölye fotoğraf görüntüsü b) kaplama işleminin tamamlanarak ısıya dayanıklı boya ile boyanmış atölye fotoğraf görüntüsü.

Planlı bakım duruşları esnasında gözlemlenen ve en fazla aşınmanın meydana geldiği taban bölgesinin tamamını ve yan duvarların sadece ilk 3 sıra borusunu Thermanit 14 K Si ilave teli ile kaplanmıştır. Thermanit 14 K Si ilave teli kullanılarak MAG kaynak yöntemi ile yapılan kaplama işlemi sırasında %97 Ar + %2 CO₂ + %1 O₂ oranında gaz karışımı kullanılmıştır. Yapılan kaplama işleminin kalınlığı 3 mm olup taban ve 3 sıra yan yüzey borulara uygulanmak üzere toplamda 1,311 m² yüzeye kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama yapılan bölgenin yakın görünüşü Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Kardemir A.Ş BOF flux şut kaplama sonrası yakın fotoğraf görüntüsü.

Kardemir A.Ş tarafından imalatçı firmaya sipariş edilen flux şut, firma tarafından imalatı yapıldıktan sonra kaplama kaynağı uygulaması yapılmıştır. Flux şut yüzeyinin katkı malzemeleri ile temas eden taban yüzeyinin tamamı ile yan duvarların ilk 3 sıra boru yüzeyleri Thermanit 14 K Si ilave tel ile kaynak dolgusu yapılarak aşınmaya dayanıklı hale getirilmiştir. Kaynak dolgusu ile aşınmaya dayanıklı hale getirilen flux şut, BOF planlı duruş çalışmaları esnasında eskisi ile değiştirilerek yaklaşık 24 ay boyunca herhangi bir su kaçağı meydana gelmemiştir. Flux şut yüzey kaplama uygulamasından önce kullanım ömrü 1 yıl olan flux şut, her 3 ayda bir 4 saat olmak üzere tamir duruşlarına sebep olmaktadır. Flux şut üzerine yüzey kaplama işlemi yapıldıktan sonra kullanım ömrü minimum 24 aya çıkarılmıştır. Flux şutun 24 aylık çalışma süresi sonrasındaki planlı duruş esnasında yüzeyi incelenmiştir. Flux şutun taban yüzeyi ve yan duvarlardaki 3 sıra boruda gözle görülen bir aşınma veya kopma görülmemiştir. 24 aylık çalışma sonrası flux şutun Thermanit 14 K Si ilave tel kullanılarak kaplama yapılan yüzeylerine ait görüntüsü Şekil 4.21’de görülmektedir.



Şekil 4.21. Flux şutun taban yüzeyinin tamamı ile yan duvarların ilk 3 sıra boru yüzeyleri Thermanit 14 K Si ilave tel ile kaynak dolgusu yapılarak BOF sistemine montaj yapılmış hali ile 24 ay çalışma süresi sonucunda gözle görünür bir aşınma veya delinme olmadığının saha görüntüsü.

Yapılan kaplama ile elde edilen aşınma dayanımı neticesinde yedek flux şutların tamamında kaplama işlemi uygulanmıştır. 24 ay boyunca BOF malzeme besleme sistemi üzerinde çalışan flux şut planlı duruş esnasında kontrol amaçlı sökülmüş olup saha fotoğrafı Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Kardemir A.Ş mekanik bakım birimi tarafından kontrol edilen flux şut üzerinde gözle görünür herhangi bir aşınma gözlemlenmemiştir ve aynı flux şut tekrar yerine takılarak kullanılmaya devam edilmiştir.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. GİRİŞ

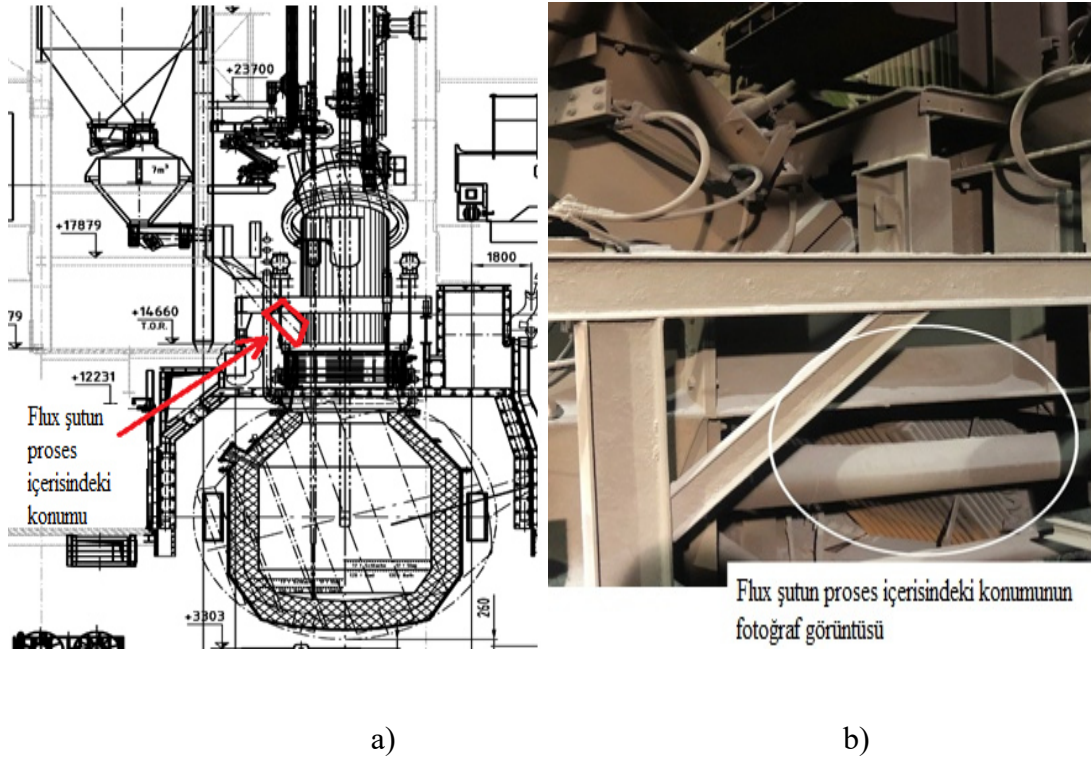
Kardemir A.Ş Çelik üretim tesisi malzeme nakil hattında kullanılan flux şutun taban ve yan yüzeylerindeki aşınma; çelik üretim tesisinin ton çelik başına maliyetini, iş gücü kayıplarını, üretim duruş süresini ve BOF gazı geri kazanımını direkt olarak etkilemektedir.

5.2. FLUX ŞUTUN TABAN VE YAN YÜZEYLERİNDEKİ AŞINMANIN ÜRETİM DURUŞUNA ETKİSİ

Çelik üretim tesisinin sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için prosesin çeşitli bileşenlerinden biri olan flux şutun sorunsuz bir şekilde çalışması gerekmektedir. Üretimin sürekliliği için 7/24 çalışması beklenen flux şut içerisinde günde ortalama 130.630 kg katkı malzemesi geçerek BOF içerisine sevkiyatları yapılmaktadır. Katkı malzemeleri zaman içerisinde flux şutun taban ve yan yüzeylerinde korozif ve erozif aşınmalara sebep olmaktadır. Aşınmanın sebep olduğu tahribat flux şut üzerinde su kaçaqları meydana getirmektedir. Flux şut üzerindeki su kaçaqları zaman içerisinde çoğalarak BOF içerisine akmaktadır. Çelik üretimi esnasında BOF içerisine su girmesi son derece tehlikeli bir durumdur [37]. BOF içerisine girerek zamanla biriken su büyük patlamalara sebep olmaktadır. BOF içerisine giren su, BOF içerisindeki sıvı çeliğin yüzeyini kapatarak yüksek sıcaklık altında buharlaşmasına sebep olmaktadır. Oluşan su buharının atmosfere çıkış yolu bulamaması ve sıkışan hidrojen sebebi ile büyük patlamalar meydana gelmektedir. Tesisin İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) mevzuatları açısından üretim yapılabilmesi için üretim duruşları verilerek su kaçaqlarının tamirinin yapılması gerekmektedir.

Su kaçaıklarına müdahale edilmesi için BOF, 180° aşağı çevirilerek BOF'un taban kısmına çıkan bakım ekibi seyyar merdivenler vasıtası ile su kaçağının yerlerini belirler. Su kaçağının yerleri tespit edildikten sonra flux şut giriş ve çıkış vanaları kapatılarak kaçağın olduğu yerler kaynak yapılarak tamir edilir. Kaynak yapılan bölgelerin yüksek yüzey sıcaklığına sahip olması sebebi ile bakım ekibi içerisindeki kaynakçılar kısa süreli çalışmalar yapmaktadırlar. Flux şutun tamir kaynağının tamamlanması ve BOF'un tekrar işletmeye alınması için ortalama 4 saatlik süreye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bazı durumlarda su kaçaıklarına kaynak ile müdahale edilememekte ve flux şutun değişmesi gerekmektedir. Flux şut değişiminin yapılacağı durumlarda hareketli baca ile mevcut çelik konstrüksiyon arasındaki mesafelerin çok dar olması, flux şut yüzeyinin sıcak olması, üzerinde malzeme besleme bunkerleri ve manyetik besleyicilerin bulunması nedeni ile değişimi uzun zaman almaktadır. Flux şutun çelik üretim prosesi içerisindeki konumunu gösteren proje görüntüsü Şekil 5.1a'da, saha fotoğraf görüntüsü Şekil 5.1b'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kardemir A.Ş BOF flux şut çelik üretim prosesi içerisindeki konumunu gösteren a) proje görüntüsü b) saha görüntüsü.

Flux şutun değişiminin yapılması esnasında sırası ile 7 m³ kapasiteli tartım bunkerinin altında bulunan çelik şut ile alt tarafında bulunan sürgülü vananın civata bağlantıları sökülerek zincirli çektirme ve zincirli kaldıraçlar yardımı ile platform üzerine indirilmektedir. Flux şutun giriş ve çıkış su bağlantıları, azot sızdırmazlık perdesine gelen azot boru hattı bağlantıları sökülerek flux şut söküme hazır hale getirilmektedir. Hareketli bacayı taşıyan davlumbaz arabasında bulunan çelik konstrüksiyon kiriş ve konsolları flux şutun demonte edilmesine engel olması nedeni ile tekrar yerine monte edilmek üzere sökülmeğe. Flux şutun üzerindeki tüm elemanların sökümü yapıldıktan sonra flux şut tek parça halinde veya kesilerek daha küçük parçalar halinde sökülerek demonte edilmektedir. Yeni flux şut, zincirli çektirme ve zincirli kaldıraçlar ile montaj pozisyonuna kaldırılarak hareketli baca üzerine monte edilmektedir. Hareketli baca üzerinden sökülen tüm kiriş ve konsollar tekrar yerine monte edildikten sonra su bağlantıları ve azot bağlantıları tekrar yapılmaktadır. Boru bağlantılarının yapılmasından sonra çelik şut ve alt tarafında bulunan sürgülü vananın montajı tamamlanmaktadır. Soğutma suyu ve azot hatlarında kaçak kontrolleri test edilerek sürgülü vananın sorunsuz olarak çalışması sağlanmaktadır.

Çelik üretim tesisinde ilgili BOF ile sıvı çelik üretimi esnasında 12 ay içerisinde flux şutun değişimi için gereken tüm demontaj ve montaj işleri için 12 saatlik bir üretim duruşu yaşanmaktadır. Flux şut üzerinde meydana gelen su kaçakları sonucu yapılan tamir kaynakları ise her 3 ayda ortalama 4 saatlik üretim duruşuna sebep olmaktadır. Aşınan bölgeler kaynatılarak tamir edilmektedir. İlgili BOF ile yaklaşık 40 dakikada 120 tonluk sıvı çelik üretimi elde edilmektedir. Flux şut aşınması neticesinde oluşan su kaçaklarının tamiri için geçen 4 saatlik süre içerisinde 720 tonluk sıvı çelik üretimi gerçekleştirilememektedir. Çelik üretim tesisi içerisinde çalışan 3 tane BOF için 3 adet flux şut 3 ayda 4 saatlik tamir kaynağı ve 12 ayda 12 saatlik değişim nedeni ile yıllık olarak ortalama 72 saatlik üretim duruşu yaşanmaktadır. 72 saatlik üretim duruşları aylık 1.080 ton, yıllık 12.960 ton sıvı çelik üretim kaybına neden olmaktadır.

Tez konusu çalışmasında uygulanan iyileştirme çalışmaları sonucunda 24 ayda flux şut yüzeylerinde herhangi bir aşınma ve su kaçağı meydana gelmemiştir. Mekanik

birim tarafından flux şut yüzeyine uygulanan kaplama işlemi ile birlikte flux şut değişimi gerçekleşmemiştir. Su kaçaklarının önlenmesine sebep olan iyileştirme çalışması sıvı çelik üretim kayıplarının da önüne geçerek çelik üretim prosesinin üretim verimliliğinin artmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

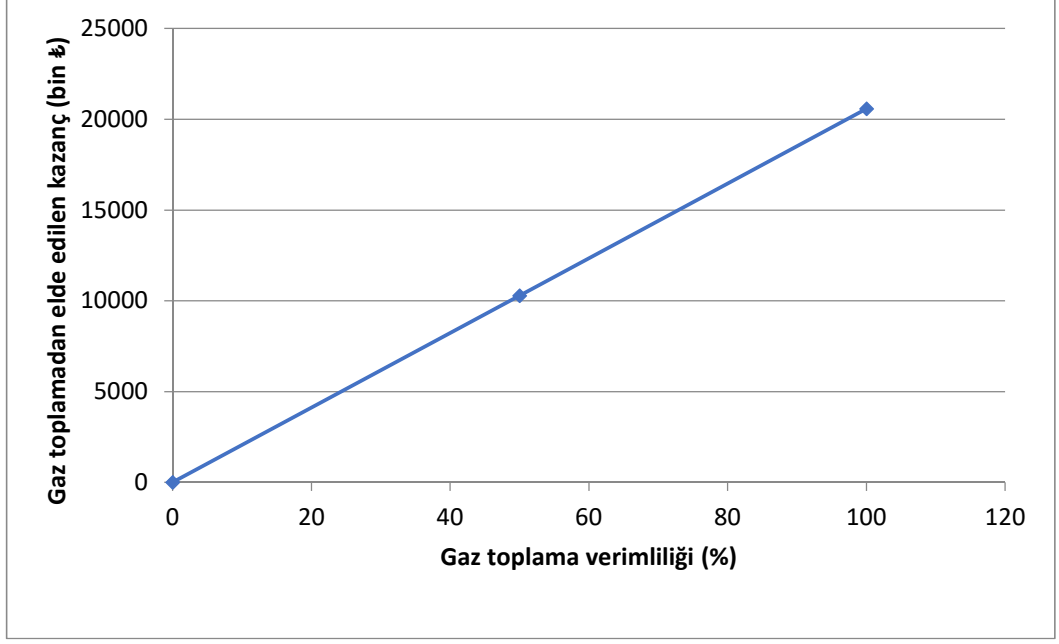
5.3. MALİYETE ETKİSİ

Çelik üretim prosesi ve tüm bileşen ekipmanlarının sorunsuz çalışabilmesi için çalışması beklenen flux şutun maliyet kalemleri üç başlıkta inceleme altına alınmıştır.

- Üretim kayıplarının maliyeti; Flux şut üzerinde Thermanit 14 K Si ilave teli ile yapılan yüzey kaplama iyileştirmesi çalışmaları ile yıllık 12.960 ton sıvı çelik üretim kaybının önüne geçilmiştir. Tüm işletme ve ham madde maliyetleri düşüldükten sonra Kardemir A.Ş çelik üretim tesisinin 2020 yılındaki ton çelik başına düşen net karı yaklaşık 339 ₺'dir. Yapılan iyileştirme çalışması neticesinde yıllık yaklaşık olarak 4.393.440 ₺ net kar kaybının önüne geçilmiştir. Kardemir A.Ş çelik üretim tesisi 2020 yılı içerisinde 2.573.690 ton sıvı çelik üretimi gerçekleştirmiştir. Flux şut üzerinde iyileştirme çalışması yapılmaması durumunda 2020 yılı içerisinde Kardemir A.Ş çelik üretim tesisi toplam 2.560.730 ton sıvı çelik üretimi gerçekleştirecekti. İyileştirme çalışması ile birlikte 2020 yılı Kardemir A.Ş sıvı çelik üretimi % 0,50 oranında artış göstermiştir.
- Yedek parça maliyeti; Flux şut, yurt içindeki imalatçı firmalar tarafından imal edilebilmekte olup yaklaşık maliyeti 25.000 ₺'dir. Flux şutların ortalama ömürleri 12 ay olduğundan yılda 3 BOF için toplam 3 adet flux şut değiştirilmektedir. Flux şut değişimleri yedek parça maliyetlerinin artmasına ve üretimden elde edilen karlılığın düşmesine sebep olmaktadır. İyileştirme yapılmadan önce 12 aylık çalışma ömrüne sahip olan flux şut üzerinde yapılan iyileştirme neticesinde toplam çalışma süresinin yaklaşık 24 aya çıkarıldığı gözlemlenmiştir. Flux şutların çalışma ömürlerinin 24 aya çıkarılması Thermanit 14 K Si ilave teli ile MAG kaynağı yapılarak yüzey

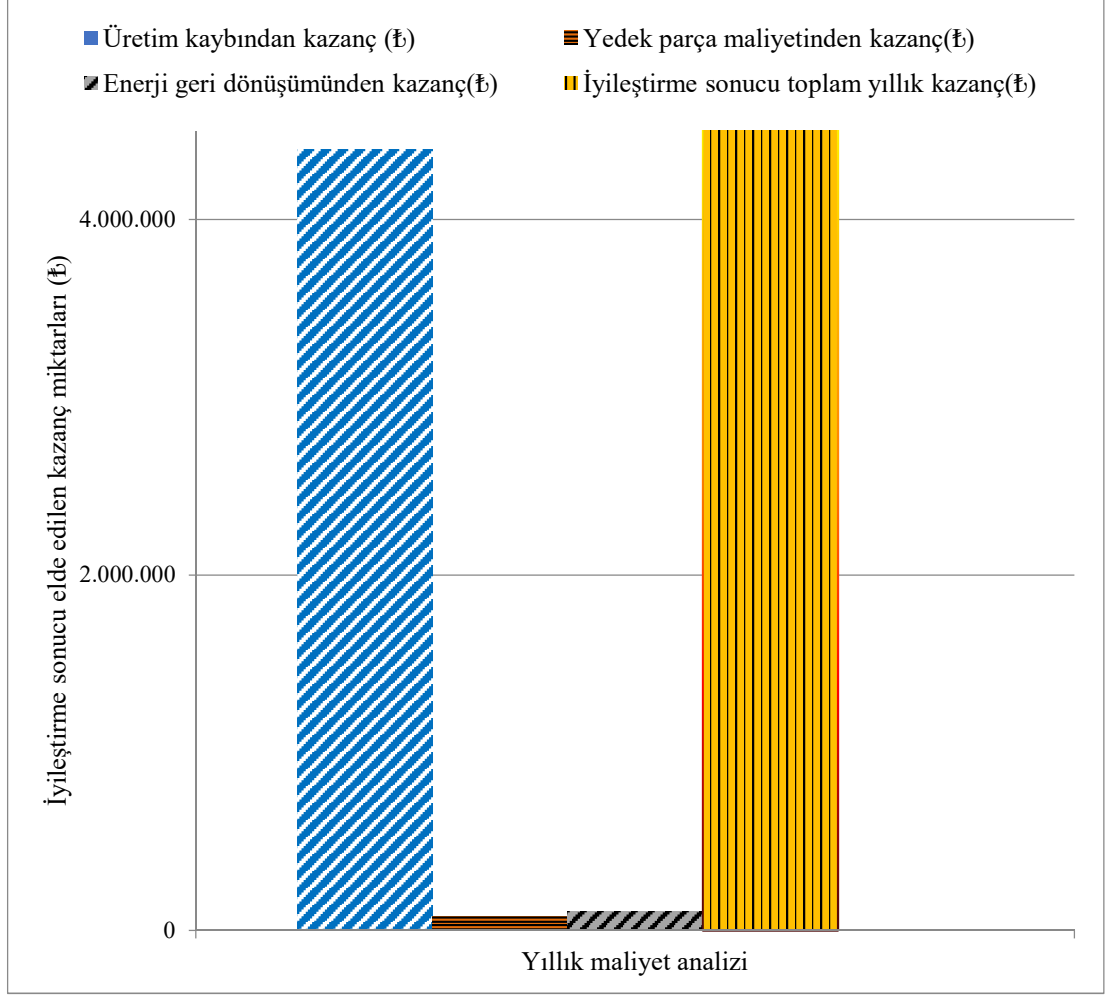
kaplaması yapıldıktan sonra 24 aydır sorunsuz şekilde çalışıyor olmasına bağlanmıştır. Uygulanan iyileştirme neticesinde 24 ay boyunca toplam 6 adet yedek flux şut siparişinin önüne geçilmiştir. Kardemir A.Ş çelik üretim müdürlüğü mekanik bakım başmühendisliği yedek parça maliyeti 2019 yılında 3.551.000 ₺, 2020 yılında ise 4.672.000 ₺ olarak belirlenmiştir. 2019 ve 2020 yıllarının ortalama yedek parça maliyeti ise 4.111.500 ₺ olarak belirlenmiştir. Flux şut yüzeyinde yapılan kaplama işlemi ile birlikte flux şutların ömürleri ortalama 12 ay artmış olup yıllık yedek parça maliyeti 75.000 ₺ azalmıştır. Flux şut yüzeyindeki iyileştirmenin yapılmaması durumunda 2019 ve 2020 yıllarının ortalama yedek parça maliyetleri 4.186.500 ₺ olarak gerçekleşecekti. Bu veriler göz önüne alındığında yapılan iyileştirme ile çelik üretim müdürlüğü mekanik bakım başmühendisliğinin yedek parça maliyetinde yıllık %1,79 tasarruf edilmiştir.

- BOF gazı maliyeti; BOF ile çelik üretim prosesinde yüksek fırınlardan gelen sıvı ham demir, hurda ve katkı besleme malzemelerinin BOF içerisine şarj edildikten sonra içerisine saf oksijen üflenerek oluşan yanma sonucunda enerji değeri yüksek BOF gazı meydana gelmektedir. Oluşan BOF gazı primer toz toplama sistemi üzerindeki fan yardımı ile emilirken aynı zamanda yıkanarak içerisindeki toz ve partiküllerden arındırılmaktadır. BOF gazı ID fan yardımı ile gaz toplama tankına gönderilmektedir. Gaz tankında depolanan BOF gazı ayrı bir fan ve boru hattı sistemi ile enerji tesislerinde kızgın buhar üretimi elde edilerek buhar turbinlerinde elektrik enerjisi üretilmektedir. Gaz toplama sisteminin verimliliği ile geri dönüşüm kazancının arasındaki ilişki Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Kardemir A.Ş Çelik üretim tesisi BOF gazı toplama verimliliği ile elde edilen kazanç ilişkisi grafiği

BOF gazının geri dönüşümü esnasında sıvı çelik üretim maliyetini ton çelik başına ortalama 8 ₺ düşürmektedir. Yıllık 2.573.690 ton sıvı çelik üretimi yapabilen Kardemir A.Ş'de gaz toplama verimliliği %100 olarak kabul edildiğinde 20.589.520 ₺ BOF gazından geri dönüşüm elde edilmektedir. 3 adet BOF için yıllık 72 saatlik duruş süresi boyunca gaz toplama yapılamamaktadır. Flux şutlardaki yapılan iyileştirmeler sonucunda 12.960 ton sıvı çelik üretim kaybının önüne geçilmiş olup, önlenen üretim kaybı süresi boyunca toplanamayan BOF gazı maliyeti yıllık 103.680 ₺'dir. Flux şut iyileştirmesine paralel olarak geri kazanımı yapılan BOF gazının verimliliğini % 0,50 oranında arttırmıştır. Flux şut yüzeyine yapılan kaplama sonrasında Kardemir A.Ş çelik üretim tesisinde elde edilen yıllık kazanç grafiği Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Flux şut üzerinde yapılan yüzey sertleştirme iyileştirmesi sonrasında Kardemir A.Ş Çelik üretim tesisinde elde edilen kazanç grafiği

Flux şut yüzeyinde yapılan 3 mm kalınlığında kaplama 15.000 ₺'ye mal olmuştur. Toplam 3 adet flux şut için 45.000 ₺ iyileştirme harcaması yapılmıştır. Yapılan iyileştirmenin kazançları ise önüne geçilen üretim kayıplarından yıllık kazanç 4.393.440 ₺, yedek parça maliyetinden yıllık kazanç 75.000 ₺, gaz toplama kayıplarından elde edilen yıllık kazanç 103.680 ₺ olarak hesaplanmıştır.

Flux şut yüzeyinde Thermanit 14 K Si ilave teli kullanılarak MAG kaynağı ile yüzey kaplaması yapılarak flux şutların çalışma sürelerinin arttırılması ve üretim duruş sürelerinin azalmasının Kardemir A.Ş'ye yaklaşık olarak yıllık 4.572.120 ₺ tasarruf ederek kazanç sağladığı tespit edilmiştir.

5.4. AŞINMA MİKTARINA ETKİSİ

BOF hareketli baca üzerinde bulunan flux şut işletmeye alındıktan üç ay sonra tamir kaynağı ile müdahale edilmesi gereken ölçekte su kaçakları oluşturmaktadır. Ortalama her üç ayda bir tamir kaynağı yapılan flux şut, 12 ay sonunda tamir kaynağı ile müdahale edilemeyecek duruma gelmektedir (Bkz. Şekil 4.15). Yapılan iyileştirmeler flux şut yüzeyindeki aşınma miktarının azalmasına, üretim verimliliğinin artmasına ve üretim duruşlarının azalmasına sebep olmuştur.

Cr alaşımlı çelikleroksidasyon, korozyon ve yüksek sıcaklığa karşı çalışma kabiliyetine sahiptir [38]. İyileştirme çalışmalarında kullanılan Thermanit 14 K Si ilave telinin kimyasal bileşiminde %20-23 Cr bulunmaktadır. Flux şut malzemesi olan St35-8 çelik bileşiminde Cr bulunmaması seçilen malzemenin aşınmaya karşı dayanımını bilimsel olarak desteklemektedir.

5.5. GAZ TOPLAMA MİKTARINA ETKİSİ

BOF ile çelik üretim prosesi esnasında toplanan BOF gazının miktarı, içerisindeki CO konsantrasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte üretim miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. BOF içerisine şarj edilen sıvı ham demir, hurda ve katkı besleme malzemelerin ardından lans vasıtası ile BOF içerisine 12-16 dakika boyunca saf oksijen üfleilmektedir. Oksijen üflemesi sırasında meydana gelen yanma sonucunda kimyasal tepkimeler meydana gelmektedir. Kimyasal tepkimeler neticesinde yaklaşık olarak 7500 m³/h BOF gazı üretimi meydana gelmekte ve gaz toplama tankına gönderilmektedir. Flux şut üzerinde yaşanan su kaçakları nedeni ile 4 saatlik tamir kaynağı duruşları sırasında 400.000 m³/h BOF gazı üretimi yapılamamaktadır.


Duruşlara bağlı olarak BOF gazının üretilmemesi ve bunun sonucunda gazın tankta toplanamaması nedeni ile enerji değeri yüksek BOF gazının geri kazanımının yapılamaması enerji tasarrufunun sağlanamamasına sebep olmaktadır.

Flux şut yüzeyinin Thermanit 14 K Si ile kaplaması sonucunda tamir kaynağının yapıldığı her 4 saatlik duruşun oluşmaması nedeni ile ortalama 400.000 m³/h BOF gazının toplanması sağlanmıştır.

5.6. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ' NE ETKİSİ

Kardemir A.Ş. İSG misyonunun temelinde “Sıfır İş Kazası” anlayışı yer almaktadır. Sıfır iş kazası politikasını gerçekleştirmek amacı ile İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürlüğü bünyesindeki İSG mühendisleri ve uzmanları tarafından gerekli analizler yapılarak tüm yasa ve tüzükler doğrultusunda kazasız çelik üretimi yapabilmek, insana ve çevreye daha duyarlı bir fabrika sahalı oluşturabilmek adına mesai harcamaktadır. Tüm çalışmalar olası kaza risklerini belirlemek, iyileştirmek, iş sağlığı ve güvenliğini gözeterek daha emniyetli ve sağlıklı iş ortamları oluşturmak amacı ile gerçekleştirilmektedir.

Kardemir A.Ş. İSG Müdürlüğü çelik üretimi esnasında yapılan tüm üretim ve bakım faaliyetleri için gerekli risk analizlerini gerçekleştirmektedir. Kardemir A.Ş. fabrika sahasında yapın bakım ve üretim faaliyetleri esnasında yapılan çalışmalara ait risk değerlendirmelerine ait risk skorları 5 x 5 L matris sistemine göre oluşturulmakta olup Şekil 5.4' te gösterilmiştir [39].

RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	
$R = O \times \text{Ş}$ R = Risk O = Olasılık Ş = Şiddet (Zararın Derecesi)	
Olasılık	Ortaya Çıkma Olasılığı
Çok küçük (1)	Yılda bir veya daha az
Küçük (2)	Altı ayda bir
Orta (3)	Üç ayda bir
Yüksek (4)	Ayda bir
Çok Yüksek (5)	Haftada bir
Şiddet (Zararın Derecesi)	Derecelendirme
Çok Hafif (1)	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
Hafif (2)	İş günü kaybı yok, ilkyardım gerektiren
Orta (3)	Hafif yaralanma, tedavi gerektiriyor
Ciddi (4)	Ağır yaralanma, uzuv kaybı
Çok ciddi (5)	Ölüm, birden çok ölüm

Şekil 5.4. Kardemir A.Ş. fabrika sahasında risk skorlarını belirlemek için kullanılan L tipi matris değerleri ve tanımları [39].

L matrisi uygulaması yapılan iş ile ilgili ortaya çıkabilecek kaza olasılıkları ve gerçekleşmesi durumunda oluşabilecek şiddet değerinin çarpımı ile elde edilen sayı risk skorudur. Risk ölçüsünü belirleyen bu sayı 1 ile 25 arasında olup L tipi matris Şekil 5.5’ te gösterilmiştir.

RİSK MATRİSİ					
Siddet – Zarar Olasılık-İhtimal	Çok Ciddi (5)	Ciddi (4)	Orta (3)	Hafif (2)	Çok Hafif (1)
Çok Yüksek (5)	25	20	15	10	5
Yüksek (4)	20	16	12	8	4
Orta (3)	15	12	9	6	3
Düşük (2)	10	8	6	4	2
Çok Düşük (1)	5	4	3	2	1
RİSK SKORU		EYLEM			
25, 20, 16, 15		KABUL EDİLEMEZ RİSK Bu risk değeri ile ilgili mümkün olan en kısa sürede çalışma başlatılmalı, önlem alınmalı.			
12, 10, 9, 8		DİKKATE DEĞER RİSK Risk seviyesini aşağıya düşürmek için önlem planlanmalı ve yakın - orta tarihte faaliyete geçirilmeli.			
6, 5, 4, 3, 2, 1		KABUL EDİLEBİLİR RİSK Denetim ve kontroller ihmal edilmemeli. Eylem planı düşünülebilir.			

Şekil 5.5. Kardemir A.Ş. fabrika sahasında risk ölçüsü belirlemede kullanılan L tipi risk matris tablosu [39].

Değerlendirme sonucunda risk skorunun 15 ile 25 skor aralığı kabul edilemez risk sınıfına girmekte olup, risk değerinin düşürülmesi adına gerekli çalışmaların ve alınması gereken önlemler için acil çalışma başlatılması gerekmektedir. 8 ile 12 arasındaki risk skorları dikkate değer risk sınıfına girmekte olup, risk değerinin düşürülmesi için önlem alınarak kısa ve uzun vadede iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. 1 ile 6 skor aralığı ise kabul edilebilir risk olarak kabul edilmekte olup, denetim ve kontrollerin ihmal edilmemesi gerekmektedir.

Çelik üretim prosesi içerisinde flux şut üzerinde meydana gelen su kaçaqlarının tamir kaynakları için yılda 3 kez üretim duruşu verilerek zor koşullar altında gerçekleştirilmektedir. Yılda 3 kez gerçekleşen bir durum olması sebebi ile İSG uzmanları tarafından olasılık değeri 3 olarak belirlenmiştir. Dar ve sıcak bir alanda gerçekleştirilen kaynak işlemi esnasında el, ayak burkulmaları, yüksekte düşme ve el kol yanması gibi iş kazalarına sebep olabileceği için İSG uzmanları siddet değerini 4 olarak belirlemiştir. L matrisine göre Thermanit 14 K Si ilave teli ile kaplama

iyileştirilmesi yapılmadan önce flux şut tamir kaynağı için oluşan risk skoru; Olasılık (3) x Şiddet (4) = 12 olarak belirlenmiştir.

Thermanit 14 K Si ilave teli ile kaplama iyileştirmesi yapıldıktan sonra 2 yıl boyunca herhangi bir su kaçağı ortaya çıkmamış olması sebebi ile gerçekleşen olasılık değeri 1 olarak değerlendirilmiştir. İşlemin gerçekleşmesi durumunda şiddet değeri 4 olarak kalacaktır. Bu durumda; L matrisine göre Thermanit 14 K Si ilave teli ile kaplama iyileştirilmesi yapıldıktan sonra flux şut tamir kaynağı için oluşan risk skoru; Olasılık (1) x Şiddet (4) = 4 olarak belirlenmiştir.

Kardemir A.Ş. çelik üretim prosesinde kullanılan flux şut üzerinde yapılan iyileştirme sonucunda risk skor değeri 12' den 4' e düşürülmüş olup tamir kaynağı esnasında oluşabilecek iş kazalarının önüne geçilmiştir. Flux şut üzerinde meydana gelen su kaçakları BOF içerisine girmekte olup çelik üretim prosesinde yaşanabilecek olası patlamalara neden olabilmektedir. Tamir kaynaklarının sayısının azalması aynı zamanda su kaçaklarının azalması anlamını taşımakta olup, BOF içerisinde sıvı çeliğin su ile belirli koşullar altında temas ederek sebep olabileceği olası patlamaların riskini de azalttığı belirlenmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmalarda edinilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Kardemir A.Ş çelik üretim tesisi mekanik birim olarak flux şut yüzeyindeki aşınmaları anlamak amacıyla Thermanit 14 K Siilave teli ile kaplama işlemi yapılmıştır. Flux şut üzerinde yapılan iyileştirme sonucunda su kaçakları nedeni ile yaşanan üretim duruşları azalmıştır. Duruş sürelerinin azalması ile birlikte ortalama 12.960 ton sıvı çelik üretim kaybının önüne geçilmiştir. 2020 yılı içerisinde Kardemir A.Ş çelik üretim prosesinin toplam sıvı çelik üretimini %0,50 oranında arttırmıştır.
- Yapılan iyileştirme çalışması sonucunda yıllık 4.393.440 ₺ üretim kaybının önüne geçilmiştir.
- Yapılan iyileştirme çalışması sonucunda flux şutlarının çalışma ömürlerinde artış olmuştur.Kardemir A.Ş yedek parça maliyeti ortalama olarak yıllık 75.000 ₺ azalmıştır. Azalan yedek parça maliyetleri hesap edildiğinde Kardemir A.Ş çelik üretim müdürlüğü mekanik bakım başmühendisliği yedek parça maliyetleri ortalama olarak yıllık %1,79 oranında azalmıştır.
- BOF gazı toplama sisteminde yıllık 72 saat gaz toplama yapılamamasının önüne geçilmiştir. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda ortalama yıllık 103.680 ₺ kazanç elde edilmiştir. Çelik üretim tesisinin gaz toplama miktarı ile kıyaslandığında %0,50 oranında artış meydana getirdiği tespit edilmiştir.
- İyileştirme çalışmalarından sonra 24 ay sonuna kadar sorunsuz olarak çalışan flux şut yaklaşık olarak her 6 ayda yapılan planlı bakım duruşlarında göz ile

kontrol edildiğinde yüzeyinde kayda değer bir aşınma tespit edilmemiştir. Yapılan iyileştirme su kaçaqları nedeni ile yaşanan duruşlarının azalmasına, üretim maliyetlerinin azalmasına, üretim verimliliğinin artmasına ve su kaçaqlarından dolayı meydana gelebilecek büyük ölçekteki iş kazalarının önüne geçilmiştir.

- Su kaçaqlarının yaşandığı sıralarda toplanamayan BOF gazının geri kazanımını sağlanarak enerji tasarrufu sağlanmıştır.
- Thermanit 14 K Si ilave telinin yüksek sıcaklık, abrazif ve erozif aşındırıcılar altında St35-8 kalite malzemeden daha dayanıklı ve daha uzun çalışma ömrüne sahip olduğu belirlenmiştir.
- Endüstri ve ağır sanayide yüksek sıcaklık erozif ve korozif aşındırıcılar ile birlikte uzun süreler çalışması beklenen ekipmanların aşınma ile ilgili problem yaşanması durumunda aşındırıcılara temas eden yüzeyinin ve sıcağa maruz kalan bölümünün Thermanit 14 K Si ilave teli ile kaplama yapılması önerilmektedir. Bu tez çalışmasında 45.000 ₺ harcama ile yıllık ortalama 4.572.120 ₺ kazanç sağlanmıştır. Düşük maliyet ile yüksek performans, uzun çalışma ömrü ve sürekli çalışması beklenen alanlarda Thermanit 14 K Si ilave teli kullanılarak yapılacak yüzey kaplamasının aşınmalara karşı dayanımının arttırılarak fayda sağlanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Çelik ve Özellikleri, <http://kalitelicelikler.tr.gg/> (2016).
2. Sezer A., “BOF Çelik Üretim Prensipleri”, *İsdemir Yayınları*, İskenderun 10-25 (2007).
3. Fruehan R. J., “11th Edition Steelmaking and Refining Volume”, *The Making, Shaping and Treating of Steel, Chapter 1*, 1 (1998).
4. Aydın M., “Çelik Malzemeler”, (2017).
5. Yıldız, K., “Demir Çelik Metalurjisi Ders Notları”, *Sakarya Üniversitesi Metalurji Malzeme Bölümü*, Sakarya (2013).
6. İnternet: Çelik İhracatçıları Birliği, “2020 Çelik İhracat Değeri”, [https://www.cib.org.tr > istatistikler/](https://www.cib.org.tr/istatistikler/)(2020).
7. Emiroğlu, H. İ., “Bazik oksijen fırını (BOF) ile çelik üretim prosesinde kullanılan endüstriyel fondaki aşınmaların iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2019).
8. “Primer Gaz Temizleme Tesisi”, SMS Siemag, *Kardemir A.Ş/* (2013).
9. Demirtaş, K., “Polimer Aşınma ve Sertlik Deneyi Deney Föyü”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü*, Samsun (2019).
10. Kuş, H., “Bronz esaslı seramik takviyeli fren balatalarının performansının geliştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2014).
11. Demirsöz, R., “Granül curüf taşımada kullanılan boruların iç yüzeyinin aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2018).
12. Mertgenç, E., “ESD ile duplex kaplanmış AISI 316L paslanmaz çeliğinin mekanik davranışlarının incelenmesi”, *AKÜ FEMÜBİD 16*, Özel Sayı (1-4): 1-4 (2016).

13. Erdem, V. E., “AISI 1060 çeliğinin erozif aşınma özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
14. Çelik, O. N., Akbayır, Ö., Gaşan, H., Er, Ü. ve Aydınbeyli, N., “Borlanmış AISI 1060 çeliğinin abrazif aşınma özellikleri”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, CXXI, S.1, (2008).
15. Çelik, E., “Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).
16. Pejaković, V., Jisa, R. and Franek, F., “Abrasion resistance of selected commercially available polymer materials”, *Tribologia - Finnish Journal of Tribology*, Vol. 33, no. 1, (2015).
17. Üçkardeşler, A., “Küresel çelik dökümlerde borlama ısıl işleminin abrazif aşınma direnci üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2013).
18. Desale G. R., Gandhi, B. K. and Jain, S. C., “Particle size effects on the slurry erosion of aluminium alloy (AA 6063)”, *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Wear 266,1066–1071,(2009).
19. Xinhua, L., Zeng, Y., Ding, C. and Zhang, P., “Effects of temperature on tribological properties of nanostructured and conventional Al₂O₃-3 wt. % TiO₂coatings”, *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Wear 256,1018–1025,(2004).
20. Gupta, R., Singh, S. N. and Sehadri, V., “Prediction of uneven wear in a slurry pipeline on the basis of measurements in a pot tester”, *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*, Wear 184,169–178,(1995).
21. Sezer, H., “AA 6082-T6 alaşımında farklı aşındırıcıların katı partikül erozyonuna etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2017).
22. Wongprachum, W., Sappakittipakorn, M., Sukontasukkul, P., Chindaprasirt, P. and Banthia, N., “Resistance to sulfate attack and underwear abrasion of fiber reinforced cement mortar”, *An international journal dedicated to the investigation and innovative use of materials in construction and repair, Construction and Building Materials*,189,686–694,(2018).

23. Tressia, G., Penagos, J. J. and Sinatora, A., “Effect of abrasive particle size on slurry abrasion resistance of austenitic and martensitic steels”, *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear, Wear* 376-377,63–69,(2017).
24. Budak, S., “Mermer kesici takımlarda matris kompozisyonunun aşınma performansına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2010).
25. Büyükdoğan, S., “Yaşlandırılan Al-Mg-Si alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2011).
26. Çetinkaya, C., “Yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemelerin Al₂O₃ ile aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, Cilt: 6, S: 3, 559-567, (2003).
27. Uzun, H.A., “Borlama ile yüzeyleri sertleştirilen çeliklerin aşınma ve korozyona karşı dayanımları”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2002).
28. Tabur, M., “Bor karbür kaplanmış AISI 8620 ve HARDOX 400 çeliklerinin abrasiv aşınma davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).
29. Bilici, M.K., “Alaşımsız dökme demirlerin aşınma özelliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).
30. Temir, O., “Farklı bileşime sahip sert maden kesici uçların mikro aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2013).
31. Brożek, M., “Abrasive wear resistance of selected woods”, *Res. Agr. Eng.*, 63: 91-97,(2017).
32. Adamiak, M., Górka, J. and Kik, T., “Comparison of abrasion resistance of selected constructional materials”, *Journal Of Achievements In Materials And Manufacturing Materials, Volume: 37, Issue: 2: 375-380*,(2009).
33. “Aşınma ve Sert Dolgular”, Kam Enerji, Kardemir A.Ş/ (2019).
34. İnternet: Inconel® Alloy 625, <https://www.specialmetals.com/assets/smc/documents/alloys/inconel/inconel-alloy-625.pdf/> (2013).

35. İnternet: Welding Filler Metals, <https://www.lmc.sk/pdf2/t-put.pdf/> (2005).
36. “**BOF sistemi günlük flux malzeme kullanım verileri**”, *Çelik Üretim Müdürlüğü, Kardemir A.Ş/* (2019).
37. Şentürk, A., “Döküm sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesi”, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü*, Ankara, (2016).
38. İnternet: Kalite Bilgi Kitapçığı, <https://mert-celik.com.tr/UploadFile/Katalog/3XGNo3Q4Tz.pdf/> (2021).
39. Nakaş, E., “Yanmış kireç taşı elemelerde kullanılan elek panellerinin iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2019)

ÖZGEÇMİŞ

Ozan GENÇ ilk ve orta öğrenimini Akçakoca'da tamamladı. Akçakoca Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2013 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2013 yılında KARDEMİR A.Ş. Çelik Üretim ve Haddehaneler Yatırımları Müdürlüğü'nde Mekanik Proje Mühendisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.