



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RWAT (RUBBER WHEEL ABRASION TEST) YÖNTEMİ İLE
ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN AL 6061 ÜZERİNDEKİ AŞINDIRMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

HANİFE YILMAZ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. MUSTAFA SABRİ GÖK

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**RWAT (RUBBER WHEEL ABRASION TEST) YÖNTEMİ İLE ENDÜSTRİYEL
ATIKLARIN AL 6061 ÜZERİNDEKİ AŞINDIRMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Hanife YILMAZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	:	Doç. Dr. M. Sabri GÖK	-	Bartın Üniversitesi
Üye	:	Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK	-	Bartın Üniversitesi
Üye	:	Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL	-	Karabük Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Hanife YILMAZ tarafından hazırlanan “RWAT (RUBBER WHEEL ABRASION TEST) YÖNTEMİ İLE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN AL 6061 ÜZERİNDEKİ AŞINDIRMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 29.12.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. M. Sabri GÖK (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. M. Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum “RWAT (RUBBER WHEEL ABRASION TEST) YÖNTEMİ İLE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN Al 6061 ÜZERİNDEKİ AŞINDIRMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

29.12.2017

Hanife YILMAZ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması yıllarca süren emeklerin bir ürünü olup, çeşitli insanların işbirliği ve yardımı olmaksızın tezin tamamlanması mümkün değildi. Öncelikle, tez danışmanlığımı üstlenerek araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sırasında değerli bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım hocam sayın Doç. Dr. M. Sabri GÖK'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Her zaman yanımda olan maddi manevi her türlü desteğini esirgemeyen annem, babam, dedem, babaannem, abim ve yengem' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında en büyük destekçim olan sevgili eşim Yıldıray YILMAZ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hanife YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RWAT (RUBBER WHEEL ABRASION TEST) YÖNTEMİ İLE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN Al 6061 ÜZERİNDEKİ AŞINDIRMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Hanife YILMAZ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Bartın- 2017, sayfa: XV + 67

Bu çalışmada, ham demir, çelik ve ferrokrom cevheri üretiminde endüstriyel atık olarak ortaya çıkan cürufların aşındırıcı özellikleri araştırılmıştır. Deneylerde yüksek fırın cürufu (YFC), Çelikhane cürufu (ÇC) ferrokrom cürufu (FKC) ve ticari Al_2O_3 tozları kullanılmıştır. Aşınma testleri Rubber Wheel Abrasion Wear (RWAT) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Karşı yüzey malzemesi olarak Al 6061 seçilmiştir. Testler, 25, 50, 75 ve 100 N luk yükler altında 100 d/dk Rubber Wheel dönme hızında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek aşındırıcılık oranı uygulanan tüm yüklerde YFC cürufunda görülmüştür. Yüksek yüklerde FKC nin aşındırma performansı ticari Al_2O_3 yetiştirilmiştir. ÇC nun aşındırıcı özelliğinin olmadığı anlaşılmıştır. Aşındırma performansında partikül sertliği kadar yüzey morfolojisi ve SPQ (spike parameter–quadratic fit) değerinin önemli olduğu anlaşılmıştır. Aşınma mekanizması olarak YFC ve Al_2O_3 aşındırılan numunelerde spalling, ploughing ve mikro çizilme görülürken, FKC de malzemenin aşırı plastik deformasyona bağlı ekstrüzyona uğradığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Endüstriyel atık, RWAT, Morfoloji, SPQ

Bilim Kodu

625.02.05



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR BEHAVIOR OF INDUSTRIAL WASTES ON Al 6061 MATERIAL USING RUBBER WHEEL ABRASION TEST (RWAT)

Hanife YILMAZ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Mustafa Sabri GÖK

Bartın-2017, pp: XV + 67

In this study, the abrading characteristics of the industrial slags, generated in the form of industrial waste during raw iron, steel and ferrochromium ore production, are investigated. Granulated blast furnace slag (GBFS), basic oxygen furnace slag (BOFS) ferrochromium slag (FCS) and commercial Al_2O_3 powder were used during the tests. Abrasion tests were conducted using Rubber Wheel Abrasion Wear (RWAT) method. Al 6061 was chosen as the counter body material.

The tests were conducted under 25, 50, 75 and 100 N loads with 100 r/min rubber wheel rotational speed. The highest rate of abrasion was obtained from GBFS under all loads as a result of the conducted tests. Under high loads, the abrading performance of FCS reached that of the commercial Al_2O_3 powder. BOFS was found to have no abrading capability. Surface morphology and SPQ (spike parameter-quadratic fit) value were as effective as the particle hardness in the evaluation of abrading performance. As dominant wear mechanisms, spalling, ploughing and micro-scratch formation were observed on the specimens abraded with GBFS and Al_2O_3 , whereas severe plastic deformation-induced extrusion was observed on the specimen abraded with FCS.

Key Words

Ferrochromium slag; Recycling; Waste, RWAT, SPQ, Wear.

Science Code

625.02.05



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
1.1 Aşınma	3
1.2 Aşınmayı Etkileyen Faktörler	6
1.2.1 Ana Malzemeye Bağlı Faktörler	6
1.2.2 Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Faktörler	7
1.2.3 Çevrenin Etkisi.....	7
1.2.4 Servis Koşulları	7
1.2.1 Ana Malzemeye Bağlı Faktörler.....	7
1.2.1.1 Malzemenin Moleküler Yapısı.....	7
1.2.1.2 Malzemenin Sertliği	8
1.2.1.3 Yüzey Pürüzlülüğü.....	8
1.2.1.4 Elastisite Modülü	8
1.2.1.5 Deformasyon Davranışı	8
1.2.2 Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Faktörü.....	8
1.2.3 Çevrenin Etkisi	8
1.2.3.1 Nem.....	9
1.2.3.2 Atmosfer.....	9
1.2.3.3 Sıcaklık.....	9
1.3 Aşınma Tipleri	9
1.3.1 Adhezyon (Yapışma)Aşınması	10
1.3.2 Abrasyon (Çizilme)Aşınması.....	12

1.3.3 Yorulma (Pitting) Aşınması	13
1.3.4 Korozyon Aşınma	16
BÖLÜM 2 CÜRUFLLAR	17
2.1 Yüksek Fırın Cürufu (YFC).....	17
2.1.1 Yüksek Fırın	18
2.1.2 Yüksek Fırının Yardımcı Birimleri	20
2.1.2.1 Hammadde Besleme Sistemi.....	21
2.1.2.2 Fırın Üstü Şarj Sistemi	21
2.1.2.3 Kömür Enjeksiyon Sistemi	21
2.1.2.4 Soba	21
2.1.2.5 Dökümhane	22
2.1.2.6 Kontrol Odası	22
2.1.2.7 Soğutma Sistemi ve Refrakterler	22
2.2 Çelikhane Cürufu	28
2.3 Ferrokrom Cürufu	34
2.4 Alümina Cürufu	37
BÖLÜM 3 LİTERATÜR ÖZETİ.....	41
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOD	44
4.1 Aşındırılacak Numunelerin Hazırlanması	44
4.2 Taramalı Elektron mikroskobu (SEM-Scanning Elektron Microscopy)	44
4.3 Noktasal Analiz Çalışmaları (EDS-Energy Dispersive Spectroscopy)	44
4.4 Sertlik deneyleri	45
4.5 Rubber Wheel Abrasion Testleri (RWAT).....	45
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	46
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
6.1 Genel Sonuçlar.....	60

6.2 Öneriler	61
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	67



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Tribolojik sistemin unsurları	6
2. Adhezyon aşınması	10
3. Birbirine temas eden metal-metal çifti	11
4. Abrasyon (çizilme) aşınması	12
5. Mil yüzeyi çizilme aşınması	13
6. Pitting çukurcuk oluşumu	14
7. Kayma gerilmesi	15
8. Yuvarlanma gerilmesi	15
9. Korozyon aşınma	16
10. Yüksek fırın ana bölümleri	19
11. Yüksek fırın yardımcı bileşenleri	20
12. Yüksek fırın cürufu	23
13. Yüksek fırın.....	24
14. Granülasyon yöntemi	26
15. peletleme yöntemi	27
16. Elektrik ark fırını	29
17. BOF da girdi ve çıktılar	30
18. BOF çelik üretim aşamaları	31
19. Kromit cevheri	34
20. Ferrochrom cürufu	35
21. Ferrochrom üretim ısıtma işlem prosesi	37
22. Alümina cüruf oluşum şekli	39
23. Cüruf numune analizleri	40
24. RWAT deney cihazı	45
25. Ticari Al_2O_3 ün SEM görüntüsü 100x.	46
26. Yüksek fırın cürufunun SEM görüntüsü 100x.	47
27. Ferrochrom cürufunun SEM görüntüsü 100x.	47
28. Çelikhane cürufunun SEM görüntüsü 100x.	48
29. RWAT testine tutulan numunelerin görüntüsü	48
30. 25 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulan numunenin kütle kaybı değeri grafiği... ..	49

31.	Abrasiv partiküllerin işlem esnasında durumu	51
32.	YFC cürufunun aşındırma öncesi SEM görüntüsü x250.	52
33.	25 N luk yük altında aşındırma işleminde kullanılmış YFC cürufu x250	52
34.	YFC nin şematik aşındırma açısı	53
35.	Al ₂ O ₃ aşındırma öncesi SEM görüntüsü x318.	53
36.	25 N luk yük altında aşındırma işleminde kullanılmış Al ₂ O ₃ x400.	54
37.	FKC nin aşındırma öncesi SEM görüntüsü x450.	55
38.	25 N luk yük altında aşındırma işleminde kullanılmış FKC X450.	55
39.	ÇC nin aşındırma öncesi SEM görüntüsü x400.	56
40.	Al 6061 numunesi üzerinden alınan tipik aşınma izi.....	56
41.	Al ₂ O ₃ tozları ile 100 N yük altında aşındırılan numune yüzey fotoğrafı.....	57
42.	FKC tozları ile 100 N yük altında aşındırılan numune yüzey fotoğrafı.....	58
43.	YFC tozları ile 100 N yük altında aşındırılan numune yüzey fotoğrafı.....	59

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1. Aşınma ve birbirleri ile olan ilişkilerini tamamlayıcı anahtar kelimeler	10
2. 1 ton sıvı pik demir için yüksek fırına yüklenen hammadde	18
3. Yüksek fırın cürufu (YFC), klinker ve portland çimentosunun kimyasal ve mineral bileşimi	25
4. BOF çelik üretim evreleri ve süreleri.....	32
5. Abrasiv partiküllerin sertlik değerleri	50



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	:	İvme
m	:	Metre
m ³	:	Hacim
kg	:	Ağırlık(kilo)
mm	:	Boyut
K°	:	Kelvin sıcaklık değeri
C°	:	Santigrad sıcaklık değeri
N	:	SI birim sisteminde kuvvet birimidir
Grid	:	Izgara, kafes
Dev/dk	:	1 dakika da atılan devir
Mesh(meş)	:	Bir elekten geçebilecek en büyük parça ebatı ölçüsüdür
Gr/dk	:	1 dakikada gram cinsinden akan madde miktarı

KISALTMALAR

KYM	:	Kübik yüzey merkezi
SPH	:	Sıkı paket hegzagonal
PCI	:	Pulverize kömür enjeksiyonu
BOF	:	Bazik oksijen fırını
EAO	:	Elektrik ark ocağı
EDS	:	Noktasal Analiz Çalışmaları
YFC	:	Yüksek fırın cürufu
ÇÇ	:	Çelikhane cürufu
FKC	:	Ferrekrom Cürufu
RWAT	:	Rubber Whell Abrasion Test
SEM	:	Taramalı Elektron mikroskobu
ISO-4649	:	Lastikler-vulkanize veya termoplastik-Aşınma direncinin döner bir silindirik tambur yardımıyla tayini

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknik açıdan aşınma kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması haline dış etkenlerden dolayı malzeme yüzeyinden küçük parçacıkların koparak yüzeyden ayrılması sonucu malzemede istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesi olayına aşınma denir (İzçiler, 1997; Çelik, 1992; Yılmaz, 1997).

Bu tanıma göre aşınmadan söz edebilmek için; mekanik etkin bir sürtünmenin olması, yavaş ve sürekli olması, malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmesi gerekmektedir (Türker vd., 1998).

Aşınma ilk kez Sümer ve Mısır uygarlıklarında incelenmiş daha sonraları ise Leonardo da Vinci (1452-1519) ve G. Amontons (1663-1705) tarafından incelenmiş ve ana prensipleri ortaya çıkmıştır. Aşınma; farklı ortamlarda çeşitli tipleri ile madencilik, tarım, makine gibi çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerin ömrünü önemli ölçüde azaltarak ekonomik kayıplara sebep olmaktadır (Erdem, 2006).

Günümüzde ilerleyen teknoloji ile birlikte malzeme bilimcilerinin yapılan çalışmalardaki beklentilere cevap verecek nitelikte yeni nesil malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Son yıllarda aşınma giderilmesi ya da en aza indirilmesi için sanayi devi ülkeler de önemli araştırma harcamaları yapmaktadır.

Malzeme bilimi alanında yapılan çalışmalarda, yüksek aşınma direnci, yüksek dayanım/yoğunluk, iyi korozyon dayanımı sergileyen hafif malzemelerin geliştirilmesi için çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Önemli endüstri alanlarında otomotiv, elektronik, spor, havacılık ve uzay gibi uygulama alanlarında malzeme performansının arttırılmasına yönelik bu özellikler önem kazanmaktadır (Fang ve Chuang, 1999; Haque ve Sharif, 2001; Çiftçi, 2003).

Bu alışmalar arasında en önemlisi aşınmaya karşı koruma yöntemleri arasında yer alan kaplamalardır. Son yıllarda gittikçe önem kazanan bu yöntem malzemelerin yüzeylerinin farklı ince sert bir film tabaka ile kaplanması olayıdır (Erdoğan, 2012).

Yüzeyleri aşınmaya karşı korumak için kaplama işlemi yapılmadan önce son yüzey hazırlama işlemi yapılmalıdır. Kaplama işleminin kaliteli olması için yüzey temizleme işleminin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yüzey hazırlamada en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi ise aşındırıcı püskürtme yöntemidir.

Bu yöntemde aşındırıcı partiküller temizlenecek yüzeye yüksek hızla ve belirli açılarla çarptırılarak yüzeydeki pas, boya, yağ gibi yabancı maddelerin ve yüzeydeki yüksek pürüzlerin düzeltilmesi sağlanır. Püskürtülen aşındırıcının yüzey hazırlamada en önemli rolü oynayan bileşendir. Değişik yapıda farklı malzemeler aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Dünyada en çok silis kumu yıllarca yüzey temizleme kumu olarak kullanılmış olsa da bugün silis kumunun solunum yollarını etkilemesi ve sağlık problemlerine yol aması sebebiyle artık kullanılmamaktadır. Günümüzde mineraller, metalik materyaller, cüruflar en çok kullanılan aşındırıcılar arasında yer alır.

Çeşitli elikthane tesislerinin izabe artığı olarak ortaya çıkan cüruf tamamen saf olmayan metaller ergitildiği zaman yoğunluk farkından dolayı yüzeyde çoğalan daha hafif metallere verilen isimdir. Yüzeyde kalması ile birlikte havayla temas edip oksitlenmeyle oluşur. Metal atığı ve metal kf olarak da bilinir (URL-1, 2016).

Türkiye ekonomisinin büyümesinde önemli rol oynayan metal sanayii üretimi sırasında çok büyük miktarlarda cüruflar ortaya çıkmaktadır. Geri dönüşümü gerçekleştirilemeyen cüruflar oluşturduğu evre sorunlarının yanında, depolama için gerekli alanların tahsis edilmesi için gereken maliyetlerde işletmeleri zor durumda bırakmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucunda cüruflar inşaat sektöründe; dolgu malzemesi, beton agregası, briket ve tuğla yapımında, cüruf yn, yol temel ve alt malzemesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar genel olarak demir-elik sektörünün oluşturduğu cüruflar üzerinde durmuş ve diğer cüruflar ile ilgili yoğun bir çalışma genel olarak yapılmamıştır.

Bu çalışmada ferrokrom, yüksek fırın, çelikhane ve alümina cüruflarının alüminyum malzeme üzerindeki aşınma davranışları incelenmiştir. Bunun için öncelikle temin edilen cüruflar bilyalı değirmen de öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra öğütülerek parçalanan cürufları 30µm analiz elek de elenmiştir. Elenen partiküller RWAT (Rubber Whell abrasion Test) yöntemi kullanılarak 5 mm kalınlığındaki alüminyum levha üzerinde aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan bu deneyler sonucunda alüminyumun endüstriyel atık cüruflar üzerinde ki aşınma işleminde en çok aşındıran cürufun ferrokrom olduğuna ve alüminyum üzerinde hiçbir aşındırma özelliği göstermeyen cürufun ise çelikhane olduğunun sonucuna varılmıştır.

1.1 Aşınma

Mekanik açıdan korozyon ile yorulma etkenleri ile birlikte bugünkü sanayi koşullarında sıkça rastlanan bir diğer problem ise aşınma olayıdır. Teknik bir sorun olan aşınma ekonomiyi de yakından ilgilendirmektedir. Önceki araştırmalar sonucu karşılaşılan aşınma sebeplerinden açığa çıkan parçacık kayıpları ülkelerin yıllık brüt milli hâsılatının %6-7'sini oluşturduğu saptanmıştır (Gök, 2008).

Aşınma, mekanik kuvvetler altında (mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji etkisiyle) katı malzeme yüzeylerinin devamlı bir şekilde azalarak yok olması ve istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır.

DIN 50320'ye göre aşınma; katı cisimlerin yüzey alanlarındaki tribolojik zorlanma sonucu sürekli artan malzeme kaybı şeklinde ifade edilmiştir.

Moore'a göre aşınma; kullanılan numunelerin yüzey alanlarına katı, sıvı ve gazların teması durumunda çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulmaları olarak tanımlanır (Bhushan, 2000).

Malzemedeki yıpranma ve kopma işleminin aşınma sayılabilmesi için bazı kriterlerin olması gerekmektedir. Bu kriterler;

- ✓ Mekanik bir etkileşimin olması,
- ✓ Sürtünme faktörünün olması,
- ✓ Yavaş ve devamlı olması,
- ✓ İstenilmediği halde malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi.

Bu kriterlerin tamamı gerçekleşmiyorsa aşınma olarak düşünülmemelidir (Erdem, 2006).

Yabancı katı parça ve tozlar, nispeten yüzey sertliği daha düşük olan yüzeye yapışarak gömülürler. İlerleyen zaman içerisinde bu parçalar sert yüzeyi eğelercesine ve zımpara yapmışçasına yüzeyden parçalar kaldırmaktadır. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde tahribata sebep olurlar. Bu tahribat zamanla o kadar hızlanır ki kısa sürede makine parçaları yüzeyinde hareket yönünde malzeme kaybından ötürü büyük çiziklere ve oyuklar oluşturur. Aşınma sonucunda kopan parçalar da bu mekanizmaya dahil olurlar ve kısa sürede özelliklerini kaybetmiş olurlar.

Aşınma genelde; pistonlar, yataklar, dişliler, frenler, kırma, öğütme ve taşıma konveyörleri, türbinler, yol, çapa makinaları, maden cevheri, iş makinaları vb. alanlarda gerçekleşmektedir.

Çeşitli mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının çalışma sürelerine büyük ölçüde etki eden aşınma olayı tamamen ortamdaki kaldırılmasa da yapılan çalışmalar sayesinde oluşan hasarların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Erdem, 2006). Aşınma olayını sadece bir malzeme özelliği değil bir bütün olarak sistem olarak düşünülebilir. Bu sisteme tribolojik sistem denir.

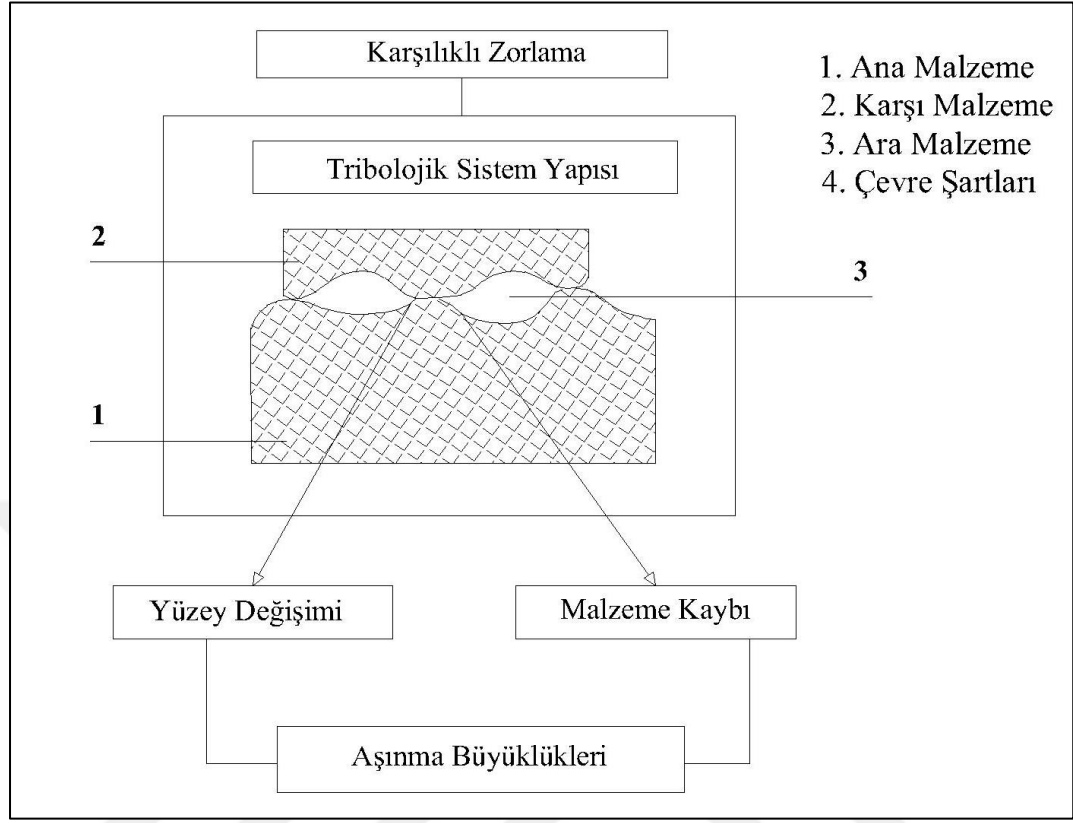
Triboloji, sürtünme, yağlama ve aşınma olaylarını kapsar. Tribolojik sistem ise karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, termal şartlar ve yükün bileşimiyle meydana gelen aşınma olayını inceler (Erdem, 2006).

Tribolojik sistemin elemanları;

- ✓ Ana malzeme (aşınan): Aşınma olayı istenen malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra yüzeysel yapısının da bilinen bir malzeme olması.
- ✓ Karşı malzeme (aşındıran): katı bir cisim, sıvı veya gaz olan karşı sürtünme elemanı, aşınma olayının meydana gelmesinde büyük öneme sahiptir. Karşı malzeme ile ana malzeme aşınma çiftini meydana getirirler.
- ✓ Ara malzeme: ana sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan yardımcı maddedir.
- ✓ Yük: Ana malzemeye uygulanan kuvvetin büyüklüğü, cinsi (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı), yönünde ve zamana göre değişimi yüklemenin kuvvetini belirleyen unsurdur.
- ✓ İzafi yük: Ana malzemenin karşı malzemeye göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıklı olduğu), büyüklüğü ve yönüne bakarak belirlenir.
- ✓ Çevre (ortam): sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, ortam ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır (Sarı, 2013).

Aşınmayı tarif eden birçok terim mevcuttur ve bunlar farklılıklar göstermezler. Bu çoğu zaman, aşınma mekanizmasının birbirine karıştırılmasına sebep olur. Dolayısıyla, aşınma mekanizmalarının analizine yaklaşımımızda anlaşılabilirliği daha iyi gerçekleştirmek için aşınmanın tanımlayıcı anahtar kelimeleri ve aşınma tipleri olarak (Tablo 1)'de gösterilmektedir (Gür, 2006).

Tribolojik sistemin unsurlarını şematik olarak göstermek gerekirse (Şekil:1);



Şekil 1: Tribolojik sistemin unsurları (Özay, 2004).

Aşınma bir malzeme özelliği değildir, bu bir sistem karşılığıdır. Aşınma, dinamik parametrelerin, çevresel parametrelerin ve malzeme parametrelerinden meydana getirilen bir sürtünme sistemi içerisindeki küçük bir değişiklik sonucunda, büyük ölçüde değişiklikler oluşabilmektedir (Bayer, 1994).

1.2.Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörleri dört ana grup da sınıflandırabiliriz. Bunlar;

1.2.1.Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

- ✓ Malzemenin moleküler yapısı,
- ✓ Malzemenin sertliği,
- ✓ Yüzey pürüzlülüğü,

- ✓ Elastisite modülü,
- ✓ Deformasyon davranışı,
- ✓ Malzemenin boyutu.
- ✓

1.2.2.Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Faktörü

- ✓ Malzeme yapısı ve cinsi

1.2.3.Çevrenin Etkisi

- ✓ Nem,
- ✓ Atmosfer,
- ✓ Sıcaklık.

1.2.4.Servis Koşulları

- ✓ Hız,
- ✓ Kayma yolu,
- ✓ Basınç (Kayalı, 1997).

1.2.1.Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

1.2.1.1. Malzemenin Moleküler Yapısı

Molekülerin temas hareketi, çeşitli sürtünmeler, yani yağlayıcının türü, sıcaklık, çevresindeki gazlar ve temizlik koşullarına bağlı olup sürtünme katsayısı dikkate alınır. Sürtünme kuvvetinin etkisi ile aşınma yüzeylerinin derecesinin büyüklüğü de buna göre değişir. Örneğin; ergime sıcaklığı 1495 °C olan saf kobalt yüksek sıcaklıklarda kübik yüzey merkezli (KYM) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki allotropu mevcuttur. Saf kobaltta KYM → SPH ($\alpha \rightarrow \epsilon$) dönüşümü 417 °C de olmaktadır.

1.2.1.2. Malzemenin Sertliği

Malzemedeki sertliğin arttırılması ile birlikte aşınma direncinin de artış gösterdiğini söylemek mümkündür. Ancak belli bir değerden itibaren sertlik aşınmaya karşı direncini yitirir. Sertleşen malzemenin yüzey alanının da ki deformasyon sertleşmesinin de etkisi ile mikro tanecikler ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu tanecikler belirli bir süre sonunda kopar.

1.2.1.3.Yüzey Pürüzlülüğü

Malzemedeki yüzey pürüzlülüğünün küçük veya büyük olmasının malzemedeki aşınma oranına etkisi çok büyüktür. Yüzeyin en az bir kere kaba olarak işlenmiş olması demek sürtünme yüzeyinin azalmasından dolayı yüzeydeki pürüze gelen yükün artması ve dolayısıyla aşınmanın da arttığının göstergesidir.

1.2.1.4.Elastisite Modülü

Malzemenin bir kuvvet altında elastik şekil değıştirme oranını ifade eder. Young modülü ya da elastisite modülü olarak da ifade edilebilir. Elastisite modülü artarsa malzemenin şekil değışimi için gerekli kuvvette artacaktır. Ürün tasarımında en önemli faktördür.

1.2.1.5.Deformasyon Davranışı

Deformasyon sertliği arttıkça malzemenin kırılma kuvveti de artacaktır (Erdoğan, 2012).

1.2.2.Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Faktörü

Aşındırılacak malzeme yapısının da aşındıran malzeme kadar önemi büyüktür.

1.2.3.Çevrenin Etkisi

Ortamda bulunan sıcaklık ve neme bağlı olarak malzeme yüzeyinde oluşacak aşınmayı büyük oranda etkileyen faktördür.

1.2.3.1 Nem

Atmosferdeki nem miktarının artması sürtünme katsayısını azaltacağından aşınma miktarının da azalmasına sebep olacaktır (Erdoğan, 2012).

1.2.3.2. Atmosfer

Vakumlu ortamda bulunan oksijen ana malzeme üzerinde oksit tabakaları oluşturur. Yüzeydeki oksit tabakasının kaldırılması ile oksitlenen bölgede adhezyon aşınması meydana gelir (Erdoğan, 2012).

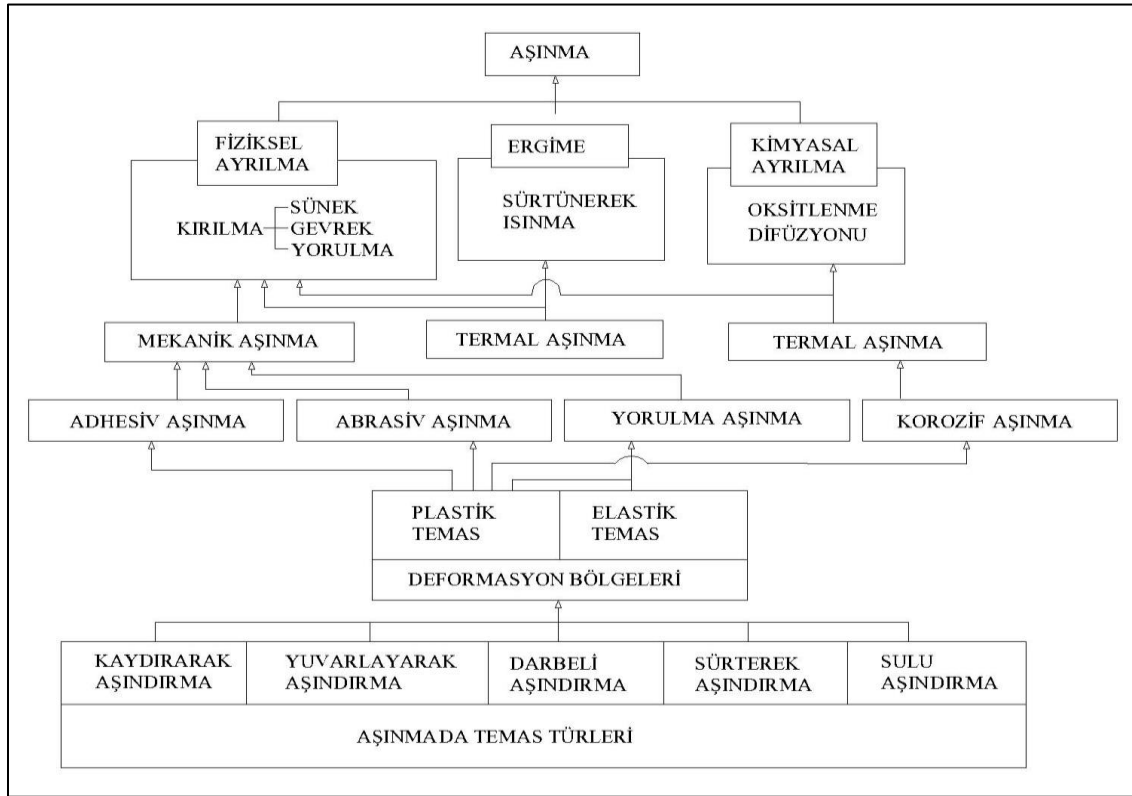
1.2.3.3. Sıcaklık

İki yüzey arasındaki sürtünme ile meydana gelen sıcaklık artışı yüzey sertliğini düşürür oksidasyonu ve plastik deformasyonun oluşmasını kolaylaştırır (Erdoğan, 2012).

1.3. Aşınma Tipleri

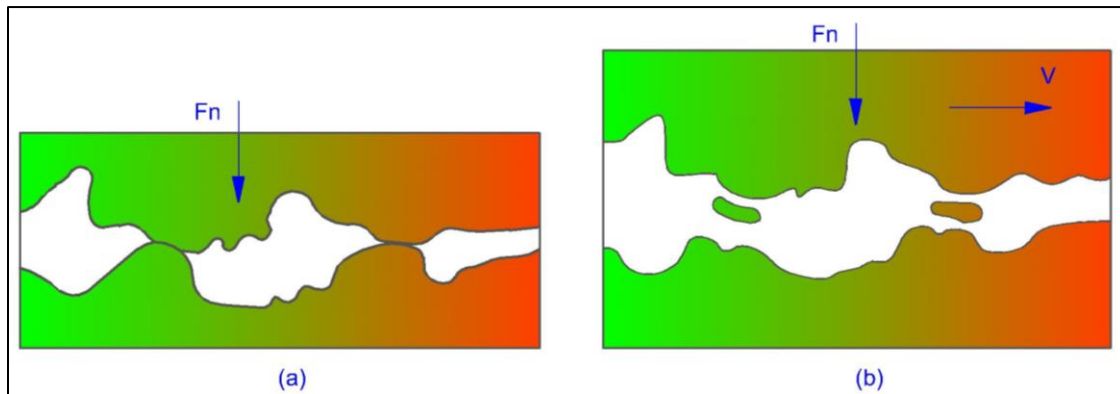
Aşınma tipleri genel olarak (Tablo 1) de yer almaktadır.

Tablo 1: Aşınma ve birbirleri ile olan ilişkilerini tanımlayıcı anahtar kelimeler (Yıldız ve Gür, 2006).



1.3.1. Adhezyon (Yapışma) Aşınması

Adhezyon aşınması en yaygın olarak görülen aşınma sistemidir. Yapışma aşınması olarak da bilinen adhezyon aşınma özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen yapışma olayının bir sonucudur (Şekil 2-3) (Gençoğlu, 2006).



Şekil 2: Adhezyon Aşınma (Varol, 2016).

En çok rastlanan aşınma türü olmasına karşın, aşınma hasarlarını hızlandırıcı etkisi yoktur.



Şekil 3: Birbirine temas eden metal-metal çifti (URL-2, 2017).

Adhezyon aşınma çok düşük hızlarda da meydana gelmekte olup, uygulamada daha çok yüksek hız ve yüklerde görülen bir aşınma tipidir. Sürtünen yüzeyler karşılıklı olarak pürüzlü bölgelerinde etkilerler. Gerçek temas alanı çok küçük olduğundan yüzeylere uygulanan yükün etkisi ile temas eden yüzeylerde temas etme alanı artar. Temastaki pürüzler basıncı taşıyamayacak duruma geldiğinde akma sınırı aşılar ve plastik deformasyon meydana gelir ve adhezyon aşınma oluşur.

Adhezyon aşınmasını önlemek veya en aza indirmek için;

- ✓ Malzeme çiftlerinden herhangi birini sert diğerini ise yumuşak kullanılabilir. Örneğin; demir-bronz veya kalaya dayanabilen yatak malzemeleri kullanılabilir
- ✓ Yağlama işlemi en önemlisidir. Yüksek hız ve basınç altındaki yüzeyler arasına aditifli (katkılı) bir miktar yağ sürüldüğünde aşınma ve yeme yok edilebilir.

1.3.2.Abrasyon (Çizilme) Aşınması

Abrasyon aşınması, izafi hareket yapan iki parçanın temas yüzeylerinden birinin pürüzlü olup, biri sert diğeri daha yumuşak olan bir yüzey üzerinden parçanın koparak yumuşak yüzey üzerini çizerek zımparalama işlemi yapılmış gibi kazıma olayına denir (Şekil 4-5) (Akkurt, 2012).

Aşınan parçalar fark edilmez ise makine parçaları kullanılmaz hale gelebilir. Bu aşınma olayı genellikle iş makinaları, pulluk, kırıcı aletler vb. makine elemanlarında bu tür aşınma işlemi daha çok sık rastlanmaktadır (Issler, 1976).



Şekil 4: Abrozyon (çizilme) aşınması (URL-3, 2017).



Şekil 5: Mil yüzeyi çizilme aşınması (URL-3, 2017).

Abrasyon aşınmasını azaltmak amacıyla;

- ✓ Makine konstrüksiyonunun düzgün yapılması,
- ✓ Sızdırmazlık elemanlarının uygun seçilmesi,
- ✓ Isıl işlem ve yüzey işlemlerinin yapılması,
- ✓ Yüzey kaplamalarının yapılması (Askeland ve Donald, 2014.).

1.3.3.Yorulma (Pitting) Aşınması

Bu aşınma tipi temas yüzeylerinde meydana gelen küçük çukurcukların oluşması şeklinde fark edilir. Bu tür aşınma genellikle rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları kasnaklar vb. makine elemanlarında yani yuvarlanma hareketi yapan makine parçalarının yüzey alanında meydana gelir. Dişli çarklarda oluşan bu çukurcuk oluşumu (Şekil 6) da gösterilmektedir. Bu olay malzemenin yorulmasından kaynaklanmaktadır.

Temas yüzeyleri küçük olduğundan yüzeyde hertz yüzey basıncı oluşur. Oluşan bu basınç ile birlikte sürtünen yüzeyin alt bölümünde kayma gerilmesi meydana gelir. Aşırı zorlanmalar nedeniyle malzeme yüzeyinde yorulmadan kaynaklı maksimum kayma gerilmesinin olduğu alanlarda plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak malzeme yüzeyinde küçük çukurcuklar meydana gelir (Budinski, 1988).



Şekil 6: pitting çukurcuk oluşumu (URL-3, 2017).

Zamanla bu küçük çukurcuklar yüzey alanındaki zorlanmalar nedeniyle büyümektedir. Bu durumda yüzeyler arasındaki yağlanmaların da etkisi büyüktür. Yüksek basınç etkisindeki yağın çatlak yüzeylere girmesi yüzeydeki çukurların büyümesine sebep olacaktır. Kayma ve yuvarlanmadan oluşan tekrarlı bası ve çeki gerilmeleri, yüzey alanının bir bölümünün kırılmasına neden olabilir, kayma ve yuvarlanma gerilmelerine örnek olarak (Şekil 7-8) verilebilir.



Şekil 7: Kayma gerilmeleri (URL-4, 2017).



Şekil 8: Yuvarlanma gerilmesi (URL-5, 2017).

Pitting aşınmasını azaltmak için;

- ✓ Yük minimum dereceye düşürülebilir,
- ✓ Kayma ve basma mukavemetine dayanımı yüksek olan malzemeler kullanılabilir,
- ✓ Yüzeye etki eden basma ve çekme gerilmelerini dağıtan homojen malzeme kullanma,
- ✓ Malzeme yüzeyine sertleştirme ve parlatma işlemi uygulama işlemleri yapılabilir.

Genel olarak yuvarlanma hareketi yapan makine elemanlarında, yüksek sertlik, yüksek basma mukavemetine dayanımı olan malzemeler kullanılır (Kurt, 1990).

1.3.4. Korozi Aşınma

Malzeme yüzeylerinin hava ile temasa geçmesi ile reaksiyona girerek aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit tabakasının oluşmasıdır. Kimyasal maddelerin bulunduğu ortamlarda çalışan makine parçası yüzeylerinde ince sert oksit tabakalar oluşmaktadır. Oksit tabakası (Şekil 9) gösterilmektedir. Değişik yükler altında bu sert tabakalar kırılır ve sert parçacıklar düşerek aşınma oluşturmaktadır. Paslanma ve yok olma bu olaya örnek olarak gösterilebilir (Sakin, 1995).



Şekil 9: Korozi aşınma (URL-6, 2017).

Bu aşınma türü yavaş ilerleyen bir reaksiyondur. Demirin paslanması, alüminyumun oksitlenmesi, duvarın rutubetten kararması ve boyanın dökülmesi örnek olarak gösterilebilir.

BÖLÜM 2

CÜRUFLLAR

2.1. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Demir içerikli hammaddelerin kireç taşı ve kok ile bir arada eritilmesinde kullanılan, kapasitesine göre yükseklikleri 30-90 m arasında değişen fırınlara yüksek fırın denir (SBYKP, 2001).

Yüksek fırının yaklaşık İç hacmi 250-850 m³ tür. Ortalama 1m³ fırın hacmi için 24 saatte 0,5 ile 1,4 ton arasında ham demir elde edilmektedir. 1 ton ham demir elde etmek için kömürün yakıt derecesine göre 450-800 kg kok tüketilir. Yüksek fırının kapasitesi kadar doldurulduktan sonra yakılmasıyla 10-15 saat geçince eriyik ham demir üreilmeye başlanır. Yüksek fırından elde edilen bu ürüne pik adı verilir. Bir günde 4 veya 6 kez eriyik alınabilir.

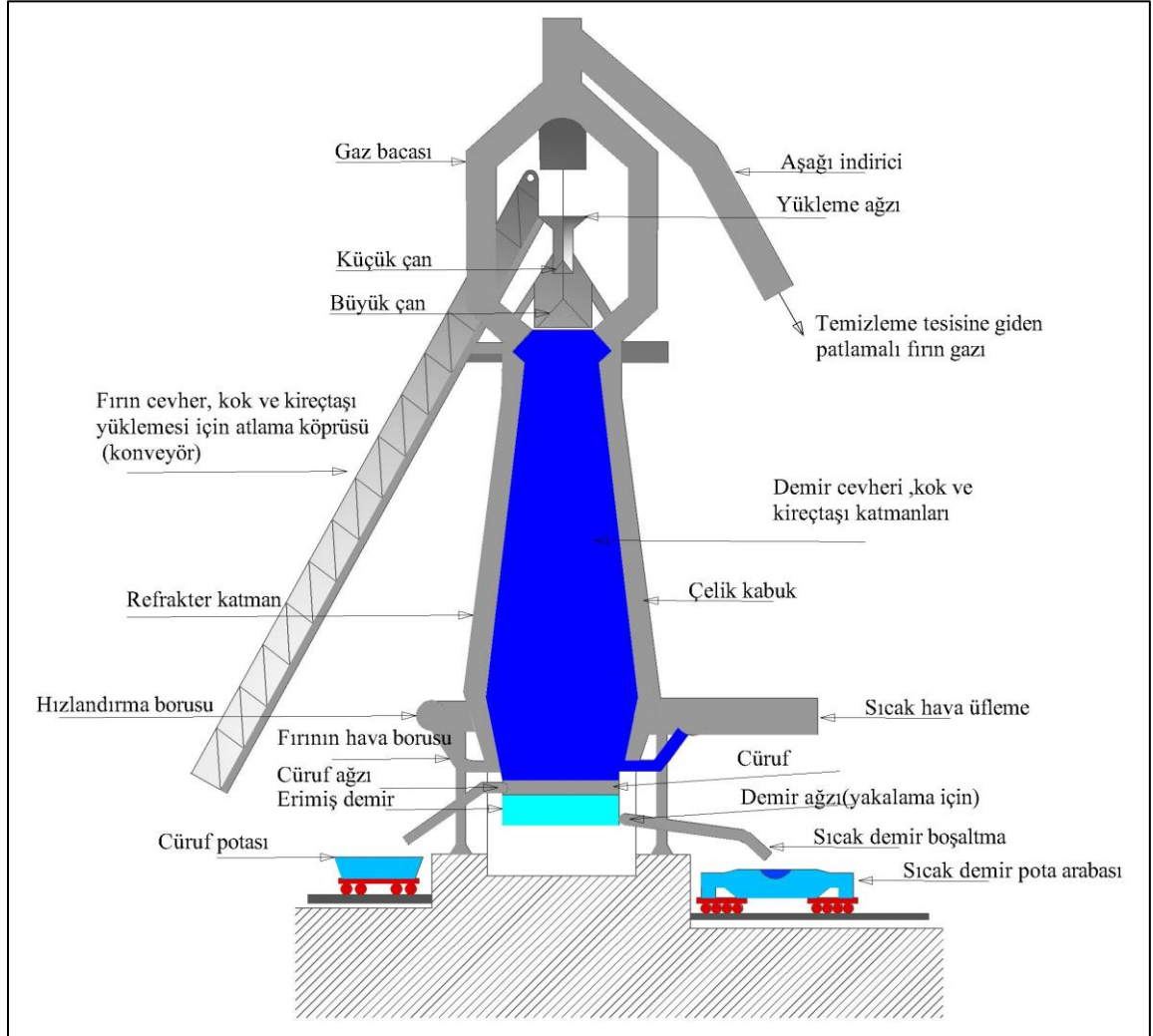
2.1.1. Yüksek Fırın

1 ton sıvı pik demir için yüksek fırına yüklenen hammadde miktarı (Tablo 2) de yer almaktadır.

Tablo 2: Bir ton sıvı pik demir için yüksek fırına yüklenen hammadde (URL-7, 2017).

1 ton sıvı pik demir için yüksek fırına yüklenen hammadde			
<u>Malzeme miktarı (kg)</u>		<u>Boyutu(mm)</u>	<u>Fırından alınan</u>
Kok kömürü	380	50	Sıvı pik demir sıcaklığı(°K) 1800
Sintercevhher	1160	20	Cüruf/pik demir oranı 0,30
Pelet cevher	190	12	<u>Pik demirin kompozisyonu</u>
Kireçtaşı	280	25	<u>(%ağırlık)</u>
			C 4,50
			Si 0,39
			Mn 0,27
			P 0,10
			S 0,03
			<u>Cürufun kimyasal kompozisyonu</u>
			<u>(%ağırlık)</u>
			SiO ₂ 33,8
			CaO 45
			Al ₂ O ₃ 14,3
			MgO 6,5
			MnO 0,26
			S 0,96
<u>Fırın gazının kompozisyonu (hacimce)</u>			
<u>Toplam miktar (m)</u>		1533	
CO	%22		
CO ₂	%22,8		
H ₂	%4,2		
Sıcaklık (°K)	430		
Basınç (Mpa)	0,25		

Yüksek fırınlarda sıvı ham demir üretmek amacı ile demir içeren hammaddeler (pelet, cevher, sinter gibi), cüruf üretmek ve oluşturulacak cürufun yapısal içeriğini ayarlamak için oksit içerikli hammaddeler (flux malzemeleri dolomit, kireçtaşı gibi), ısı oluşumunu ortaya çıkarmak amacı ile karbon içerikli hammaddeler (katran, kok, kömür, fueloil gibi) kullanılmaktadır.



Şekil 10: Yüksek fırının ana bölümleri

Fırının üst ucunda çan sistemi ya da oldukça modern bir yapı olan çansız tepe vardır. Hammadde fırının üst bölümünden çan sistemi ile iç bölgeye akmaktadır. Hammaddelerin ve gazın ısınması sonucu hacimleri genişlediğinden dolayı rahat hareket etmeleri için gövde çapı aşağıya doğru genişlemektedir. Fırının en geniş bölgesi gövdenin bittiği yerde başlayan ve dikey ekseninde çapı sabit olan bel bölgesi bulunmaktadır. Cürufun ve metalin erimesi sonuç olarak burada başlamaktadır. Karın bölgesi ters koni şeklinde olup üst kısmı bel alt kısmı hazne ile birleşmiştir. Karın bölgesinde ergime olayı ile son cüruf meydana

gelmektedir. Eriyik metal ile oluşan cüruf karın bölgesinin altındaki dikey ekseninde çapı sabit olan haznede birikir. Buradan da arabalara dökme işlemi gerçekleştirilir. Anlatılan bu işlem basamakları şematik olarak (Şekil 10) gösterilmektedir.

2.1.2.Yüksek Fırının Yardımcı Birimleri

2.1.2.1.Hammadde besleme sistemi,

2.1.2.2.Fırın üstü şarj sistemi,

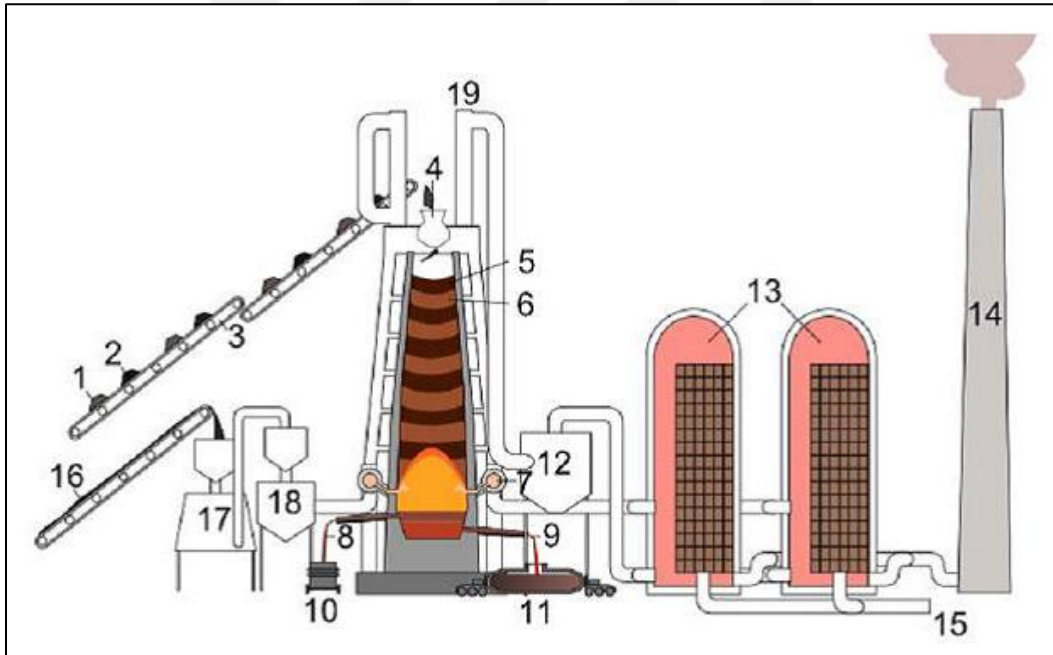
2.1.2.3.Kömür enjeksiyon sistemi,

2.1.2.4.Soba,

2.1.2.5.Dökümhane,

2.1.2.6.Kontrol odası,

2.1.2.7.Soğutma sistemi ve refrakterler (Aydın, 2005).



Şekil 11: Yüksek fırın yardımcı birimleri (URL-8, 2017).

1.Sinter,

2.Kok,

3.Asansör,

4.Besleme girişi,

- 5.Kok arabası,
- 6.Cevher ve flaks sinter/pelet tabakası,
- 7.Sıcak hava($\approx 1200^{\circ}\text{C}$),
- 8.Cüruf alımı,
- 9.Pik demir alımı,
- 10.Cüruf arabası,
- 11.Pik demir için torpido arabası,
- 12.Toz tutucu (siklon),
- 13.Sıcak hava fırınları,
- 14.Baca,
- 15.Fırınlara hava besleyici,
- 16.Toz kömür,
- 17.Kok fırını,
- 18.Kok,
- 19.Yüksek fırın baca gazı borusu.

2.1.2.1.Hammadde Besleme Sistemi

Fırında kullanılacak malzemelerin stoklarının tutulduğu, hazırlandığı ve fırına aktarıldığı ünitelerdir.

2.1.2.2.Fırın Üstü Şarj Sistemi

Bu sistemle şarj fırın içine verilmektedir.

2.1.2.3.Kömür Enjeksiyon Sistemi

Pulverize kömür enjeksiyonu (PCI), büyük hacimlerde ve toz halindeki kömürü yüksek fırına üfleme yoluyla besleyen bir prosesdir.

2.1.2.4.Soba

Yüksek fırının içinde bulunan kokun yanmasını sağlayan sıcak havanın oluşmasını sağlar.

2.1.2.5.Dökümhane

Sıvı pik ve cürufun fırından alındığı yerlerdir. Yüksek fırın üretim kapasitesine göre sayıları 1 ile 4 arasında değişir.

2.1.2.6.Kontrol Odası

Yüksek fırın otomasyon sisteminin bulunduğu bölümdür. Soba, hammadde sistemi, şarj sistemi gibi yüksek fırının önemli bölümleri bilgisayarlar ile kontrol edilerek çalıştırılır.

2.1.2.7.Soğutma Sistemi ve Refrakterler

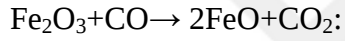
Yüksek fırında meydana gelen reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ısı tüyer önünde (yanma bölgesinde) yaklaşık 2200 °C fırın üstünde (hammaddenin fırınla karşılaştığı bölümde) ise 150 °C civarındadır. Sobalardaki sıcaklık ise 1250 °C civarındadır. Bu nedenle fırında ve sobada sıcaklığa maruz kalan kritik bölgeler soğutulmalıdır.

Dünyada çelik üretiminin % 60' ı yüksek fırınlarda ve çelikhanelerde üretilirken % 40 ı ise hurdaların eritilmesiyle yapılmaktadır. Hurdaların kaynakları da yüksek fırın olduğu için dünya çelik üretiminin % 99'unda yüksek fırınlar kullanılmaktadır.

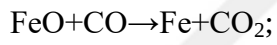
Yüksek fırın cürufu, demir çelik fabrikalarında açığa çıkan demir filizi gangi kok ve kireçtaşının 1400-1600°C yanması sonucu ortaya çıkan cüruftur (Şekil 12) (Tokyay ve Erdoğan, 2009).



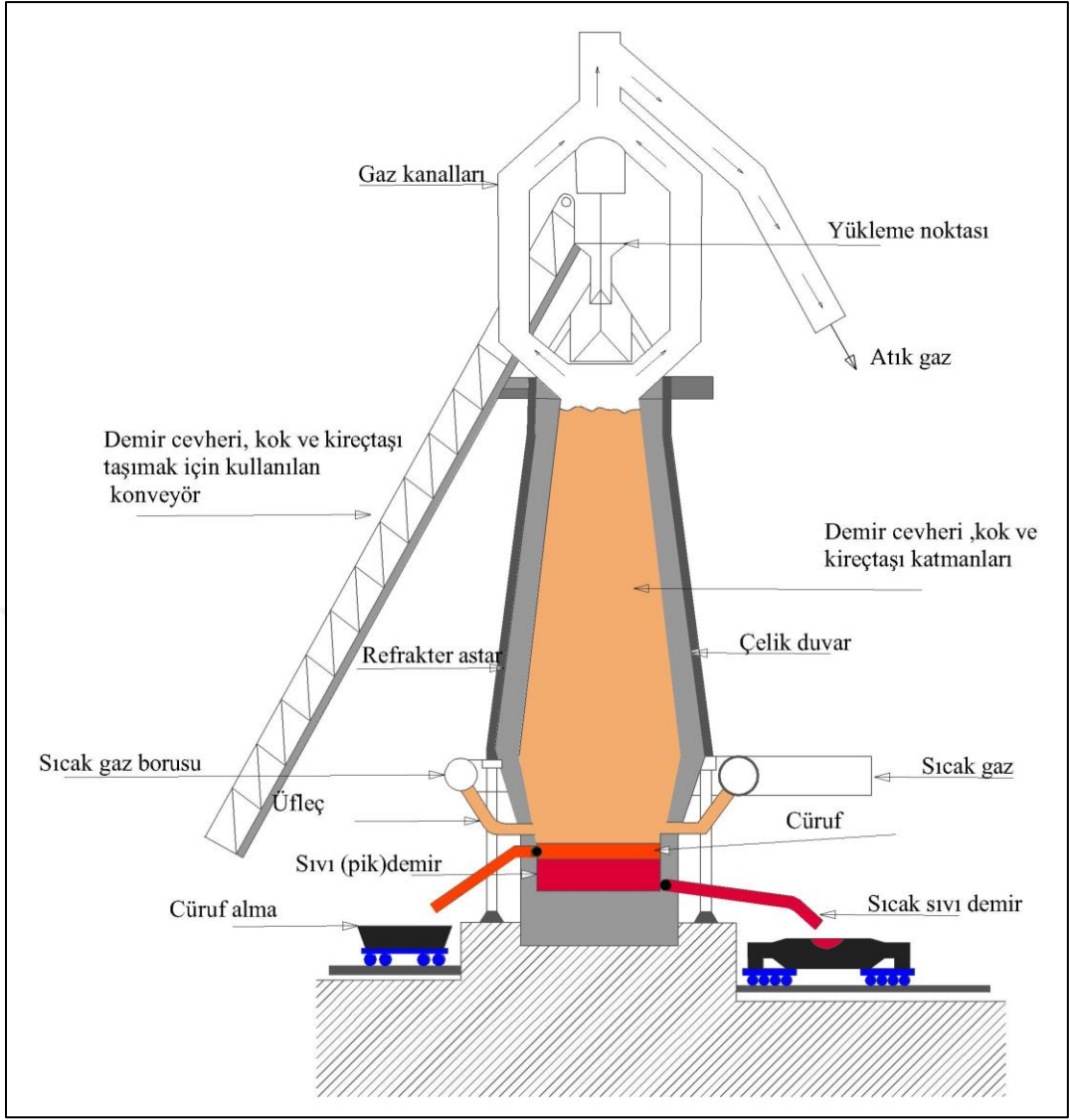
Şekil 12: Yüksek fırın cürufu



CO₂ kok ile tepkimeye girerek CO oluşur.



Kireçtaşı $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, kireç silika (SiO_2), kükürt (S), alümina (Al_2O_3) gibi saf alaşımlarla birleşerek sıvı demirin üzerindeki eriyik yapı oluşur. İlk tepkimede oluşan CO ve CO₂ üst taraftan dışarı atılırken diğer üç tepkime ürünleri cüruf olarak eriyik metalin üstüne yapışır. Kireç saf alaşımların cürufta birikmesini sağlayarak temizleyici işlevi görür. Su ile hızlı soğutularak granüle bir yapı oluşturulur. Oluşan bu yapının üretim aşamaları (Şekil 13) da gösterilmiştir.



Şekil 13: Yüksek fırın (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

Erimiş halde bulunan cüruf hızlı soğutma işlemine tabi tutulduğunda akışkanlığında ani bir azalma olur ve kristal yapılaşmayı engelleyerek camsı bir yapıda katı eriyik meydana gelir. Oluşturulan yarı kararlı camsı malzeme sodyum hidroksit (NaOH) veya kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) gibi aktivatörler kullanılarak veya ince öğütülmek ve porland çimentosunun hidratasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)_2 yi kullanarak hidrolik özelliğe sahip olur. Aktivasyon sonucunda kalsiyum silikat hidratlar açığa çıkar (Tablo 3) (Tokyay ve Erdoğan, 2009; TÇMB/AR-GE/Y97.1).

Yüksek fırın cürufu yapısal olarak inorganik bir malzemedir. Yapısında silisyum oksit(% 30-35), magnezyum oksit (% 1-6), kalsiyum oksit(% 28-35), $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ gibi inorganik

bileşenler içermektedir. (Das vd., 2007). İçerisinde düşük miktarda demir içerdiği için çimento endüstrisinde rahat olarak katkı maddesi olarak kullanılabilir. (Das vd., 2007).

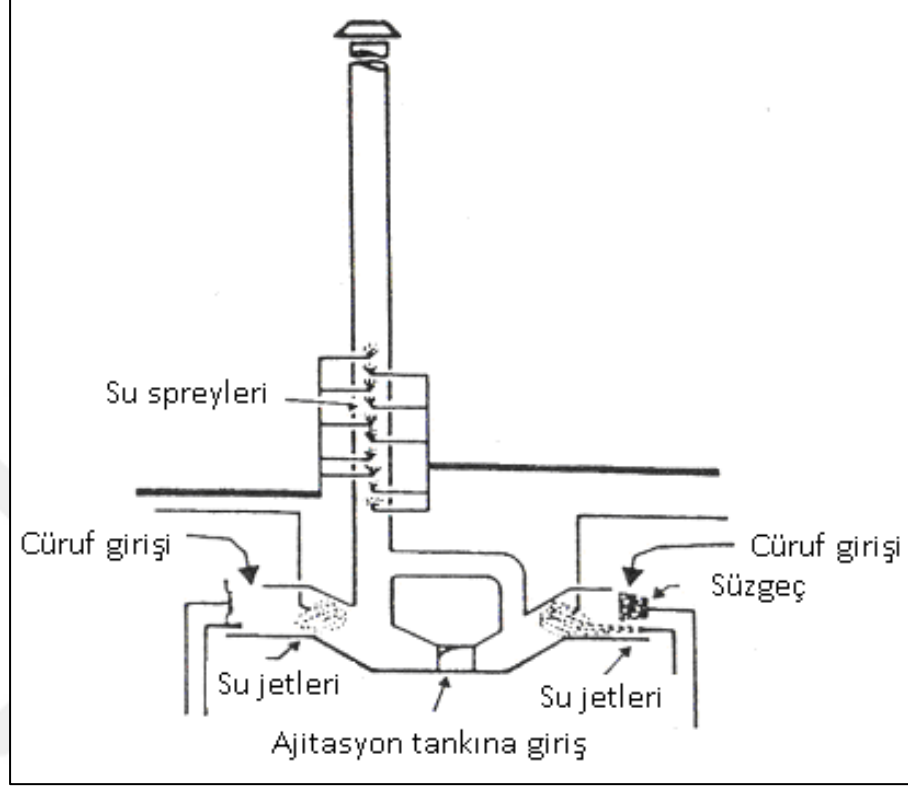
Tablo 3: Yüksek fırın cürufu, klinker ve portland çimentosunun kimyasal ve mineral bileşimi.(Das vd., 2007).

Bileşim (%)	Portland çimentosu	Klinker	Yüksek fırın cürufu
KK(kızdırma kaybı)	1,38	1,5	2,25
Çözünmeyen Kalıntı	1,18	0,5	-
SiO ₂	20,91	21,5	37,14
CaO	62,18	66,6	37,40
Al ₂ O ₃	5,82	5,2	9,15
Fe ₂ O ₃	3,40	2,8	1,05
MgO	2,36	1,0	11,70
SO ₃	2,78	1,0	0,37
Mineralojil Bileşim	C ₃ S-42-46, C ₂ S-25-27, C ₃ A-6-10, C ₄ AF-5-10	C ₃ S-54-62, C ₃ A-5-10, C ₂ S-20-22, C ₄ AF-10-13	-

İçerisinde yüksek oranda silis, alüminyum içeren ve amorf yapıya sahip olan yüksek fırın cürufu uygulanan soğutma yöntemine göre değişik yapısal karakteristik özellikler göstermektedir (Bilim ve Atış, 2011).

Genellikle bol su ile çok hızlı soğutma işlemine tabi tutularak kum taneleri büyüklüğünde(en büyük tane boyutu 4 mm) parçalar meydana geldiğinden dolayı “granüle yüksek fırın cürufu” olarak adlandırılmaktadır. Yapılan granülasyon aşamaları aşağıdaki (Şekil 14) te gösterilmektedir. Granülasyon yönteminde 1 ton cüruf için yaklaşık 100 m³ su kullanılmak gerekir. Yapılan bu işlem sonucunda cürufun içinde yaklaşık % 30 oranın süzülür.

Eriyik cürufun çok hızlı soğutulması işlemi, cürufa hem camsı (amorf) hem de granüle bir yapı oluşmasını sağlamaktadır (Erdoğan, 1995). Granüle yüksek fırın cürufu çimento sektöründe kısıtlı miktarda kullanılmaktadır.

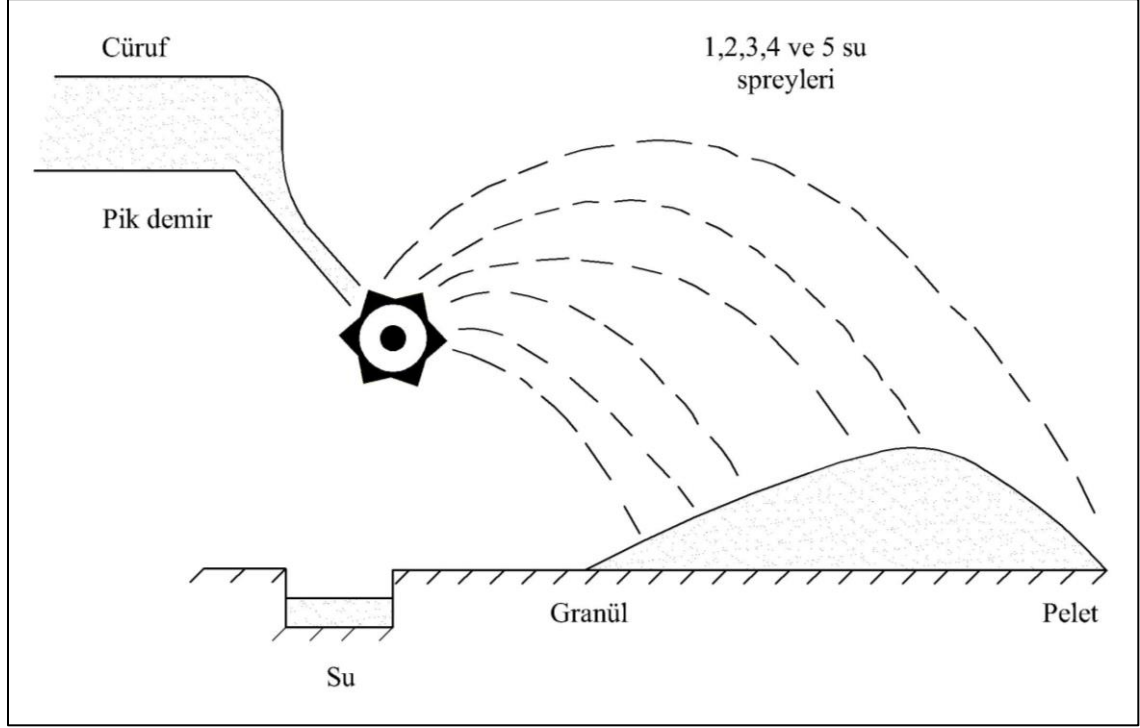


Şekil 14: Granülasyon yöntemi (Saran, 2007).

Yüksek fırın cürufları, öğütülerek çok ince taneli bir yapıya getirilerek puzolanik özellik gösterdiğinden, beton içerisine öğütülmüş olarak granüle yüksek fırın cürufu katılabilmektedir. Bu cüruf taze ve sertleşmiş betonun yapısını iyileştirmektedir. Betonu hiç cüruf içermeyen normal bir betona kıyasla agrasif çevre koşullarına karşı daha dayanıklı yapmaktadır. Bu zaman kadar yapılan araştırmalarda, cürufun katkısının geçirgenlik korozyon dayanıklılığı, durabilite, mukavemet ve işlenebilirlik, terlemeyi azaltmaktadır, ateşe dayalıdır, ekstra sertlik vermektedir, su geçirimsizliği azalmakta gibi beton karakteristiklerini iyileştirdiği görülmüştür (Babu ve Kumar, 2000).

Peletleme yönteminde ise cüruf su ile soğutulduktan sonra 300 tur dönen tambur içerisine hava püskürtülerek cüruf küçük parçalara ayrılmaktadır. Bu yöntemle üretilen cürufa “hafif cüruf” denir. Peletleme yöntemi sonucu farklı boyutlarda oluşurlar. 4-15mm büyüklüğünde olanlar büyük boyutlu, çok gözenekli ve kısmen kristalize bir yapıya sahip oldukları

bilinmektedir. Bu boyuttakiler genellikle beton agregasında kullanılırlar. Boyutları 4 mikrometreden küçük olanlar ise camsı bir yapıya sahiptirler. Çimento üretiminde bağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılırlar. Peletleme yöntemi şekil itibariyle (Şekil 15) te gösterilmektedir.



Şekil 15: Peletleme yöntemi (Saran, 2007).

Genel olarak yüksek fırın cürufu beton agregası, demiryolu balastı, çimento sanayi, briket ve tuğla yapımı, prefabrik, cam üretimi, yem sanayi, dolgu malzemesi gibi alanlarında oldukça kullanılmıştır (TÇMB, 2001).

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, beton üretiminde 3 farklı yöntem ile kullanılmaktadır;

- ✓ Kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirilerek, hidrolik bağlayıcı madde olarak,
- ✓ Beton katkı maddesi olarak,
- ✓ Porland çimentosu klinkeri ve alçı taşı ile birlikte veya ayrı ayrı öğütülerek "cürufu çimento" üretiminde kullanılmaktadır.

Yüksek fırın cürufu öğütülmeden beton agregası, hafif betonlar, hafif dolgu malzemesi, yalıtım malzemesi olarak kullanılırken öğütülmüş olarak ise çimento yapımı, beton agregası, cam sanayi, harç enjeksiyonu, zemin stabilizasyonu gibi alanlarda kullanılır (Bilgen vd., 2010).

Türkiye de granüle yüksek fırın cürufu Ereğli demir çelik fabrikasında 4 milyon ton depolanmış olarak beklemektedir.

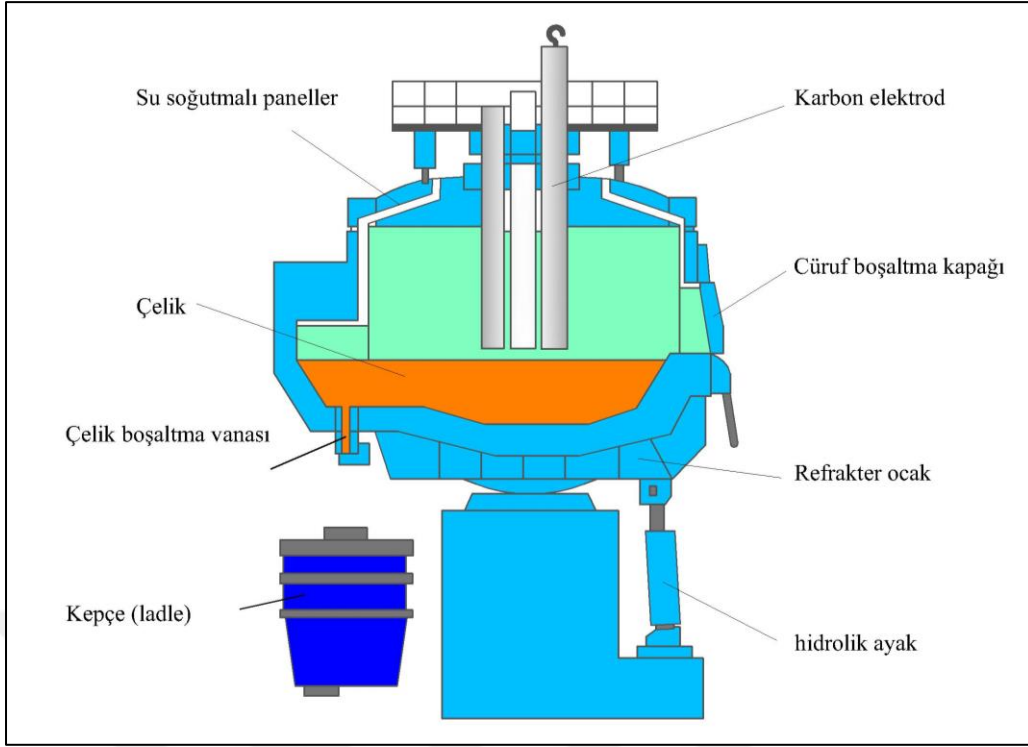
2.2. ÇELİKHANE CÜRUFU

Demir çelik fabrikalarının yan ürünü olan çelikhane cürufu, çelik üretim aşamasında, çelik kütüklerinin oksitlenmesi sonucu temel bazik oksijen fırını (BOF) veya elektrik ark ocaklarında (EAO) ergimiş haldeki demirin temel olarak demir, mangan, alüminyum, kalsiyum ve magnezyum oksitleri ile birleşmiş halde ferritler ve kalsiyum silikatlardan oluşan ve safsızlaştırılma işlemi aşamasından ortaya çıkan cüruf dur.

Oksijenle çelik üretiminde (BOF) kullanılan hammaddeler şunlardır;

- ✓ Sıvı pik demir,
- ✓ Hurda ve soğutucular,
- ✓ Cüruf yapıcılar.

Elektrik ark ocağında hurda, ocağa üstten vinç ile aktarılmakta ve şarj edilmektedir. Elektrotlara verilen elektrik akım ile meydana gelen ark ile açığa çıkan ısı hurdayı eriterek sıvı çelik oluşturmaktadır. Elektrik ark ocağı genel hatları ile (Şekil 16) da gösterilmektedir.

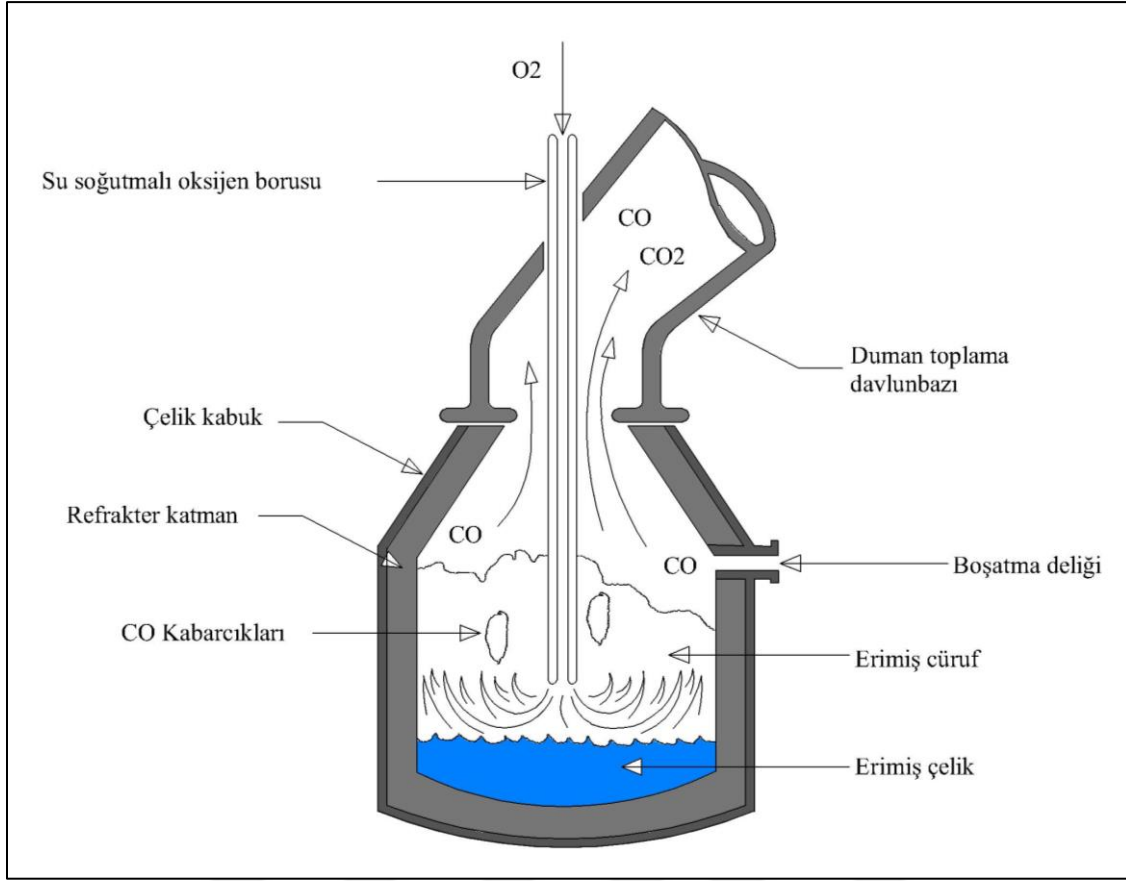


Şekil 16: Elektrik Ark fırını (Dündar, 2006).

Ark ocağına hammadde haricinde yardımcı cüruf yapıcı malzemelerde aktarılmaktadır. Bunlar kireç taşı(CaCO_3), kireç (CaO), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) gibi malzemeler ilave edilmektedir.

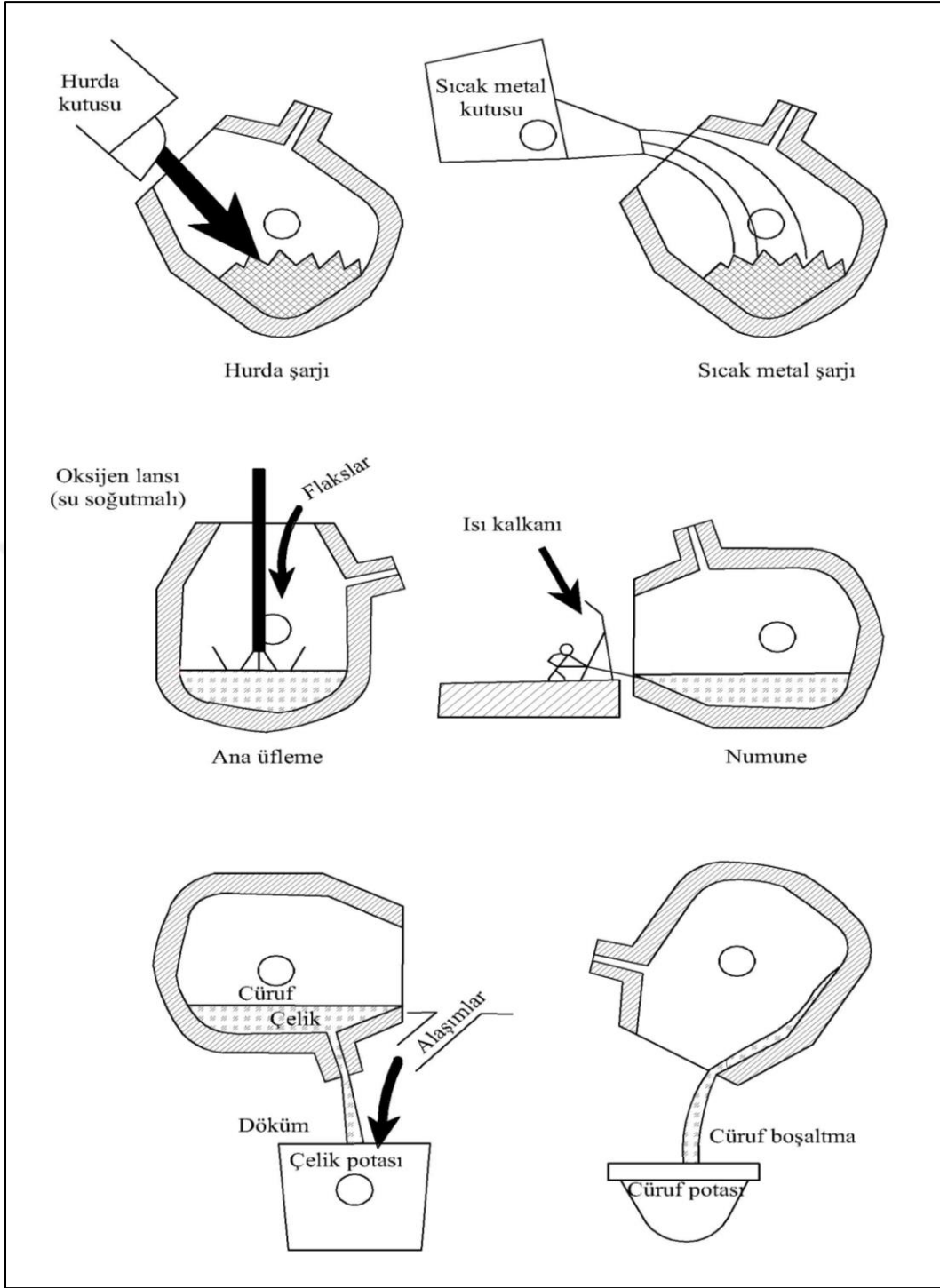
Erdemir de çelik üretimi bazik oksijen fırınlarında üretilmektedir ve burada üretilen çelikhane cüruflarına da BOF cürufları denilmektedir (Özgen, 2001).

Yüksek fırından çelikhaneye getirilen sıvı ham demir, 180 tonluk vinçlerle 1300 ton kapasiteli mikserlere boşaltılarak hammaddenin depolandıktan sonra konvertörlerin kullanabileceği alanlara uygun kompozisyonlar sağlamaktadır. Mikserin içinde sıvı ham demirin sıcaklığını sabit tutabilmek için kok gazı yakılır (Soysal, 2014).



Şekil 17: BOF da girdi ve çıktılar.

Çelik yapımı üstten üflemlili oksijen konvertöründe (BOF) gerçekleşir. Konvertöre önce çelik hurdası boşaltılır, sonra da mikserler den potalara alınan sıvı ham demir şarj edilme işlemi yapılır. BOF’ da girdi ve çıktılar (Şekil 17) de gösterilmektedir. Sıvı ham demirin içinde bulunan karbon, silisyum, kükürt, mangan ve fosfor gibi elementler 17-20 dakika oksijen püskürtülerek ve kalsine kireç, kok tozu, dolomit gibi yardımcı malzemeler ilave edilerek istenen değerlere düşürülme işlemine tabi tutulur. Sıvı ham demir içerisindeki silisyum, karbon, kükürt, fosfor değerleri olması gereken değer pozisyonuna düştükten sonra yaklaşık 1635°C sıcaklık da ergiyik çelik olarak potalara dökülür. Bu istenmeyen elementlerden arındırma işlemi konvertörün içine ilave edilen kireç (CaO) ile yapılmaktadır (Karagöl, 2004). BOF işleminin temel aşamaları (Şekil 18) da görülmektedir. Yapılan bu işlemin amacı: karbon miktarını %4 ten %1 in altına düşürmek, kükürt veya fosforun azaltmak veya kontrol altına almak, hurda ve sıcak metalden oluşan çelik malzemenin sıcaklığını 1635°C ye yükseltmektir.



Şekil 18: BOF Çelik üretim aşamaları (URL-9, 2018).

Konvertör kendi eksenini etrafında döndürülerek ağız kısmı aşağıya gelecek şekilde aktarılıp potalara dökülür (URL-9, 2018). Buradan ikincil metalürji istasyonuna gönderilir ve bundan sonraki aşamada çelik katı forma dönüştüğü sürekli döküm merkezidir. Sürekli döküm işleminde çelik kare kesitli veya yassı mamul yarı mamul olan yaklaşık 2 m genişliğinde slablar üretilir (Tekant, 2001).

Yaklaşık olarak bir döküm 40-45 dakika sürmekte ve 220 ton çelik üretilmektedir. Üretim aşama evreleri (Tablo 4) te görülmektedir.

Tablo 4: BOF çelik üretim evreleri ve süreleri (URL-9, 2018).

Evre	Dakika	Oluşan işlem
Sıcak metalik ve hurda şarjı	5-10	Hurda çevre sıcaklığında, sıcak metal ise 1340°C de
Oksijen üfleme	14-23	Oksijen, cüruf yapmak üzere hurda ve sıcak metal Si, C, Fe, Mn, P ve flaks ilaveleriyle reaksiyona girer.
Numune testi	4-15	Çelik 1650 °C analiz yapılır
Döküm	4-8	220-250 ton arasındaki çelik konvertörden potaya dökülür
Fırından cürufun boşaltılması	3-9	Cürufun çoğu boşaltılır

Ereğli demir çelik fabrikasında 1 yılda yaklaşık 300.000~350.000 ton çelikhane cürufu oluşmak da ve büyük bir kısmı ise kullanılmamaktadır. Atık sahalarında toplanarak çoğu zaman çöp olarak dökülmektedir. Bu endüstriyel atıkların geri dönüşüm olarak kullanılması ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır. Ark ocağının içine oksije basılarak çelik karışımındaki istenmeyen elementler (C, Si, P, S vb.) oksitlenerek cüruftan uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Meydana gelen oksitler, cüruf yapıcı malzemelerle karışarak ergimiş haldeki cürufu oluşturmuş ve yoğunluk farkından dolayı ark ocağının içinde bulunan sıvı çeliğin üstüne birikmiştir. Demirin bir bölümü ise oksitlenerek demir oksit halinde cürufa karışarak akışkanlık sağlamıştır. Cürufun içinde bulunan çeliğin cüruf ile birlikte katı atık olarak işlem görmesi ekonomik olarak kayba neden olmuştur (DDÇE, 2013).

Çelikhane cürufu diğer puzolanik özelliği olan diğer atık cüruflardan farklı bir yapıya sahiptir. Kalsiyum karbonattan oluşan bu ürün ince boyutlarda agrega olarak beton asfaltta kullanılmaktadır. İçerisinde bulunan serbest CaO ve MgO hacim oranını önemli ölçüde değiştirmektedir (Özkan, 2006). Çelikhane cürufu çimento sektöründe kullanılmamaktadır.

Çelikhane cürufunun farklı üretim sahalarında hammadde olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesindeki en önemli etkenlerden bir tanesi işlemin ekonomik olmasıdır. Günümüzde cürufların büyük bir bölümü, içeriğinin hangi alanda faydalı olduğu bilinmeden kullanılmaktadır (DDÇE, 2013).

Kara yollarında yapılan alt taban dolgu agregası olarak,

- ✓ Maden drenajları,
- ✓ Erozyon kontrol agregası,
- ✓ Demir yolu ve geçitlerde,
- ✓ Düzenli depolama alanlarında örtü malzemesi,
- ✓ Bahçe düzenleme çalışmaları,
- ✓ Deniz dolgusu ve rıhtım inşaatlarında,
- ✓ Kaldırım döşemelerinde kullanılmaktadır.

Kullanım alanları her ülkenin ve tesisin özel koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; Japonya ve Avustralya da karayollarında dolgu agregası olarak kullanılırken Çin de ise Çimento sektöründe kullanılmakta, Güney Kore de malzeme yapısına geri dönüştürülerek yüksek fırın ve sinter proseslerin de kullanılmaktadır. (Brantz vd., 1990; Akihiko, 1994).

2.3. FERROKROM CÜRUFU

Ferrokrom; kromit cevheri madeninin kok kömürü kullanılarak elektrikli ark ocakların da ısıtılması ile üretilmektedir (Tahtakıran,2007). Kromit ya da krom cevheri, lavın katılaşması sonucu oluşan kayalarda bulunmaktadır. Kromit cevheri (Şekil 19) da gösterilmektedir.



Şekil 19: Kromit cevheri.

Kromit rezervleri yeryüzünde ve yer altının da derinlerinde bulunmaktadır. Kromit rezervi birleşik devletler jeoloji araştırmalarına göre 11 milyar tonu aşan rezervleri ve yüzyıllar boyunca dünya ihtiyacını karşılayabilecek kadar bol miktarda kaynakları olduğunu belirtmiştir. 2000 yılından bu zamana kadar krom cevheri düzenli olarak artmaktadır. 15 milyon tondan, 2008 yılında 25 milyon tona yükselmiştir. Bu artışlara bağlı olarak paslanmaz çeliğin ihtiyaç doğrultusunda üretiminin genişletme çalışmaları devam etmektedir (EKAŞ., 2017).

Metalurji sektöründe krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik üretiminde kullanılan ferrokrom cevheridir. Ferrokrom cürufu (Şekil 20) de gösterilmektedir. Krom çeliğe sertlik, darbeye karşı direnç, kırılmayı önleme, aşınma ve

oksitlenmeye karşı koruyucu bir etkiye sahiptir. Krom kimyasal paslanmayı önleyen özelliklerinden dolayı paslanmaz çelik, silah yapımı, uçak, gemi, deniz altı, mermi yapımı gibi alanlarda kullanılmaktadır (Erdoğan, 2012).



Şekil 20: Ferrokrom cürufu.

Kromit cevheri iki tip de bulunmaktadır. Bunlardan birincisi tabak(stratiform) şekilli yataklar bir diğeri ise alpin tipi (podiform) yataklardır. Türkiye de kromit yatakları alpin tiplidir. Genel olarak küçük boyutlu, düzensiz geometrik şekilli (merceksi), Cr/Fe oranı 3/1-2/1 arasında ve yüksek metalürjik kaliteye sahiptir. Dünya kromit rezervinin yaklaşık %0,2 si Türkiye de bulunmaktadır (Tahtakıran, 2007).

Türkiye de ki krom yatakları;

- ✓ Eskişehir Bursa bölgesi,
- ✓ Çankırı bölgesi,
- ✓ Erzincan bölgesi,

- ✓ Guleman- Hatay bölgesi,
- ✓ Burdur- Fethiye bölgesi.

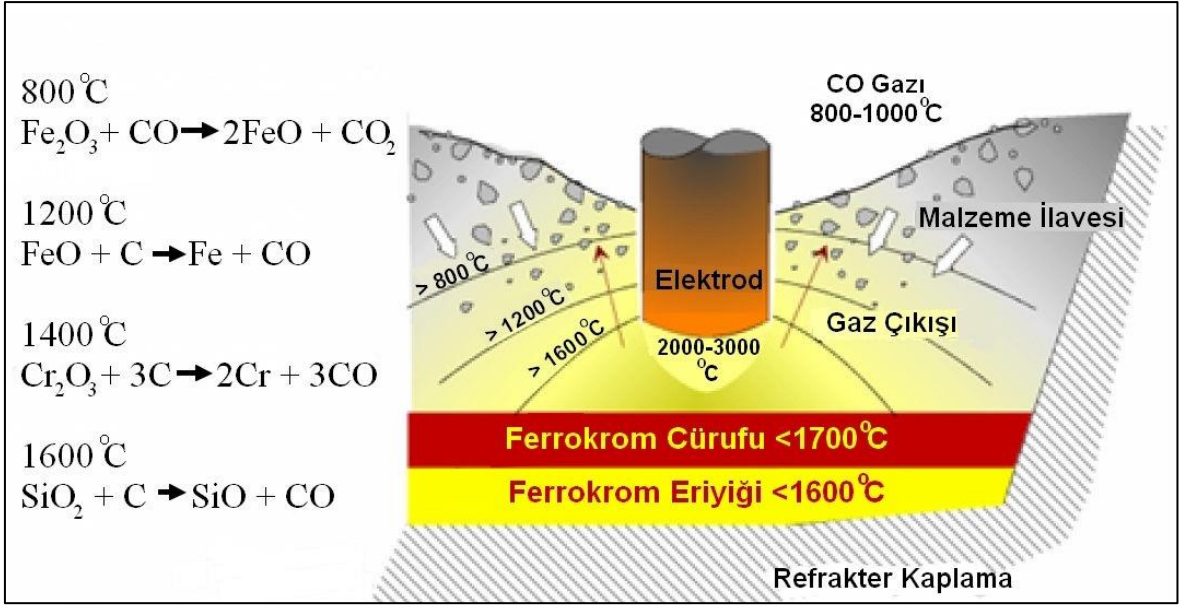
Bu bölgeler arasında en iyi krom Erzincan bölgesinden çıkarılmaktadır.

Ülkemizde ferrokrom iki yerde üretim görmektedir. Birincisi Elazığ da ki yılda 150000 ton üretim yapan ETİ krom aş. Ve ikinci olarak ise Antalya da ki yılda 10000 ton üretim yapan ETİ elektrometalürji A.Ş. dir. Her iki tesisin ortalama cevher tüketimi yıllık 200000-250000 ton olduğu tahmin edilmektedir (EİB, 2011).

Ferrokrom cürufu; ferro krom üretimi yapan tesislerin elektrik ark ocaklarından proses sonucu açığa çıkan malzemedir (Anonim, 2001).

Ferrokrom üretimindeki en önemli bileşen kromittir. Kromit cevheri 20-100 mm incelikte olmalı ve peletlenmelidir. Cevherde ki krom miktarının demir içeriğinin üç katı veya üçe eşit olmalıdır. MgO içeriğinin ise mümkün olduğu kadar az olması gerekmektedir. Al_2O_3 ve SiO_2 oranlarının cürufu oluşturmak için çok fazla olmaması gerekmektedir. Cr_2O_3 miktarının ise % 48 oranlarında bulunması gerekmektedir (Hussainova, 2007).

Elektrik ark fırınlarının tabanları ve yan duvarları refrakter malzemelerle örülerek tabanları hava ile soğutulur yan duvarları ise su ile soğutma işlemi uygulanır. Fırına elektrik enerjisi olarak soderberg tipi elektrodlar verilir. Fırın içindeki şarj ile elektrodlar 1,5-2 m gömülüp elektrodların uç kısmında oluşan ark ile ısı enerjisi 1700-1800 °C ye çıkarılarak erime meydana gelmektedir. Cürufun erime sıcaklık prosesi aşağıdaki (Şekil 21) de gösterilmiştir. Eriyen metal potalara boşaltılır. Yoğun olan metal potanın dibine çöker hafif olan ise potanın üstünde cüruf olarak birikir. Daha sonra cüruf metalin üstünden alınır soğumak için depolara boşaltılır (Karataş, 2008).



Şekil 21: Ferrokrom üretim ısısal işlem prosesi (Vapur vd., 2013).

Ferrokrom cürufu özellikle yol yapımı, hazır beton içinde, demir yolu balastı içine %60-75 civarında agrega olarak kullanılır. Bu agregada aranan en önemli şartlar;

- ✓ Basınç ve aşınmaya karşı dirençli olma,
- ✓ Sert, dayanıklı, boşluksuz olmalı,
- ✓ Zayıf taneler (deniz kabuğu, odun, kömür vb.),
- ✓ Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeli,
- ✓ Yassı uzun taneler olmamalı,
- ✓ Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeli (Vapur vd., 2013).

2.4 ALÜMİNA CÜRUFU

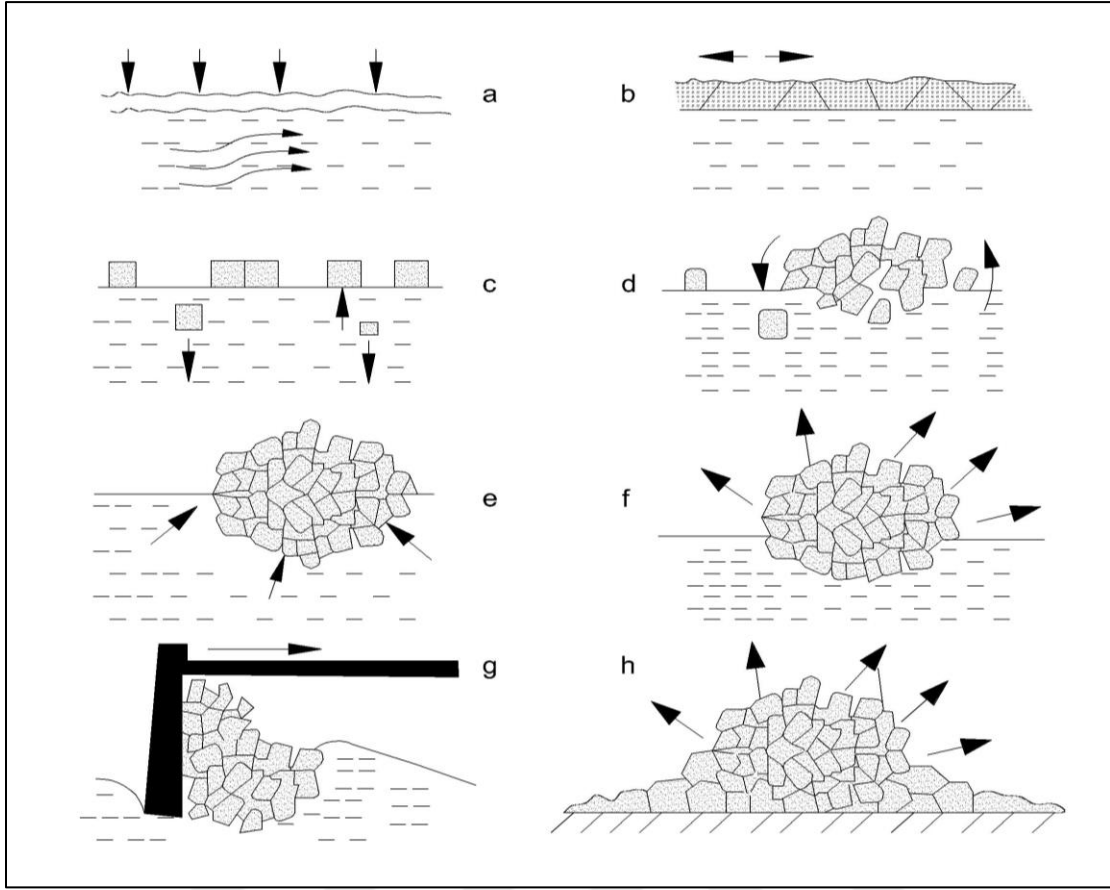
Madenlerin arasında bilinen geniş kullanım alanları ve geri dönüşüm özelliğine sahip olan bir diğer maden ise alüminyum dur. Yüksek enerjili, kolay işlenebilir ve ekonomikliği bakımından birçok ürün alüminyum madeninden üretilmektedir.

Metalik alüminyum ve alüminyum alaşımları günümüz teknolojisinde iki farklı yöntem ile üretilmektedir:

Bunlar birincil ve ikincil üretimlerdir. Birincil üretim; enerjisi yoğun üretim olarak da bilinen bu yöntem ile boksit cevherinin Bayer Prosesi ile işleme girmesi sonucu metalürjik kalite bazlı alümina ortaya çıkar. Alümina cevheri ergimiş tuz elektrolizi yöntemiyle metalik alüminyum üretimi gerçekleştirilir.

İkincil üretim; alümina cevherinden üretilen birincil alüminyum, işlendikten sonra oluşan hurdalar toplanıp temizlendikten sonra, farklı metal ve metal dışı safsızlıklardan ayrıştırıldıktan sonra ergitme işlemine tabi tutularak ikincil alüminyum üretilir. Böylece alüminyum hurdaları ve cürufu yeniden üretim aşamalarına girerek alüminyum ürününe geri dönüşüm sağlar.

Birincil ve ikincil ergitmeler sonucu alüminyumun oksijene olan etkisinden dolayı, yani oksidasyon sonucu açığa çıkan ve şarja bağlı olarak metalik yada metalik olmayan bileşenlerin amorf (düzensiz) yapısıdır. Oksidasyon ile cüruf oluşma şekli tersinir değildir. Yani oluşan oksitin termodinamik kararlılığı oldukça yüksektir. Oluşan alüminyum cürufunun başlıca özelliği, mevcut olan oksit tabakalarından kafes benzeri yeni yapılar oluşturarak, ergitme anında durunca donan, sallanınca sıvılaşan metal davranışlarını hapsedmesidir. Ergitme sırasında metalik alüminyumun kaybolmasının temel nedeni cürufun içine metal damlacıklarının hapsolmesidir. Oluşan kafes parametrelerinin oluşma şekilleri (Şekil 22) de verilmiştir.



Şekil 22: Alümina cüruf oluşum şekli.

ÖZEL NUMUNE ANALİZLERİ

Numune Alınış Tarihi: 01.03.2016

Analiz Tarihi : 03-05/03/2016

% DEĞERLER		YÜKSEK FIRIN CURUFU	FERROKROM	ALUMİNA	ÇELİKHANE CURUF
KİMYASAL ANALİZLER TS EN 196-2 CHEMICAL REQUIREMENTS	Toplam SiO ₂ <i>Total SiO₂</i>	39,99	28,48	-	17,62
	Al ₂ O ₃	10,51	21,59	98,51	4,03
	Fe ₂ O ₃	3,49	3,51	0,41	23,81
	CaO	31,55	0,62	-	30,39
	MgO	5,95	36,52	0,21	4,56
	SO ₃	0,27	0,03	-	1,10
	Kızdırma Kaybı <i>Loss on Ignition</i>	-	0,60	-	12,99
	Na ₂ O	0,58	0,25	0,40	0,33
	K ₂ O	1,30	0,21	-	0,27
	Cr ₂ O ₃	0,021	6,950	0,053	0,138
	Mn ₂ O ₃	3,550	0,200	0,020	3,040
	P ₂ O ₅	0,000	0,000	0,000	0,466
	TiO ₂	1,224	0,329	0,009	0,392
	Cl ⁻ <i>Chlor</i>	-	-	-	-
	Ölçülemeyen <i>Underterminated</i>	1,57	0,71	0,39	0,86
	TOPLAM	98,44	99,29	99,61	99,14
	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,91	3,25	2,89	2,81

Not :

Şekil 23: Cüruf numune analizleri (SANKO, Bartın Çimento Fabrikası).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÖZETİ

Molanar vd. (2014) yaptıkları çalışmada kauçuk esaslı konveyör bantların iki ve üç cisimli aşınma davranışlarını incelemiştir. iki cisimli aşınmada ISO-4649 testleri üç cisimli aşınmada ise ASTM-G65 testleri uygulanmıştır.

Üç cisimli aşınmada yorulmanın baskın aşınma mekanizması olduğunu ISO-4649 testleri sonucunda ise malzemelerin çekme mukavemeti ve Shore A sertliğinin aşınma direncinde etkili olduğunu söylemişlerdir.

Pirso vd. (2010), yaptıkları çalışmada Sermetlerin üç cisimli aşınma performansını ASTM B611 standartın da ki aşınma test cihazı ile incelemiştir. Tungsten (W), titanyum (Ti) ve krom (Cr) karbürler farklı tip bağlayıcılar ile hazırlanarak 40N ve 200 N 'luk yükledir altında 3 cisimli abrasiv aşınmaya maruz tutulmuştur. Bağlayıcı olarak nikel (Ni) ve kobalt (Co) elementleri kullanılmıştır. Üretilen Sermet kompozitlerin aşınma dirençleri kompozit içersin de ki artan karbür içeriğine bağlı olarak azaltılmıştır. Bu durum ise kompozit içerisindeki karbürlerin artması ile doğrusal olarak artmıştır. Aşındırıcı olarak silika kumu (SiO_2) kullanılmıştır. Ayrıca sermetlerin abrasiv aşınma dirençlerinin kompozitin tipine (WC-Co , TiC-NiMo , $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Ni}$) ve karbür bağlayıcı oranına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Pirso vd. (2011), yaptıkları bu çalışmada, TiC-NiMo Sermetler üzerine yapmış olduğu üç cisimli abrasiv aşınma deneyleri sonucunda aşağıdaki sonuçları bulmuştur. Abrasiv aşınma oranının ve aşınma katsayısının TiC-NiMo Sermetler için bağlayıcı oranının artması ile iyileştiğini ancak malzemenin hacim sertliğinin düştüğünü belirtmişlerdir. Düşük yükler de abrasiv aşınma uygulanan yükün artması ile birlikte doğrusal olarak artmıştır. Yüksek yüklerde ise abrasiv aşınma karmaşık bir özellik sergileyerek Archard formülü ile hesaplanmasıyla mümkün olmamıştır. Yükün 40 N dan 200 N 'çıkartılması (5 kat arttırılması) hacimsel olarak aşınmanın 5-10 kat artmasına sebep olmuştur.

Abrasiv sertliği malzeme sertliğinden daha yüksek olduğu durumlarda yüzeylerde plastik deformasyon olduğu görülmüştür. Tam tersi durumlarda ise bağlayıcı fazın hasar görerek aşındığı anlaşılmıştır

Bakshi vd(2013), tarafından incelenen, Perlit nano yapılı Beynit ve martenzit fazlarına sahip çelikler üzerinde üç cisimli abrazyon testleri ASM G65 Deney yöntemi kullanılarak 400 grid lik SiC partikülleri ile yapmış oldukları deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçları bulmuşlardır. Numunelerin farklı mikro yapıları sahip olmasından dolayı aşınma dirençlerinin den farklılıklar görülmüştür. Örneğin; Perlit yapıda aşındırıcı abrasiv partiküller genellikle koyarak bazende işlem esnasında durarak aşırı oyulmalara (karıncalanmalara) sebebiyet vermiştir. Temperlenmemiş martenzitte ise yüzeyde parçalanmalar ara aşınma mekanizmasını oluşturmuştur. Perlit yapıda olduğu gibi beynit yapının üzerinde de plastik deformasyona rastlanmıştır. Nano indentasyon testleri sonucunda aşındırma işleminin sonunda beynit yapının yüzeyinin sertleştiği görülmüştür. Ayrıca  stenitlenmenin meydana geldiği bunun sonucunda martenzitik transformasyonunun sertlik seviyesinin artmasına sebebiyet vermiştir. Ancak hem perlitik hemde martenzitik aşındırılmış yüzey bölgesinde etkili bir şekilde yumuşama görülmüştür.

Suresha vd. (2007), yaptıkları çalışmada, SiC ve grafit dolgu malzemesi içeren glass-vinyl ester kompozit malzemenin RWAT yöntemi ile aşınma davranışını incelemişlerdir. Aşınma testlerinde AFS 60 standardında silika kumu kullanmışlardır. Kasnak devir hızı 200 dev/dk abrasiv partikül besleme oranı 255 ± 5 /dk olarak belirlemişlerdir. Numunelere 22-32 N ‘luk yükler uygulanmıştır. Aşınma yolu olarak da 270, 540, 1080 m yi seçmişlerdir ve aşağıdaki sonuçları bulmuşlardır. Numunelerin abrasiv aşınma hacimleri aşındırma mesafesi ve artan yüke bağlı olarak tüm numunelerde artmıştır. SiC takviyeli numuneler en iyi aşınma direncini göstermiştir. Takviyesiz kompozit numunenin abrasiv aşınma oranı en yüksek olmuştur. Glass vinyl ester grafit partikül katmanının aşınma performansını etkilemediği görülmüştür.

 zciler ve Muratoğlu (2003), yaptıkları çalışmada 2124 Al alaşımını % 25 SiC  le takviye ederek toz metalürjisi yöntemi ile üretmişler ve RWAT yöntemi ile aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Abrasiv partikül olarak 60 mesh boyutunda SiC ve Al_2O_3 partiküller kullanmışlardır. Abrasiv partikül besleme oranı 265 gr/dk olarak belirlenmiştir. Numuneye 30,60 ve 90 N luk yükler uygulanmıştır. Deneyler sonucunda takviye işleminin 2124

alaşımında aşınma direncini arttırdığı ancak takviyeci partiküllerin çıkıntılarının malzeme yüzeyini pürüzlendirerek aşınma direncini düşürdüğü belirtilmiştir. Kompozitin abrasiv aşınma oranı artan yük ile artmıştır. SiC partiküllerin Al₂O₃ partiküllere göre daha fazla aşındırdığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin SiC ün daha sert bir yapıya sahip olmasıdır.

Hosseini ve Radziszewski (2011), tarafından yapılan çalışmada, RWAT yönteminin benzeri olan çelik tekerlekli abrazyon test cihazı kullanılarak abrasiv aşınma partiküllerinin parçalanma mekaniğini incelemiş ve aşağıdaki sonuçları bulmuşlardır. Öncelikle çelik tekerlekli abrazyon test cihazının dönerik delme işlemi yapan makine parçaları ile deldikleri malzeme arasında meydana gelen yüksek gerilmeli kırılmaların incelenmesinde uygun bir yöntem olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca uygulanan yükün partikülün kırılmasında önemli bir etkisinin olduğu ancak dönme hızının bu kadar öneme sahip olmadığını belirtmişlerdir.

Nahvi vd. (2009), tarafından, Dry Sand Rubber Whell deneyi ile aşındırıcı partiküllerin hareketi ve aşınma modları incelenmiştir. Dry Sand Rubber Whell testinde aşındırıcı partiküller test parçası ve tekerlek arasında serbest olarak hareket ederler. Partiküller ya yuvarlanarak veya plastik tekerleğe gömülerek karsı yüzey üzerinde aşınmaya sebebiyet verirler. Deneylerde çeliklerin aşınması önemli açıdan çeliğin sertliğine bağlanmış olsa da partikülün birim zamanda akma oranı partikülün şekli büyüklüğü ve uygulanan yük gibi deney parametreleri ile alakalıdır. Etkileşim anında düşük yüklerde ve düşük parça sertliklerinde partiküllerin yuvarlanması görünürken tam tersi durumlarda kayma şeklinde olmaktadır. Etkileşim anındaki partiküllerin hareketi ile bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde partikülün hareketi üzerinde sertliğin etkisi tahmin edilebilmektedir ve deneylerde yüksek yüklerde kayma (oluklanma tipi) aşınma olduğu görülmüştür.

Harsha vd. (2003), tarafından yapılan çalışmada, polyaryletherketone (polyerketon) tarafından kompozitin üç cisimli aşınma davranışı incelenmiştir. PAEK matris içerisine takviye edici lifler katı yağlayıcılar koyarak boyutları 150 ve 300 mikron metre olan silika kumu ile deneylere tabi tutulmuştur. Kompozit içerisindeki ketone ve eter oranının aşınma direncini önemli bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca dolgu liflerinin de aşınma direncinde rol oynadığı görülmüştür.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Al 6061 alaşımı; yüksek fırın (YFC), çelikhane cürufu (ÇC) ve Ferrochrom Cürufları ile (FKC) Rubber Wheel Abrasion Test (RWAT) yöntemi kullanılarak aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Böylece endüstriyel atıkların (cürufların) aşındırma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca numuneler ticari aşındırıcı olan Al_2O_3 ile aşındırma işlemine tabi tutularak bir kıyaslama yapılmıştır.

4.1 Aşındırılacak Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde 75x25x10 mm boyutlarında Al 6061 alaşımı kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanan aşınma numunelerinin yüzeyine herhangi bir işlem uygulanmadan ASTM G 65 tipi aşınma cihazına bağlanmıştır. Aşındırma işleminden sonra yüzeyler basınçlı hava ile temizlenerek kütle kayıpları tespit edilmiştir. Hata payının minimize etmek için aşınma deneyleri 3'er defa tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.

4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Elektron Microscopy)

Numunelerin aşınma yüzeylerinden SEM mikroskobu yardımı ile farklı büyütme ölçeklerinde fotoğrafları çekilerek numune yüzeyinde meydana gelen aşınma tipinin tespit edilmesinde faydalanılmıştır. Ayrıca aşındırıcı olarak kullanılan numunelerin SEM görüntüleri alınmıştır.

4.3 Noktasal Analiz Çalışmaları (EDS- Energy Dispersive Spectroscopy)

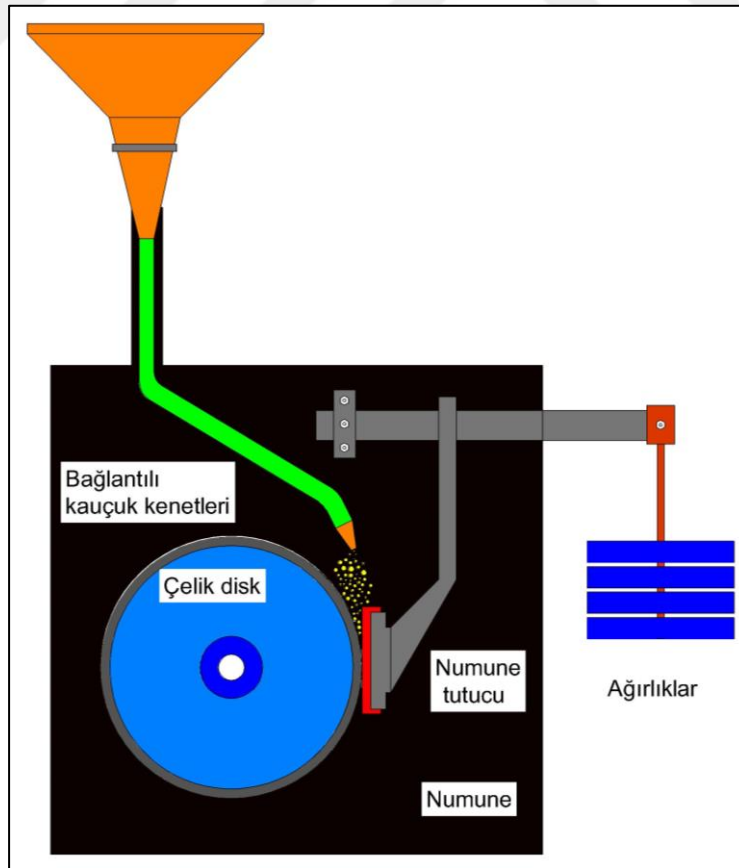
SEM mikroskobunun bir ünitesini oluşturan EDS modülü ile numunelerin ihtiyaç duyulan noktalarından noktasal, bölgesel ve çizgisel analizleri yapılmıştır.

4.4 Sertlik Deneyleri

Deney numunelerinin sertlikleri Qness marka mikro sertlik cihazında 200 g yük ve 15 g/sn yükleme hızı kullanılarak alınmıştır.

4.5 Rubber Whell Abrasion Testleri (RWAT)

Abrasyon testleri kuru ortamda ASTM G-65 standardındaki deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir [20]. Bu cihazın basit bir şematik görüntüsü Şekil 24 de verilmiştir. Deneyler 25, 50, 75 ve 100 N luk yükler altında gerçekleştirilmiştir. Rubber wheel dönme hızı 100 d/dk olarak belirlenmiştir. Toz besleme oranı 250 ± 10 gr/dk dir. Deneylerde sliding distance 75, 150, 225 ve m olarak belirlenmiştir. Endüstriyel atıkların aşındırma performanslarını değerlendire bilmek için, numuneler ayrıca ticari aşındırıcı olarak kullanılan Al_2O_3 (AFS 60) ile aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin kütle kayıpları 10^{-4} hassasiyetinde ölçüm yapan elektronik bir terazi yardımı ile ölçülmüştür.



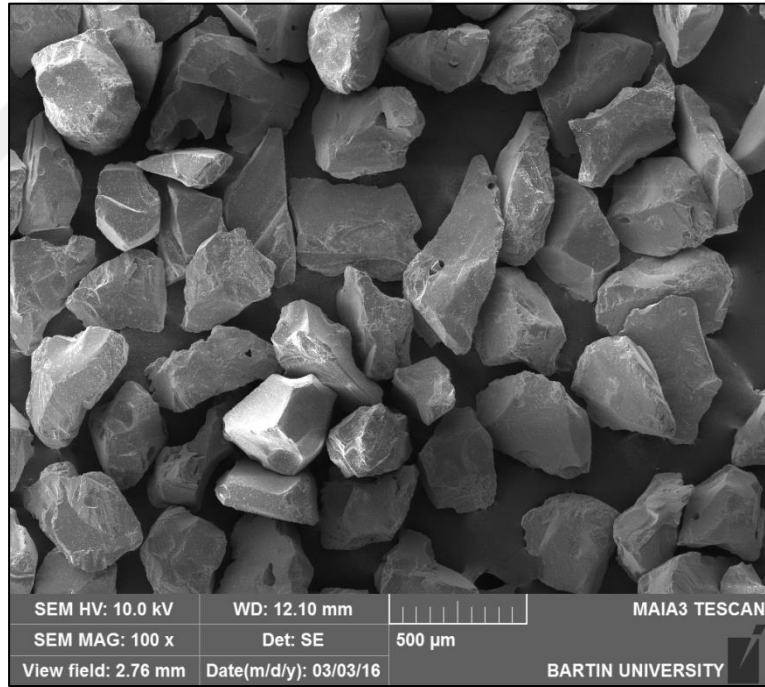
Şekil 24: (RWAT) Deney cihazının şematik gösterimi.

BÖLÜM 5

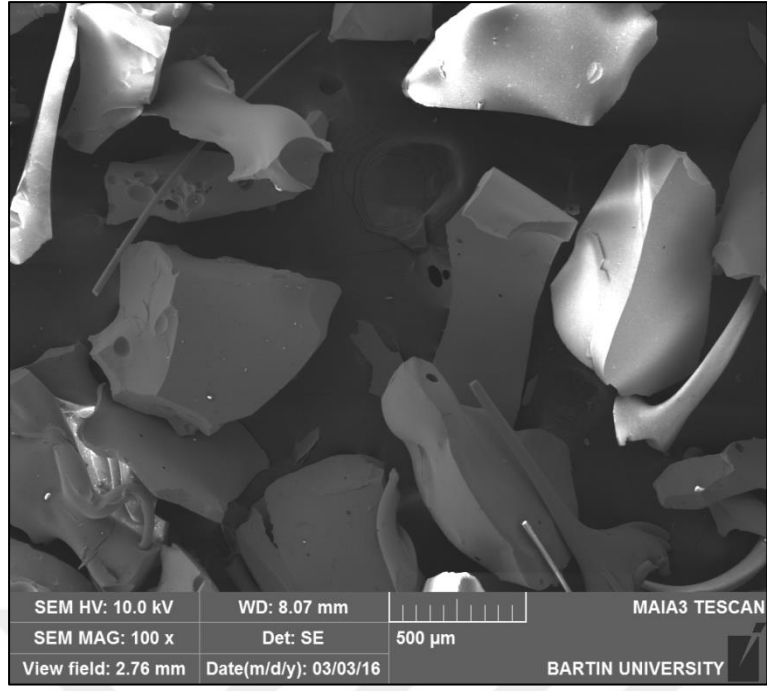
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Al 6061 alaşımı; yüksek fırın (YFC), çelikhane cürufu (ÇC) ve Ferrokrom Cürufları ile (FKC) Rubber Whell Abrasion Test (RWAT) yöntemi kullanılarak aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Böylece endüstriyel atıkların (cürufların) aşındırma özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca numuneler ticari aşındırıcı olan Al_2O_3 ile aşındırma işlemine tabi tutularak bir kıyaslama yapılmıştır.

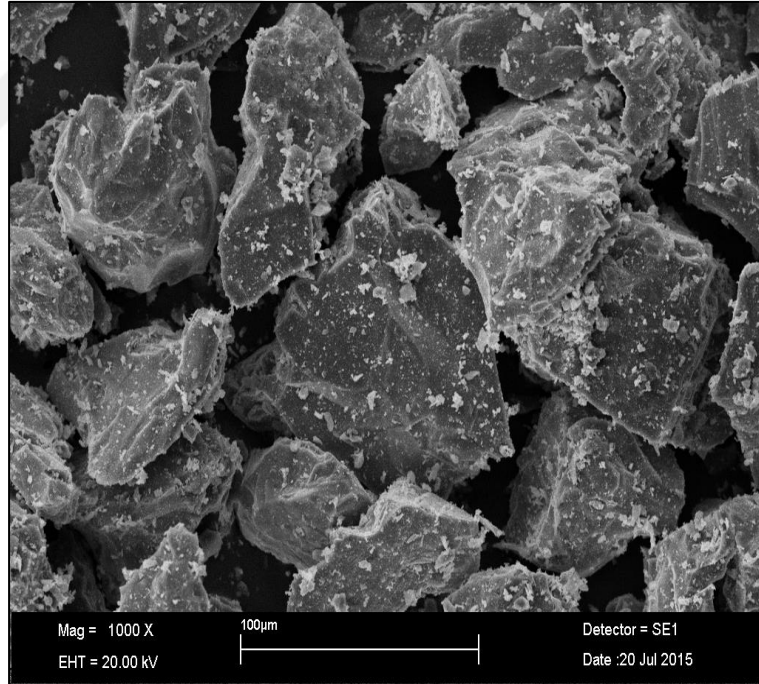
Aşındırma işleminde kullanılan endüstriyel atık ve ticari tozlarının SEM morfoloji görüntüleri Şekil 25-28 de sırası ile verilmiştir. Tozların prizmatik formada olduğu gözlenmiştir.



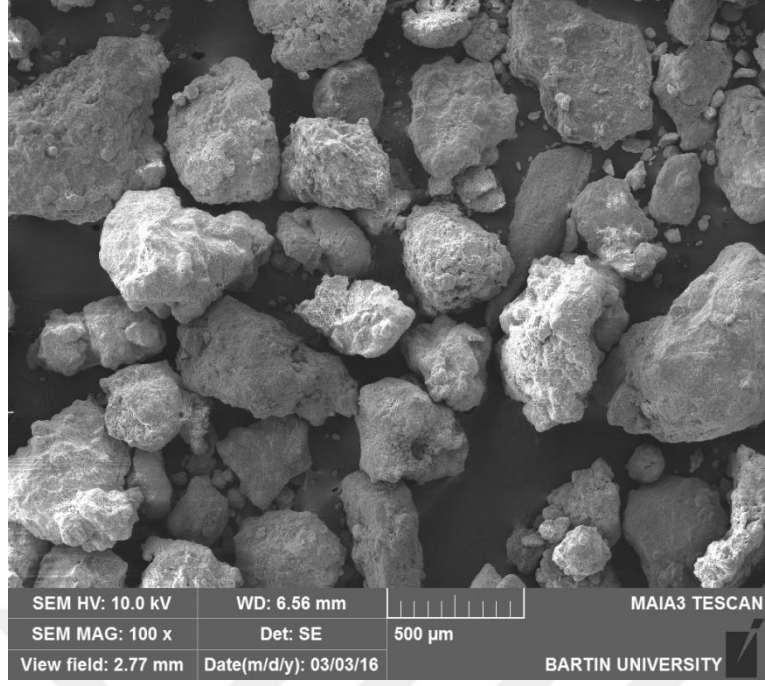
Şekil 25: Ticari Al_2O_3 ün SEM görüntüsü 100x.



Şekil 26: Yüksek fırın cürufunun SEM görüntüsü 100x.



Şekil 27: Ferrokrom cürufunun SEM görüntüsü 1000x.



Şekil 28: Çelikhane cürufunun SEM görüntüsü 100x.

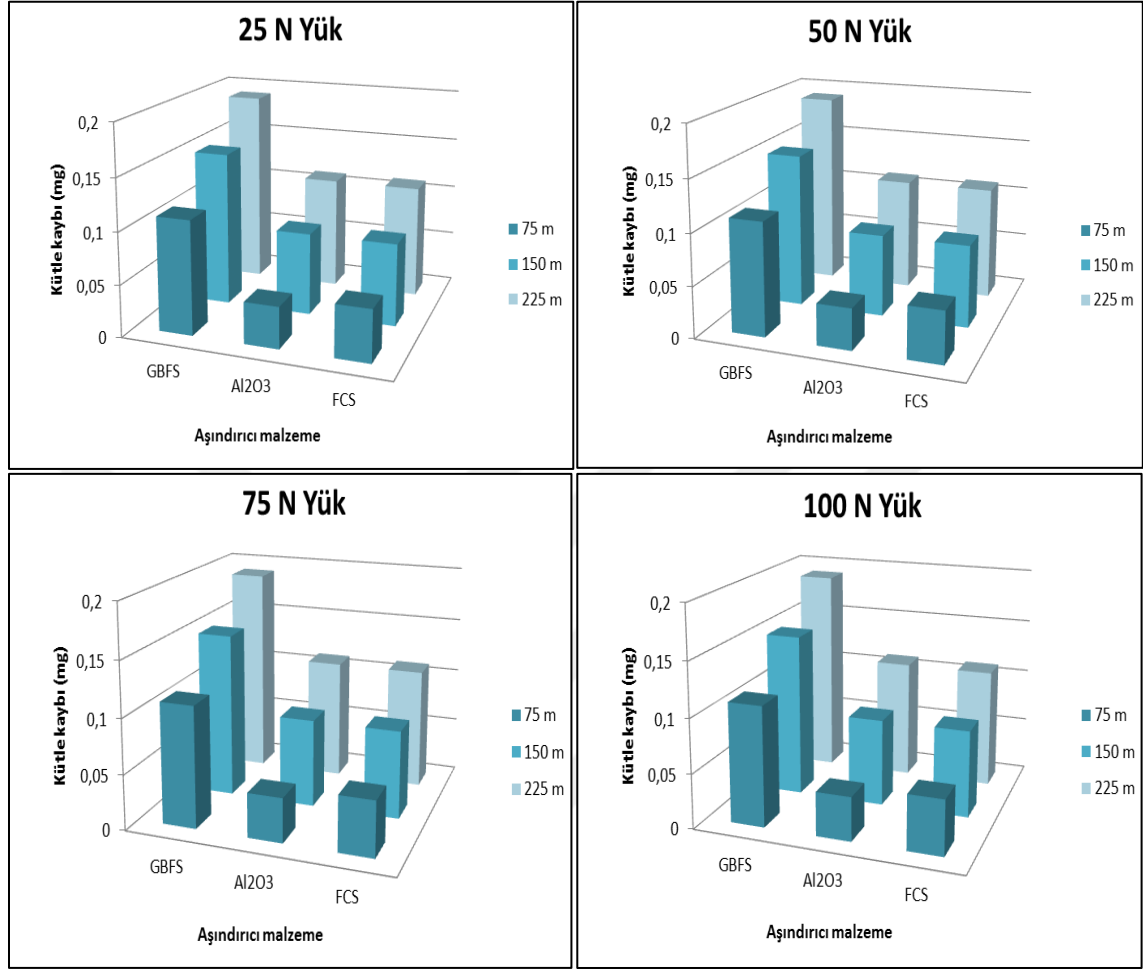
Numunelerin deney işlemi tamamlandıktan sonraki makro boyuttaki aşınma izi görüntüleri Şekil 29 da verilmiştir.



Şekil 29: RWAT testi sonrası aşınmış numune yüzeyi.

Endüstriyel atıkların aşındırma özelliklerini incelemek için daha önce de belirtildiği gibi RWAT test düzeneğinden faydalanılmıştır. Deneyler 100 d/dk torna ayna dönme devrinde ve 25, 50, 75 ve 100 N luk yükler altında gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneye 75, 150 ve

225 m yol aldırılmıştır. Şekil 30 a-d de numunelerin 25, 50, 75 ve 100 N luk yükler altındaki kütle kaybı grafikleri sırası ile verilmiştir.



Şekil 30: 25 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulan numunenin kütle kaybı değer grafiği.

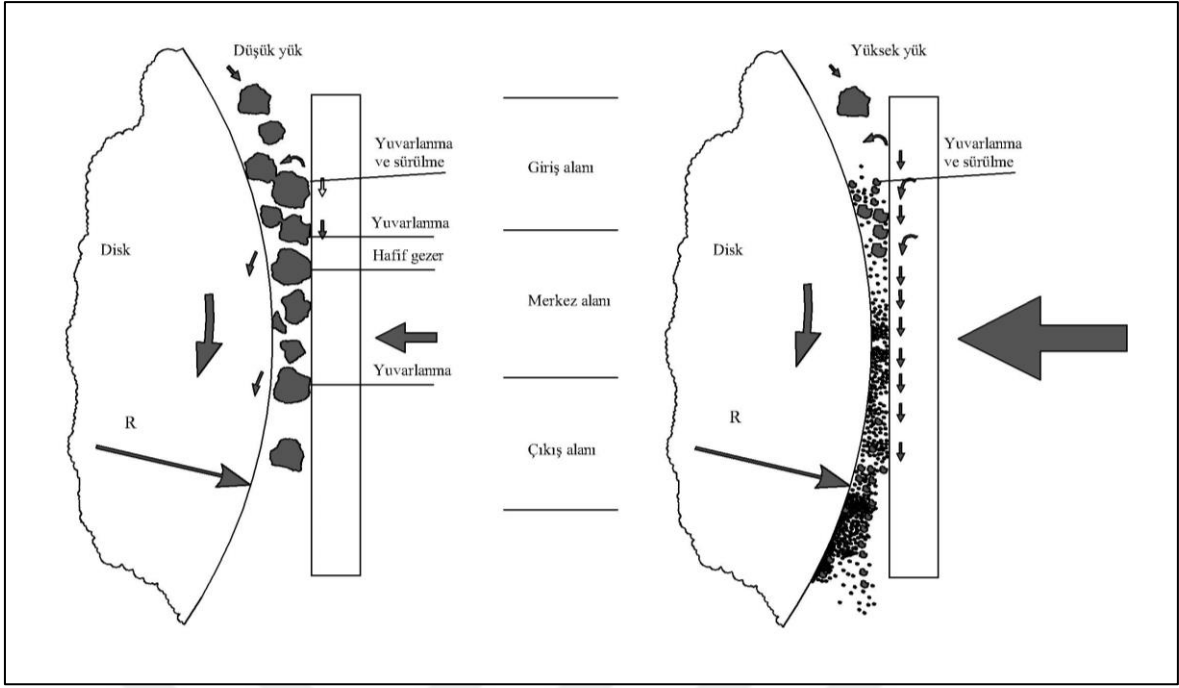
Grafiklerden de görüleceği üzere artan yüke bağlı olarak numunelerin hepsinde kütle kayıpları artmıştır. Artan yüke bağlı olarak numunelerdeki kütle kaybı artış değerlerini farklı yönlerden incelemek mümkündür. Bunlardan birincisi aşındırıcı partikül üzerine gelen yük olarak düşünülebilir. Aşındırıcı partikülün karşı yüzeyden malzeme koparması iki kuvvetin etkisi altında gerçekleşir. Birincisi numuneye uygulanan nominal kuvvettir. Bu kuvvet partikül üzerinden karşı yüzeye taşındığı için artması ile birlikte partikülün malzemeye batması yani plastik deforme etme özelliği artacaktır. Malzeme yüzeyine batan partikülün ikinci görevi ise önündeki malzemeyi keserek yerinden kopartmaktır. Burada ise kesme kuvvetleri iş görmektedir. Kesme işlemi basma ve kesme kuvvetlerinin bir bileşkesi olarak düşünülürse artan nominal kuvvet hem basma hem de kesme kuvvetini arttırmış

olacaktır. Bu kesme kuvvetlerinin artması kütle kaybının artmasına sebebiyet vermiştir. Yükün artması ile kütle kaybının artmasında önemli olabilecek ikinci bir etken ise aşınma mekanizmasının değişmesi ile açıklanabilir. Çünkü üzeri plastik kaplı tekerlek ile aşındırılan malzemenin yüzeyi arasında sıkıştırılan abrasiv partiküller yuvarlanarak veya kazıma etkisi yaparak ortamdan ayrılacaklardır. Eğer partikül üzerine gelen yük düşük seviyede olursa abrasiv partikül yuvarlanarak ortamı terk edeceğinden numunedeki kütle kaybı az olacaktır. Yükün artması ile yuvarlanma hareketi kayarak kazıma mekanizmasına dönüşeceğinden kütle kaybını arttıracaktır. Üçüncü bir olasılık ise artan yük ile birlikte abrasiv partikülün kırılarak çok daha fazla parçacığa ayrılmasıdır. Böylece daha fazla keskin köşeye sahip olan partiküller aşınma oranını arttıracaktır.

Aşındırıcı olarak kullanılan partiküllerin aşındırma performansları değerlendirilecek olursa Al 6061 karşı malzemesi için en yüksek kütle kaybı YFC ile aşındırma işlemine tabi tutulan numunelerde görülmüştür. Al_2O_3 ile FKC, 25 ve 50 N luk yüklerde yakın kütle kayıplarına sebebiyet vermişlerdir. Aşındırıcı olarak kullanılan partiküllerin sertliklerine bakılacak olursa (Tablo 5) en yüksek sertlik değeri Al_2O_3 de görülürken bunu YFC ve FKC izlemiştir. Mantıken en yüksek sertlik değerine sahip aşındırıcı partikülün en yüksek kütle kaybına sebebiyet vermesi beklenirken durumun böyle olmaması aşındırıcı partikül morfolojiler ile açıklanmaya çalışılmıştır. Öncelikle test numuneleri üzerinde üç farklı aşınma bölgesi belirlenmiştir Şekil 31. Bunlar abrasiv partiküllerin bölgeye giriş yaptıkları I. Bölge üzerlerinde bulunan yükün maksimum değere ulaştığı II. Bölge ve aşındırıcı partiküllerin sistemi terk ettikleri III. Bölge olarak belirlenmiştir. I. bölge de oluşan nominal ve teğetsel yükler düşük seviyede oluştuğunda numune ile disk arasına sıkışan abrasiv partiküller bir yuvarlanma hareketi yaparak ikinci bölgeye geçmişlerdir.

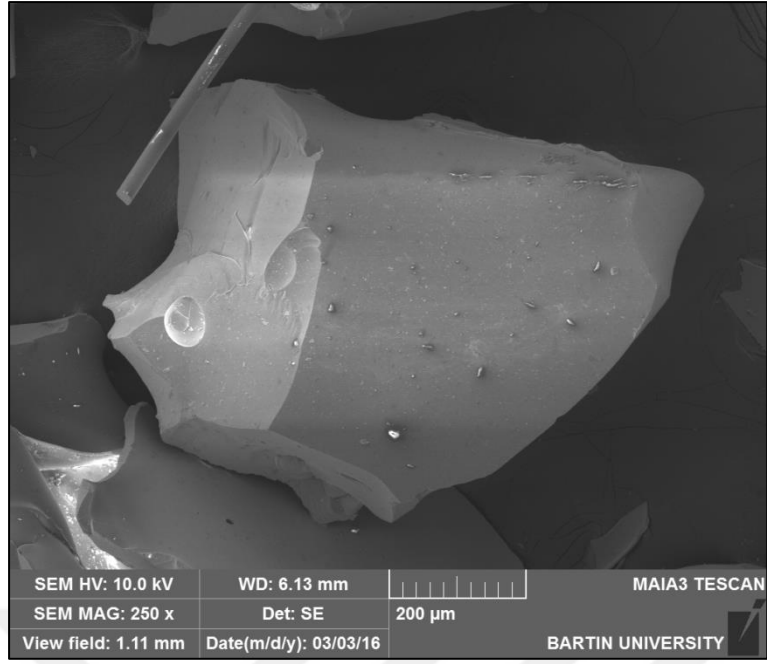
Tablo 5: Abrasiv partiküllerin sertlik değerleri.

Abrasiv partikül	Sertlik (vickers)
Al_2O_3	2000
YFC	950
FKC	1100
ÇC	700

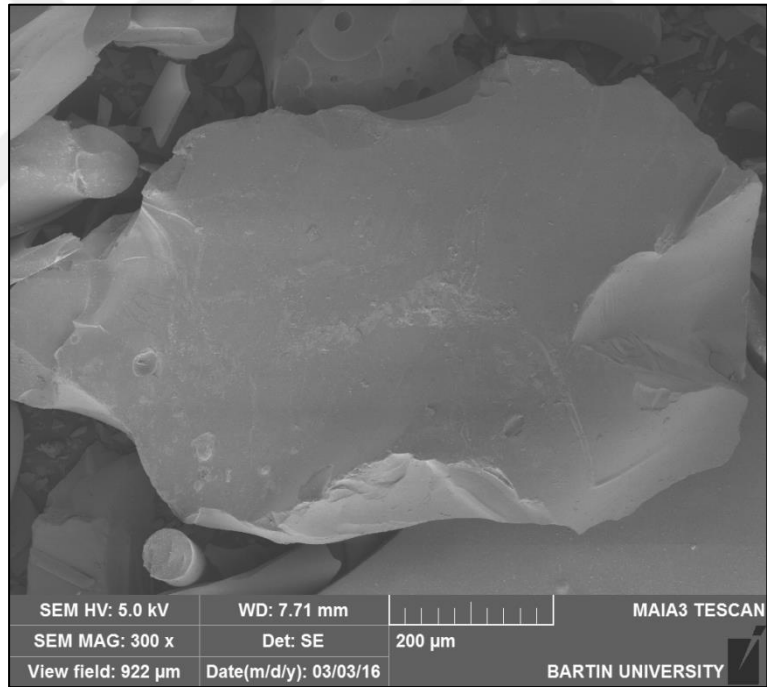


Şekil 31. Abrasiv partiküllerin işlem esnasında durumu.

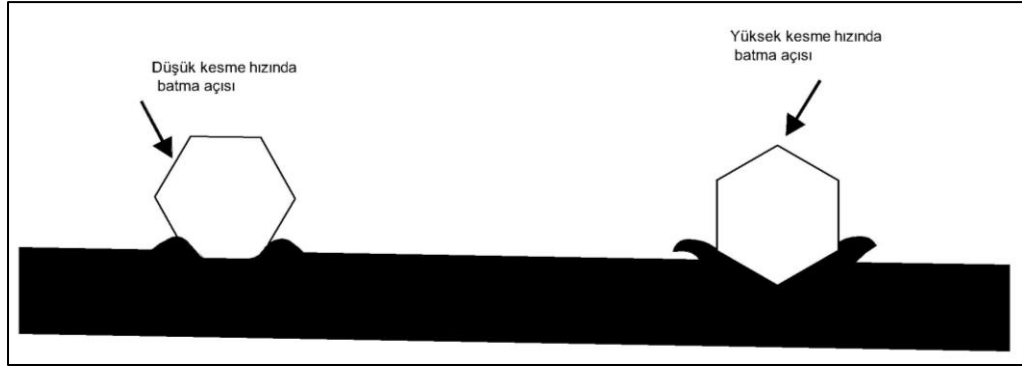
İkinci bölgede partikül üzerine gelen yük maksimum değere çıktığı için bu bölgede partiküllerin kırılması mümkün olabileceği gibi körlenmesi de olasıdır. Şekil 32 de aşındırma işlemine tabi tutulmadan önce SEM mikroskopundan alınmış YFC cürufunun görüntüsü verilmiştir. SEM fotoğrafından da görüleceği gibi camsı yapıda oluşan granüle partikülün keskin köşeli ve kısmen dar açılı bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 33 da aşındırma işlemine tabi tutulduktan sonra yüzey morfolojisinin görüntüsü alınan YFC incelendiğinde, fazla bir değişim olmadığı köşelerde nispeten kırılmalar meydana gelse de fazla bir körlenme olmadığı anlaşılmaktadır Şekil 34. YFC nin aşındırma kabiliyetini anlatmak için Şekil 34 da ki şematik olarak verilen resim incelendiğinde YFC nin aşındırma kabiliyeti dar açılı ve keskin yüzeylere sahip olması ile açıklanır.



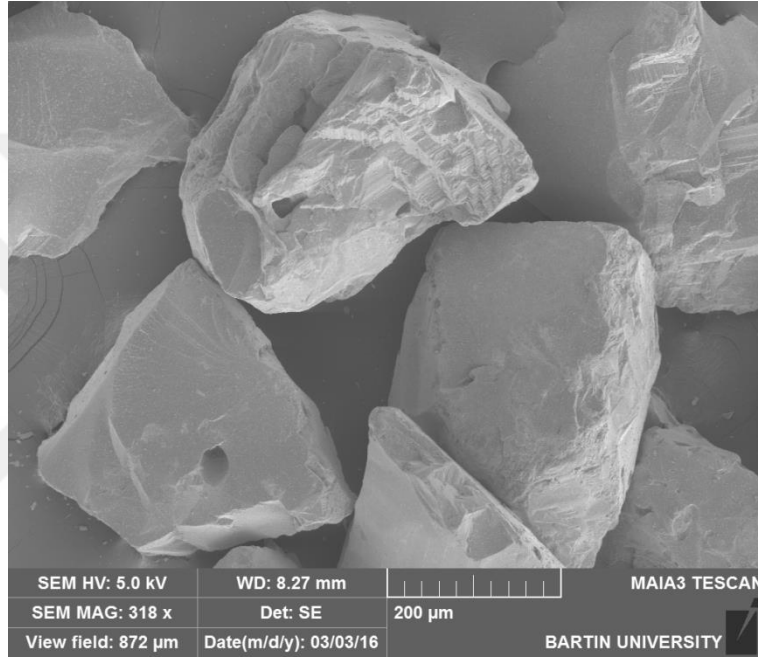
Şekil 32. YFC cürufunun aşındırma öncesi SEM görüntüsü x250.



Şekil 33. 25 N luk yük altında aşındırma işleminde kullanılmış YFC cürufu x250.



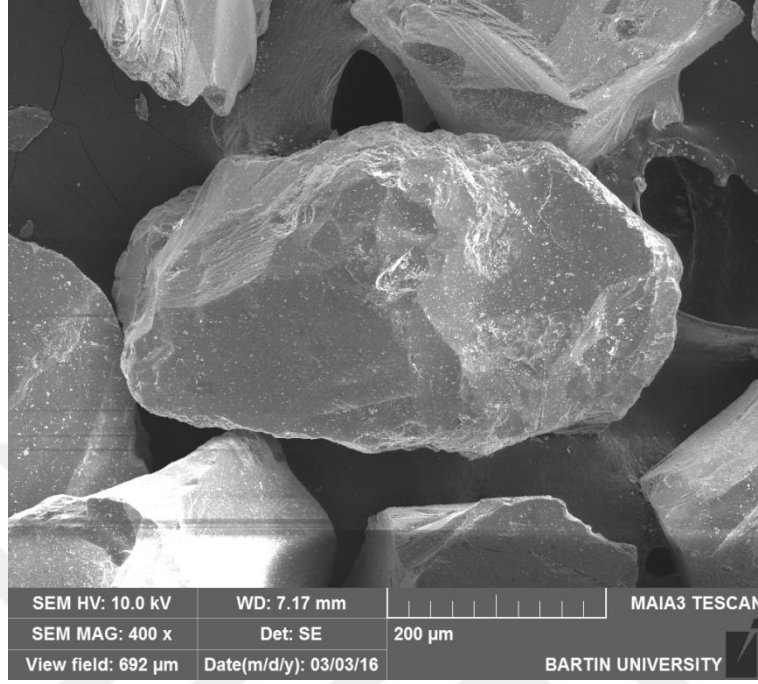
Şekil 34. YFC nin şematik aşındırma açısı.



Şekil 35. Al₂O₃ aşındırma öncesi SEM görüntüsü x318.

FKC kullanılarak gerçekleştirilen aşınma deneylerinde 25 ve 50 N luk yüklerde kütle kaybı bakımından Al₂O₃ ile benzer aşındırma özelliği gösterdiği görülmüştür. Ancak 75 ve 100 N luk yükler altında gerçekleştirilen deneylerde FKC nin aşındırılan numuneden daha fazla materyal transfer ettiği grafikten anlaşılmaktadır. Hatta bu yüklerde FKC nin aşındırma özelliği YFC ye yetişmiştir. Düşük yüklerde kütle kaybının düşük olması FKC partiküllerinin Al₂O₃ partikülleri ile karşılaştırılması ile anlaşılabilir Şekil 35-36. Çünkü FKC partiküllerinde kesici vazifesi gören köşelerin daha yuvarlağımsı ve morfolojinin katmanlı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. FKC partiküllerinin 75 ve 100 luk yük ile daha fazla aşındırma göstermesinin sebebini farklı teorilerle açıklamak mümkündür. Bunlardan birincisi artan yüke bağlı olarak Rubber Whell ile karşı yüzey arasında sıkışan partiküller üzerine gelen kuvvet daha fazla olacaktır. İkinci bir faktör ise Ruubber Wheel

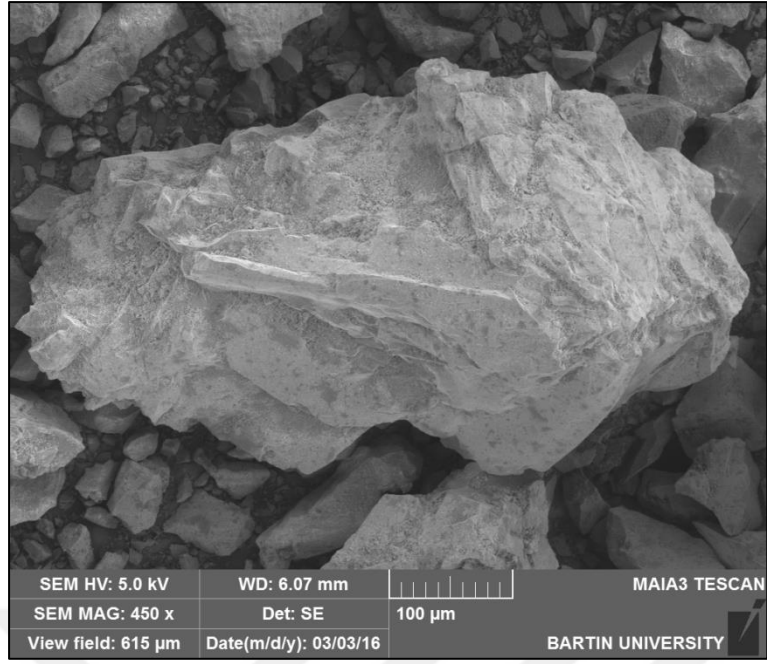
ile karşı yüzey arasında sıkışan FKC partiküllerinin artan kuvvete bağlı olarak kırılmaları ve böylece daha fazla aşındırma etkisine sahip kırık yüzeylerin oluşmasıdır.



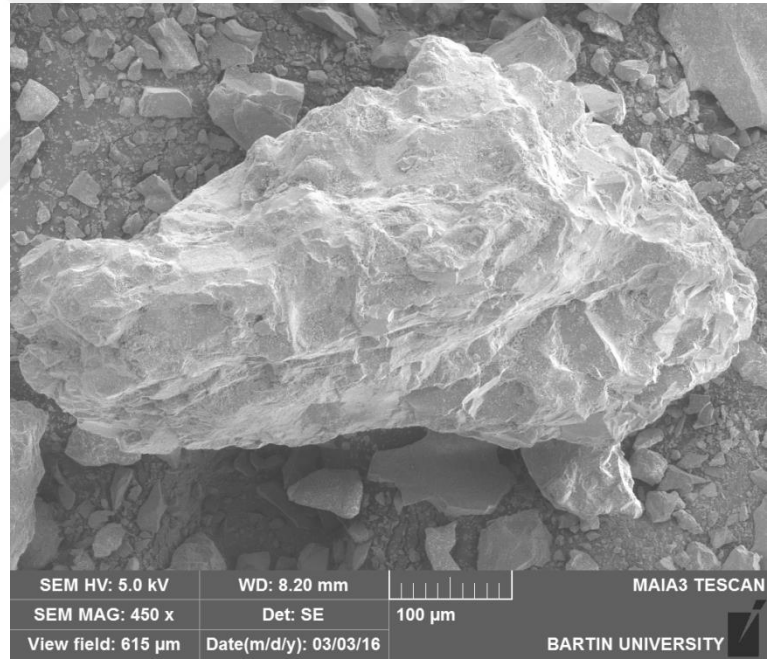
Şekil 36: 25 N luk yük altında aşındırma işleminde kullanılmış Al₂O₃ x400.

Bu teori aşınma işlemi öncesinde ve aşınma işlemi sonrasında partiküllerin SEM görüntüleri ile tespit edilmiştir. Şekil 37 incelendiğinde başlangıçta daha az köşeye sahip partikülün üzerine gelen yükün artması ile kırılarak daha fazla etkin köşeye sahip olmasıdır.

Üçüncü bir faktör ise kırılma etkisi ile oluşan yeni köşelerin bu katmanlar sayesinde FKC partikülleri kuvvetin de etkisi ile Rubber Whell yüzeyine mekanik olarak çok daha iyi kenetlenmişlerdir. Bu kenetlenme sayesinde partikülün karşı yüzeyi de materyalden daha fazla materyal kaldırmıştır. Aşındırıcı sertliklerine bağlı olarak malzemede görülen kütle kayıpları değerlendirilecek en yüksek aşındırma oranı en yüksek sertlik değerine sahip Al₂O₃ de görülmüştür. Sertliği en düşük olan ÇÇ un aşındırma özelliği olmadığı daha önce belirtilmiştir. Ancak diğer FKC ve YFC nin aşındırma performansı sertlik ile tam ilişkilendirilememiştir. Çünkü FKC nin sertliği YFC sertliğinden daha yüksek olmasına rağmen YFC aşındırma performansı daha tüm yüklerde daha iyi çıkmıştır.

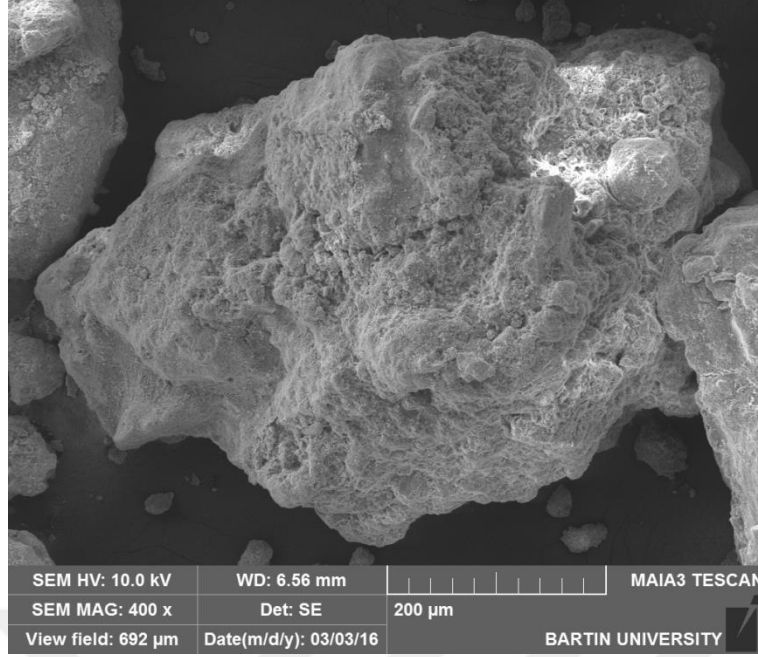


Şekil 37: FKC nin aşındırma öncesi SEM görüntüsü x450.



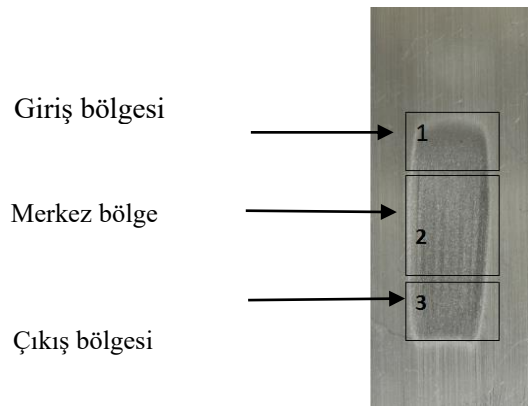
Şekil 38: 25 N luk yük altında aşındırma işleminde kullanılmış FKC x450.

Deneyler sonucunda en düşük yüklerde dahi ÇC nin herhangi bir aşındırma kabiliyetinin olmadığı anlaşılmıştır. Bunun sebebinin hem daha daha önce yapılan çalışmalarda hem de metalografik çalışmalar sonucunda SEM mikroskobundan elde edilen ÇC nin gözenekli, süngerimsi yapısı ile ilişkilendirmek mümkündür. Üzerine yük geldiğinde gevrek olan bu gözenekli yapı kırılıp partikülün dağılmasına sebebiyet vermiştir Şekil 39.



Şekil 39: ÇC nin aşındırma öncesi SEM görüntüsü x400.

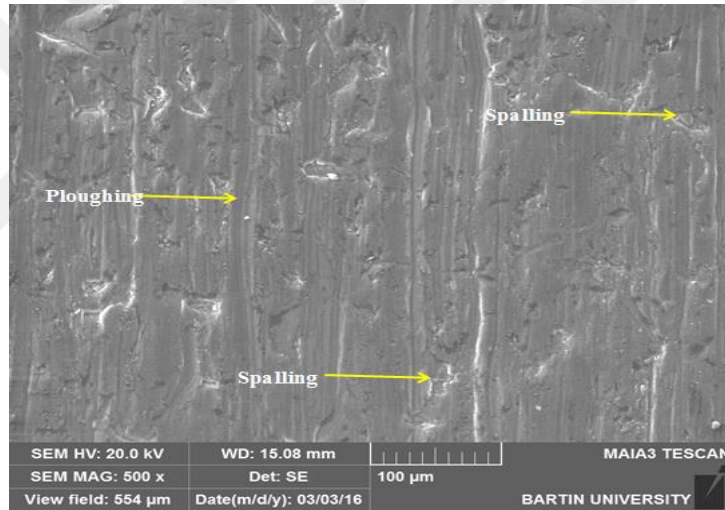
ASTM G 65 aşınma testlerinden sonra Al 6061 numunesi üzerinden alınan tipik aşınma izi Şekil 40 da verilmiştir. Aşınma bölgesini üç farklı alanda incelemek uygundur. Şekil 40 üzerinde markalanan bu alanlar giriş (1), merkez (2) ve çıkış (3) olarak adlandırılabilir. Aşındırılan numunelerin giriş ve çıkış bölgelerindeki aşınma mekanizması benzerlik göstermiştir. Rolling tipi meydana gelen bu mekanizmanın meydana gelişini şöyle açıklamak mümkündür. Giriş ve çıkış bölgelerinde Abrasiv partiküllerin üzerlerine gelen yük en düşük seviyededir. Aşınma prosesinin kontrolünde ise abrasiv partikülün özellikleri, partiküllerin hareketi ve rubber whell ile numune arasındaki etkileşim bölgesi rol oynar.



Şekil 40: Al 6061 numunesi üzerinden alınan tipik aşınma izi.

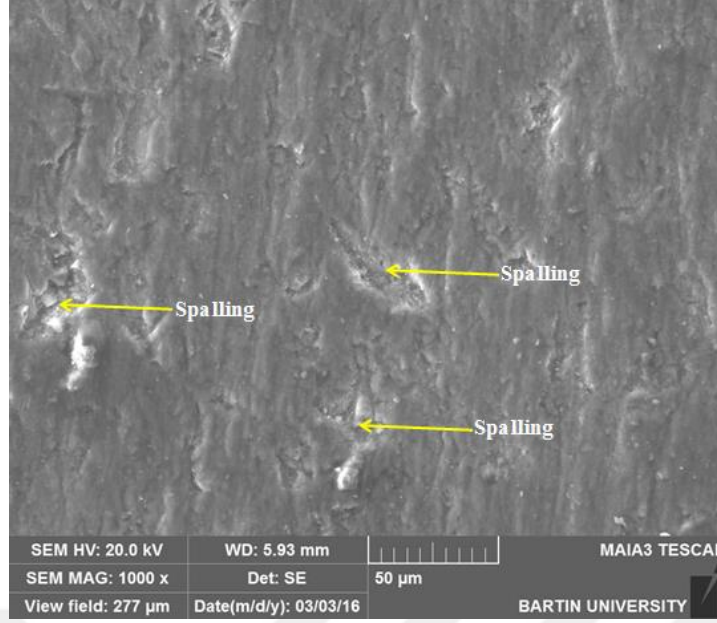
Abrasiv partikül rubber whell ile numune arasında rahat bir şekilde hareket edemiyor veya two-body abrasyonda olduğu gibi sabit bir çıkıntı, pürüz gibi hareket ediyorsa bu durumda genellikle grooving tipi abrasyon görülmektedir. Benzer durum yapılan çalışmada da görülmüştür.

Test numunelerinin en fazla yüke maruz kaldıkları merkez bölgede ise aşınma mekanizmasının değiştiği görülmüştür. Al_2O_3 ile aşındırılan numunenin merkez bölgesi SEM görüntüsü incelendiğinde Şekil 41 ana aşınma mekanizması olarak çizilme (ploughing) ve pullanma (spalling) görülmektedir. Üç cisim aşınma durumunda aşındırıcı partiküller yuvarlanma veya kayma hareketi yaparak etkileşimli yüzeyler arasında serbestçe hareket ederler. Bu abrasivlerin metalik yüzeye de meydana getirecekleri aşınma mekanizması ise partiküllerin attack angle açısı ile ilgilidir.



Şekil 41: Al_2O_3 tozları ile 100 N yük altında aşındırılan numune yüzey fotoğrafı.

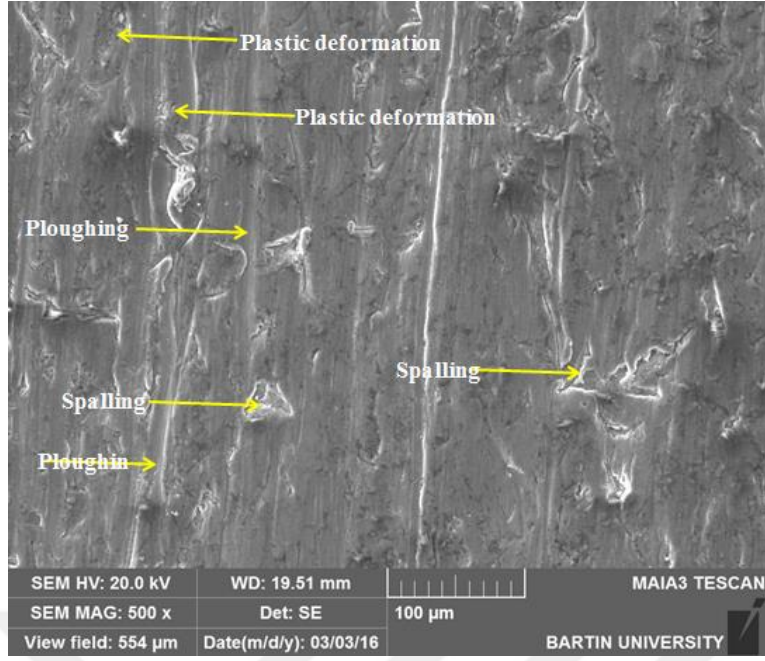
FCS ile işleme tabi tutulan numunenin yüzeyi Şekil 42. incelendiğinde ekstrüzyon şeklinde ağır plastik deformasyona uğradığı görülmektedir. Abrasiv partikül ile katı yüzey arasındaki etkileşim esnasında abrasion, ısınma, kırılma, yorulma, plastik ve elastik deformasyon gibi bir çok mekanik ve tribolojik olay meydana gelmektedir. Partiküllerin SEM görüntüleri tekrar incelenecek olursa FKC partiküllerinin keskin kenarlara sahip olmadığı ve yuvarlağımsı ancak pürüzlü bir yapıda oldukları görülmektedir. Rubber Whell ile katı yüzey arasında sıkışan bu partiküller yuvarlanma hareketini kolay yapabilseler de kayma hareketini kolay yapamayacaklardır.



Şekil 42: FKC tozları ile 100 N yük altında aşındırılan numune yüzey fotoğrafı.

Ara yüzeyde kayma hareketine zorlanan ve büyük bir kısmı katı yüzeye sürtünerek kesmeden ziyade kazıyarak talaş kaldırma işlemi yapmaya çalışan partikül numune yüzeyindeki ısının artmasına sebebiyet verecektir. Katı yüzey üzerinde artan ısı parçanın akma gerilmesini düşürerek daha fazla plastik deformasyona maruz kalmasına sebebiyet verecektir.

En yüksek aşındırma değeri elde edilen YFC ile aşındırma işlemine tutulan numunenin SEM aşınma yüzey fotoğrafı incelendiğinde Al_2O_3 ile aşındırılan numune ile benzer bir aşınma yapısı görülmektedir Şekil 43 Genişlikleri 10-25 μm olan çizilme (ploghing) varlığı dikkat çekmektedir. Ayrıca lokal plastik deformasyon sonucu numune yüzeyinde oluşan katmanların varlığı ve yüzeyden partikül kopması sonucu oluşan pullanmaların (spallig) varlığı görülmektedir.



Şekil 43: YFC tozları ile 100 N yük altında aşındırılan numune yüzey fotoğrafı.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada endüstriyel atık olan yüksek fırın cürufu, çelikhane cürufu ve ferrokrom cürufunun RWAT yöntemi kullanılarak aşındırma özellikleri incelenmiştir. Karşı yüzey malzemesi olarak Al 6061 alaşımı kullanılmıştır. Ayrıca atıkların aşındırma performanslarını daha iyi değerlendirebilmek için aynı şartlar altında numuneler Ticari AFS 60 boyutundaki Alümina tozları ile de deneye tabi tutularak bir kıyaslama yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ✓ Çelikhane cürufu dışındaki iki cürufun (FKC, YFC) Al 6061 malzemesi üzerinde aşındırıcı etkisi olmadığı ancak diğer iki endüstriyel atığın aşındırıcı özelliği olduğu görülmüştür.
- ✓ En yüksek kütle kayıpları YFC ile aşındırılan numunelerde görülürken bunu FKC ve Al_2O_3 izlemiştir.
- ✓ Numunelerin kütle kayıpları artan yüke bağlı olarak artış göstermiştir.
- ✓ En yüksek sertlik değerine Al_2O_3 sahip iken en yüksek aşındırma özelliği YFC de görülmüştür. YFC nin aşındırma performansı dar ve keskin kenarlı yapısından kaynaklanmıştır. FKC nin aşınma performansında ise partikül yüzeyindeki bir çok pürüzlerin etkili olduğu anlaşılmıştır.
- ✓ Aşındırma işleminde sertlik kadar aşındırıcı partikül morfolojisinin de etkili olduğu anlaşılmıştır.

- ✓ Aşınma mekanizması olarak abrasiv partiküllerin giriş ve çıkış yaptığı bölgelerde kanallanma (grooving) ve yuvarlanma (rolling) tipi aşınma mekanizmaları tespit edilirken merkez bölgede karışık tip aşınma mekanizmaları görülmüştür.

6.2 Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen verilere göre gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- ✓ Aşındırma işlemi başka ve daha yüksek sertliğe sahip malzemeler üzerinde uygulanıp endüstriyel atıkların aşındırma performansı test edilebilir.
- ✓ Endüstriyel atıklar farklı boyutlarda eleme işlemine tabi tutularak partikül boyutunun aşındırma üzerindeki etkisi incelenebilir.
- ✓ Toz metalürjisi ile üretilen parçaların ısıtılma işleminden çıktıktan sonra son yüzey işlemi olarak yapılan vibrasyonlu çapak alma prosesinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., (2012). Makina Elemanları , Cilt 3, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-179-4, İstanbul, 442 s.
- Akihiko, Y., (1994). Properties of Concrete Using Ground Granulated Blast Furnace Slag as Additive for Concrete. *J. Soc. Mat. Sci.*, Japan, v. 43, No. 491, Aug., 943-948.
- Askeland, Donald, R., (2014), Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri - Cilt 2, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN 975-591-106-5, Ankara 992s
- Aydın, Ö., (2005). Yüksek Fırın İşletmeciliğinde Optimizasyonu, FBE Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 72s.
- Babu, K.D. ve V.S.R Kumar (2000). “Efficiency of GGBS in Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 30: 1031- 1036.
- Bayer, R.G., (1994). Mechanical Wear Prediction and Prevention, Marcel Dekker, New York, 280.
- Bhushan, B., (2000). Wear Mechanisms, Chapter 7. In *Modern Tribology Handbook*, CRC Press, United States of America, pp. 273-299.
- Bilgen, G., Kavak, A., Yıldırım, S.T. ve Çapar, Ö.F., (2010). Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi, Katı Atık Kirlenmesi Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesinin (KAKAD) İşbirliği, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 2. *Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, 18-20 Ekim 2010.
- Bilim, C. ve Atış, C.D., (2011). The Abrasion and Strength Properties of Mortars Containing Ground Granulated Blast Furnace Slag , Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, MERSİN, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, *KAYSERİ, Politeknik Dergisi*, Cilt:14,Sayı:2,s.101-107, (Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Harçların Aşınma ve Mukavemet Özellikleri).
- Brantz, H. ve Orchard, I. H., (1990). An Introduction to Blast Furnace Cements. Queensland Cement Limited. *Australasian Slag Association Seminar*, North Ryde, Sydney, Australia, Sept.
- Budinski, K.G., (1988). Surface Engineering For Wear Resistance, New jersey.
- Çelik, H., (1992). “Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışları”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s3-35.
- Çiftçi, İ., (2003). Alüminyum Esaslı Kompozitler de Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve işlenebilir lik Üzerine Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129s.

- Das, B., Prakash, S., Reddy, P. S.R. ve Misra, V. N., (2007). “An Overview of Utilization of Slag and Sludge from Steel Industries”, Resources, Conservation and Recycling 50: 40-57.
- Das Bakshi, S., Shipway, P.H. ve Bhadeshia, H.K.D.H., (2013), Three-body abrasive wear of fine pearlite, nanostructured bainite and martensite, WEAR,308, sy 46-53
- DDÇE, (2013). Diler Demir çelik Endüstri ve Ticaret A.Ş., Endüstriyel Atık(cüruf) Geri Kazanımı ve Depolama Alanı, Çevresel Etki ve Değerlendirmesi Raporu, Kocaeli İli, Körfez İlçe, Yukarı Hereke Mahallesi, Nihai Çed Raporu, Haziran 2013,Ankara.
- Dündar, H., (2006). Farklı Soğutma Hızlarında Soğutulan Çelikhane Cüruflarının Öğütme Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 107s.
- EİB (2011). Ege İhracatçılar Birliği, Krom Taslak Raporu, 17.12.2011.
- Erdem, S., (2006). Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı ve Alaşımsız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 65 s.
- Erdoğan, A., (2012). Ferrochrom Cürufunun Mikro Ölçekli Abrasyon Testi ile Aşındırma Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tez Çalışması, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, Haziran 2012, 83s.
- Erdoğan, T. Y., (1995). “Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Türkiye, 1-11 s.
- EKAŞ, (2017). Eti Krom A.Ş., <http://tr.etikrom.com/default.asp?mode=urundetay&UID=1266> ,23.03.2017, 11:02.
- Fang, K. ve Chuang, T. H., (1999). The Effect Of Humidity On the Erosive wear Of 6063 Al Alloy. Wear, 236: 144-152.
- Gençoğlu, S., (2006). Bor Karbür Esaslı Seramik Zırh ve Adhesiv Aşınma Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, Ankara, 74s.
- Gök, M. S., (2008). Düşük Ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine Tıg Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, T.C Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 125 s.
- Gür, A.K., (2006). Aşınma Mekanizmaları, F.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora Semineri,

Elazığ

- Harsha, A.P., Tewari, U.S. ve Venkatraman, B. , (2003). Three-body abrasive wear behaviour of polyaryletherketone composites, *WEAR*, 254, sy 680-692
- Haque, M. M. ve Sharif, A., (2001). Study On Wear properties Of Aluminium-Silicon Piston Alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 69-73.
- Durmuş, H., Uzun, R.O. ve Şahin, S., (2011). Retrogresyon İşleminin 7075 Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışına Etkisi, 16-18 May 2011, Elazığ, Türkiye.
- Hosseini, P. ve Radziszewski, P., (2011). Combined study of wear and abrasive fragmentation Steel Wheel Abrasion Test, *Weer* 271, 689-696
- Hussainova I, Pirso J, Juhani K, Antonov M ve Letunovits S., (2007). Erosion and abrasion of chromium carbide based cermets produced by different methods. *Wear*;263:905–11.
- İzciler, M., (1997) , “Yüksek Krom Alaşımlı Dökme Demirlerin Farklı Sıcaklıktaki Abrasiv Aşınma Davranışına Alaşım Katkı Oranının ve Isıl işlem şartlarının Etkileri”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, s50-122.
- İzciler, M. ve Muratoglu, M., (2003). Wear behaviour of SiC reinforced 2124 Al alloy composite in RWAT system, Gazi University, Industrial Arts Education Faculty, Technology Education Department, Ankara, Turkey ,Department of Metallurgical and Materials Engineering, Engineering Faculty, Elazığ, Turkey, *Journal of Materials Processing Technology* 132 (2003) 67–72s.
- Issler, L., (1976). *Hasar Bilgisi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Karagöl, R., (2004). Entegre Demir Çelik Fabrikaları Üretim Tesisleri Tanıtım Kitapçığı, (Yayınlanmamış Rapor).
- Karataş, S., (2008). Beton Harcının Basma Eğme Davranışlarına Ferrokrom Cüruf Katkısının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı , Elazığ, 72s
- Kayalı ,E.S, Eruslu. N., Ürgen, M., Taptık. Y. ve Çimenoglu, H., (1997). *Hasar Analizi Seminer Notları* ,İstanbul
- Kurt, M., (1990). *Makine Elemanları 1*, Cağaloğlu, İstanbul.
- Molnar, W., Varga, M., Braun,P., Adam ve Badisch, K., (2014). Correlation of rubber based conveyor belt properties and abrasive wear rates under 2- and 3-body conditions, wear journal homepage: www.elsevier.com/locate/wear
- Nahvi, S.M., Shipway , P.H. ve McCartney, D.G., (2009). Particle motion and modes of wear in the dry sand – rubber wheel abrasion test, *wear* 267, 2083-2091

- Özay, Ç., (2004). Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ Kompozitinin Abrasiv Aşınma Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 154s.
- Özgen, O., (2001) . “Alkali, Alümina ve Çinko’ nun Yüksek Fırın Prosesine Etkisi”.
- Özkan, Ö., (2006). Yüksek Fırın Çelikhane Cürufu Katkılı Harçların Çimentolarla Üretilen Çimento Harçların Basınç Dayanımına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, 67850,Alaplı,Zonguldak
- Pirso, J. ,Viljus, M. ,Juhani, K. ve Kuningas, M., (2010). Three-body abrasive wear of TiC-NiMo cerments, *Tribology International*, 43, s: 340- 346.
- Pirso,J., Viljus, M., Letunovits, S., Juhani, K. ve Joost, R., (2011). Three-body abrasive wear of cermets, wear 271, 2868-2878
- Sakin, R. ve Ay, İ., (1995). Cıvata Bağlantılarında Gözlenen Hatalar, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, cilt:36, sayı:431, Aralık
- SANKO (2016) Bartın Çimento Fabrikası Laboratuvarı ,01.03.2016-05.03.2016.
- Saran, A. G., (2007). Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 177s.
- Sarı,G.,(2013).Celalbayerüniversitesi,[http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/makine/gozde.sari/DeneyselII2013/\(malzemedenedeyFoy\).pdf](http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/makine/gozde.sari/DeneyselII2013/(malzemedenedeyFoy).pdf),06.10.16,22:35.
- Anonim (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler Alt Komisyonu, Krom Çalışma Grubu Raporu, Ankara .
- Soysal, B., (2014). Çelikhane Cürufunun Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı ,İstanbul, 125s.
- Suresha, B., Chandramohan, G., Siddaramaiah, Samapthkumaran, P. ve Seetharamu, S., (2007). Three-body abrasive wear behaviour of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites, *Materials Science and Engineering A* 443 , 285–291
- Tahtakıran, E., (2007). Kromit, Ferrokrom ve Paslanmaz Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış, *Ulaşım da Yer Altı Kazıları 2. Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul şubesi ,İTÜ Maden Fakültesi Dekanlığı, İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği,15-17 kasım.
- TÇMB/AR-GE/Y97.1 Türkiye Çimentoları, pr EN 197 Çimentoları ve Avrupa Ülkelerinde İç Satış İstatistikleri
- Tekant, M., (2001). İsdemir Çelikhanesinin Dünü, Bugünü Ve Yarını, , *I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi*, Zonguldak.

- Toktay, M. ve Erdoğan, K., (2009). Cürüflar ve Cürüflu Çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, ANKARA, Temmuz .
- Türker, M., Kurt, A., Gülenç, B. ve Karataşoğlu, F., (1998). “Monoblok Tekerlerin Aşınan Kısımlarının MAG Kaynağı ile Yapılan Dolgu Metalinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, 2. *Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu*, IWTS 98, Haziran, İstanbul, s232-239.
- TÇMB, (2001). Cürüflar ve Cürüflu Çimentolar, Ankara.
- URL-1, (2016). <http://tr.wikipedia.org/wiki/C%C3%BCruf>, 09.05..2016.
- URL-2, (2017). <http://www.umutrulman.com/gucaktarim/disliler.htm>, 04.10.2017,08:51
- URL-3, (2017). <http://www.bakimliyiz.com/egitim-ve-ogretim/122009-triboloji-ne-demektir.html>, 04.10.2017,09:10
- URL-4, (2017). <http://www.canrulman.com/urunler.html>, Can Rulman İTH.DİŞ TİC. SAN.A.Ş., 23.09.2017,11:57
- URL-5, (2017). <http://hesapliulman.com.tr/hizmet-disliler.html>, Hesaplı Rulman,23.09.2017,12:04
- URL-6, (2017). <http://www.ansiklopedi.biz/kimya/metallerin-asinmasi-korozyon-nedir>,04.10.2017, 11:54
- URL-7, (2017). <http://www.kuark.org/2014/02/yuksek-firinlar-ile-ham-demir-uretimi/> 14.10.2017
- URL-8, (2017). <https://muratsezik.wordpress.com/2015/06/25/yuksek-firinlar/> , 27.01.2017, 12:40.
- URL-9 (2018) <http://www.steel.org/steel-technology/how-its-made/processes/processes-info/the-basic-oxygen-steelmaking-process.aspx?siteLocation=88e232e1-d52b-4048-9b8a-f687fbd5cdcb>, 07.01.2018,23:59
- Vapur, H., Top, S., Teymen, A. ve Türkmenoğlu, M., (2013). Elazığ Ferrokrom Cürüflarının Agrega Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), ss.77-88, Haziran.
- Varol, T., (2016). “Nano Partikül Takviyeli Bakır Esaslı Fonksiyonel Derecelendirilmiş Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 231s
- Yıldız, T. ve Gür, A.K., (2006). Aşınma Türleri, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü ,23119, Elazığ , 91s
- Yılmaz, F., (1997). “Sürtünme ve Aşınma”, *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, Cilt 1, İstanbul, s229-246.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hanife YILMAZ
Doğum Yeri ve Tarihi : BARTIN / 09.05.1991

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Süleyman Demirel Üniversitesi Tasarım ve
Konstrüksiyon Öğretmenliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Neccaroğlu, V., Yıldız, F., Terkeşli, M. H., Özlman, H.
ve Türkyücel, H. (2017). APS Yöntemi ile Yüzey WC ve
Mo Tozları ile Kaplanmış AISI 1040 Çeliğinin Mikro-
Abrasyon Aşınma Davranışlarının incelenmesi. *Bartın
Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*.
Vol. 5 Issue 1 (2017), 29-34.

İş Deneyimi

Stajlar : 2009 / Yaman Tente ve REKLAM / BARTIN
2010 / BARMAK Bartın Makine San. Ve Tic. Ltd. Şti.
/BARTIN
2013 / Mayda Toz Metal ve Otomobil Parçaları San. Tic.
Ltd. Şti. / BURSA
Projeler ve Kurs Belgeleri : 2012 / MEB Autocad kursu, Ehliyet /B,
Çalıştığı Kurumlar : 07.2013/09.2016 / Yimsan Yakın İnşaat Ltd.Şti./
BARTIN

İletişim

E-Posta Adresi : hanifeozlman@gmail.com

Tarih : 29/12/2017(Tez sınav tarihi)

