

**FERROKROM CÜRUFLARINDAN GERİ KAZANILAN
FERROKROM ÖN KONSANTRELERİNİN
MANYETİK AYIRMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ALİ UTKU ÖZTÜRK

**FERROKROM CÜRUFLARINDAN GERİ KAZANILAN
FERROKROM ÖN KONSANTRELERİNİN
MANYETİK AYIRMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali Utku ÖZTÜRK

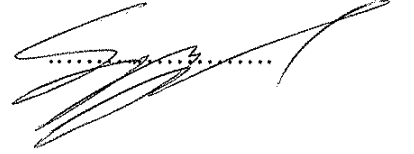
**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Zonguldak
Aralık 2012**

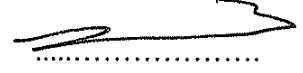
KABUL:

Ali Utku ÖZTÜRK tarafından hazırlanan "FERROKROM CÜRUFLLARINDAN GERİ KAZANILAN FERROKROM ÖN KONSANTRELERİNİN MANYETİK AYIRMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 07/12/2012

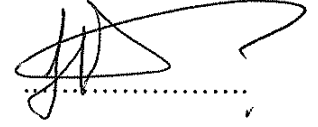
Başkan : Prof. Dr. Sait KIZGUT (BEÜ)



Üye : Prof. Dr. İhsan TOROĞLU (BEÜ)




Üye : Doç. Dr. Hülya ARSLAN (BEÜ)



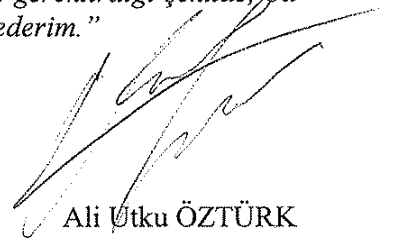
ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2012



Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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



Ali Utku ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FERROKROM CÜRUF LARINDAN GERİ KAZANILAN FERROKROM ÖN KONSANTRELERİNİN MANYETİK AYIRMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Utku ÖZTÜRK

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sait KIZGUT

Aralık 2012, 89 sayfa

Ferroalaşım atıklarının miktarının giderek artması ve bunun yanında üretim maliyetlerinin yükselmesi, üretici firmaları alternatif kaynaklara yöneltmektedir. Cüruflar ve cüruflardan geri kazanılan metaller atık sınıfından çıkıp kaynak halini almaya başlamışlardır. Ferroalaşım sektöründe ki cüruflardan metal geri kazanmak, ferroalaşımın üretilmesinden daha az maliyetli olduğu gibi, cüruf kısımları da ekonomide değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, cüruflardan geri kazanılan ferrokrom toplu konsantre ürünlerinin manyetik ayırma ile değerlendirilip, sadece şarj krom olarak elektrik ark fırınlarına beslenmesinin yanı sıra dünya satılabilir ürün sınıfına uygun konsantre elde edilmesi üzerinedir.

Anahtar Kelimeler: Ferrokrom, cüruf, manyetik ayırma, zenginleştirme

Bilim Kodu: 607.02.03

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE PRECONCENTRATES RECOVERED FROM FERROCHROME SLAGS ARE CLASSIFIED TO MAGNETIC SEPERATION TO PRODUCE SELLABLE PRODUCTS

Ali Utku ÖZTÜRK

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

**Project Advisor: Prof. Sait KIZGUT
December 2012, 89 pages**

Nowadays, ferroalloy manufacturers are turning to alternative sources because of the increasing amount of the industrial wastes and also production costs. Slags and the recovered metals from slags are take out from waste class, they have started to become a source. Ferroalloy sector to recover the metal from the slags is less costly from to produce the new one.

The aim of this study to search the beneficiation methods for marketing of recovered ferrochromes as a saleable products besides feeding to arc furnance as a charge chrome. It is tried to be create saleable products from recovered ferrochrome with the magnetic separating system.

Key Words: Ferrochrome, slag, magnetic separation, beneficiation

Science Code: 607.02.03

TEŞEKKÜR

Tez alıőmasının ynlendirilmesi ve tamamlanmasında yardımları olan tez danıőmanım Sn. Prof. Dr. Sait KIZGUT'a itenlikle teőekkr ederim.

alıőmanın srdrldğ dnemde alıőtıėım iç yerinde bana desteklerini esirgemeyen, karőılaőtıėım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aőmamda yardımcı olan Yük. Metalürji Müh. Sn. Mustafa AKYZL ve Yük. Maden Müh. Sn. Ali Aslan ZZEN'e yardımları ve görüőleri iin teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme ve eőime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM 2 FERROKROM ÜRETİMİ ve FERROKROMUN ÖZELLİKLERİ	3
2.1 FERROKROM ÜRETİMİNİN HAMMADDELERİ	4
2.2 FERROKROM ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	5
2.2.1 Yüksek karbonlu ferrokrom üretimi	7
2.2.2 Orta Karbonlu Ferrokrom Üretimi	9
2.2.3 Ferrosilikokrom Üretimi	9
2.2.4 Düşük Karbonlu Ferrokrom Üretimi	9
2.2.5 Karbonsuz ve Çok Düşük Karbonlu Ferrokrom Üretimi	12
2.3 FERROKROMUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	13
2.4 DÜNYADA ve TÜRKİYE'DE FERROKROM ÜRETİMİ	14
2.5 FERROKROMUN KULLANIM ALANLARI.....	18
BÖLÜM 3 FERROKROM ve FERROSİLİKOKROM CÜRUFU	19
3.1 FeCr ve FeSiCr CÜRUFUFLARI	20

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1.1 FeCr ve FeSiCr Cürufları Üretimi.....	22
3.1.2 FeCr ve FeSiCr Cürufları Kimyasal ve Mineralojik Yapıları.....	24
3.2 CÜRUF LARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	26
BÖLÜM 4 CÜRUF İÇERİSİNDEN DEĞERLİ METALLERİN KAZANIMI.....	31
4.1 SALLANTILI MASALARLA ZENGİNLEŞTİRME	32
4.2 MULTİ GRAVİTE AYIRICISI İLE ZENGİNLEŞTİRME	33
4.3 SPİRALLER.....	34
4.4 HİDROSİK LONLAR	35
4.5 JİGLERLE ZENGİNLEŞTİRME.....	36
4.5.1 Jiglerde Tabakalaşma	37
4.5.1.1 Engelli Çöküş Klasifikasyonu	37
4.5.1.2 Çöküş Başlangıcındaki İvme Farkı.....	38
4.5.1.3 Çöküş Sonunda Ara Boşluklardan Sızma	38
4.5.2 Jiglerin Yapısı ve Çalıştırılması	38
4.6 MANYETİK AYIRMA	39
4.6.1 Düşük Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırıcılar	41
4.6.2 Düşük Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcılar	42
4.6.3 Yüksek Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırıcılar	43
4.6.4 Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcılar	44
4.6.5 Süper İletkenli Manyetik Ayırıcılar.....	45
4.6.6 Sıcak Manyetik Ayırıcılar.....	45
4.7 FERROKROM CÜRUFU DEĞERLENDİRİLMESİ TESİS UYGULAMASI	46
BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
5.1 MALZEME	53
5.1.1 Deney Malzemesi Kimyasal Özellikleri.....	53
5.1.2 Deney Malzemesi Fiziksel Özellikleri	54
5.1.2.1 Deney Malzemesi Boyut Dağılımı.....	55
5.1.2.2 Deney Malzemelerinin Özgül Ağırlıkları.....	59

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1.2.3 Deneş Malzemelerinin Nem Oranları	60
5.1.2.4 Deneş Malzemelerinin Metal-Cüruf İçeriği	60
5.2 ROLL MIKNATIS DENEY SETİ	61
5.2.1 Deneşsel Çalışmalarda Kullanılan Roll Manyetik Ayırıcı Çalışma Prensihi	65
5.2.2 Roll Mıknatısın Ayırma Verimliliği Kontrol Yöntemi	66
5.3 MANYETİK AYIRMA DENEYLERİ	67
5.3.1 Uygun Gauss Aralıklarının Seçilmesi	68
5.3.2 Uygun Ortalama Hız Seçimi	69
5.3.3 Uygun Hız ve Bıçak Ayarları ve Makine Çalışma Verimi Kontrolü	75
5.3.4 Ayırma Sonucu Elde Edilen Konsantrelerinin Kimyasal Analizleri	77
BÖLÜM 6 SONUÇ ve DEğERLENDİRME	79
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kromit ile yüksek karbonlu ferrokrom üretim akım şeması.....	7
2.2 Yüksek karbonlu ferrokrom.....	8
2.3 Açık elektrik ark fırın	8
2.4 Düşük karbonlu ferrokrom.....	10
2.5 Düşük karbonlu ferrokrom üretimi akım şeması	11
2.6 Çok Düşük karbonlu ferrokrom üretimi için vakum fırını	12
2.7 Antalya Ferrokrom İşletmesi üretim prosesi.....	16
3.1 Cüruf Yığınları.....	19
3.2 Düşük Karbonlu FeCr cürufunun 360 kez büyütülmüş hali	21
3.3 Düşük Karbonlu FeCr cürufunun 3130 kez büyütülmüş hali	22
3.4 Outkumpu FeCr Prosesi.....	23
3.5 Cüruf Oluşumu için tipik indirgenme reaksiyonları.....	23
3.6 Ferrokrom cürufunun SEM tarama fotoğrafı	25
3.7 Maksimum kuru birim ağırlık – su muhtevası ilişkisi grafiği.....	26
3.8 FeCr ve FeSiCr cürufu L.A aşınma deneyi.....	27
3.9 FeCr ve FeSiCr cürufu birim hacim ağırlık grafiği	27
3.10 Ferrokrom cürufu uygulamaları	28
4.1 Wifley tipi sallantılı masa	32
4.2 MGS Ünitesi şematik gösterim	34
4.3 Spiral.....	35
4.4 Hidrosiklon yapısı	36
4.5 Düşük alan şiddetli kuru bant tipi manyetik ayırıcı	42
4.6 Düşük alan şiddetli tambur tipi yaş manyetik ayırıcı.....	43
4.7 Rulo tipi 3 ürünlü manyetik ayırıcı çalışma prensibi	44
4.8 Carousel tipi yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı	44
4.9 Süper iletkenli manyetik ayırıcı	45
4.10 Sıcak manyetik ayırıcı	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.11 Cürüflardan ferrokrom geri kazanım prosesi	48
4.12 Ferrokrom geri kazanım prosesi akım şeması.....	49
4.13 FeCr ve FeSiCr kazanımında kullanılan jig hücresi.....	50
5.1 -6+1 mm toplu konsantre numunesi	55
5.2 -30+6 mm toplu konsantre numunesi	55
5.3 -30+6 mm toplu konsantre elek analizi eğrisi.....	57
5.4 -6+1 mm toplu konsantre elek analizi eğrisi.....	58
5.5 Manyetik rulo	62
5.6 Roll manyetik ayırıcı	62
5.7 Roll mıknatıs üzerindeki malzemenin sınıflanması	64
5.8 Roll manyetik ayırıcı kesit görüntüsü.....	66
5.9 Test amaçlı el mıknatısı	67
5.10 -30+6 mm oluk-1 ve oluk-2 metale kompakt cüruf görüntüsü	71
5.11 -30+6 mm Oluk-1 ara ürün görüntüsü	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 ASTM A101-80 Standartlarına göre ferrokrom türleri	3
2.2 Dünya ferrokrom üretim miktarları	17
3.1 FeCr-FeSiCr cürufu kimyasal bileşenleri	26
5.1 Geri kazanılan toplu konsantrenin kimyasal analizi.....	53
5.2 -30+6 mm toplu konsantre elek analizi	57
5.3 -6+1 mm toplu konsantre elek analizi	58
5.4 Toplu konsantre ve cürufların özgül ağırlıkları	59
5.5 Toplu konsantrelerin nem içerikleri	60
5.6 Toplu konsantre, FeCr ve FeSiCr ürünlerinin cüruf içerikleri.....	61
5.7 FeSiCr ve LC FeCr kimyasal bileşim karşılaştırması	63
5.8 Farklı gausslarda ön ayırma sonuçları	69
5.9 -30+6 mm Toplu Konsantre R1 Bandı Hız Ayarı Sonuçları	70
5.10 -30+6 mm toplu konsantre R2 bant hızı ayarı sonuçları.....	74
5.11 -6+1 mm toplu konsantre R1 ve R2 bandı hız ayarı sonuçları.....	75
5.12 -30+6 mm toplu konsantre roll manyetik çalışma verimi kontrolü.....	76
5.13 -6+1 mm toplu konsantre roll manyetik çalışma verimi kontrolü.....	76
5.14 -30+6 mm konsantrelerin kimyasal analizleri.....	77
5.15 -6+1 mm konsantrelerin kimyasal analizleri.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: İvme
γ	: Birim hacim ağırlığı
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
gr	: Gram
dk	: Dakika
kg	: Kilogram
m	: Metre
sn	: Saniye
ppm	: Percent per million (Milyonda bir oran ifadesi)
MWh	: megawatt saat
kJ	: kilojoule
ΔH	: Isı değişimi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: Kaliforniya taşıma oranı
EAF	: Elektrik ark fırını
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
SEM	: Elektron Mikroskobu
USEPA	: United States, Environmental Protection Agency
XRF	: X-ışınları flouresans spektroskopisi
XDD	: X-ray kırılma dataları
DMS	: Ortam yoğunluk ayrımı
LC	: Düşük karbon
MC	: Orta karbon
HC	: Yüksek karbon
FeCr	: Ferrokrom
FeSiCr	: Ferrosilikokrom

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Krom cevheri dünya ve ülke sanayimiz için önemli bir üretim girdisidir. Krom, atmosferin korozif ve kimyasal etkilerine karşı yüksek direnç göstermesi, çok sert olması nedeniyle çelik ve diğer metallerin kaplanması ve korunması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada üretilen krom cevherinin %90'ının metalürji sanayinde ferrokrom üretiminde, üretilen ferrokromun da yaklaşık %90'ının paslanmaz çelik sektöründe kullanıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla, paslanmaz çelikteki arz-talep dengesi direkt olarak dünyadaki krom cevheri ve ferrokrom üretimini ve fiyatını etkilemektedir.

Ferrokrom; mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde olduğu gibi ağır silah sanayisinde kullanılır. Paslanmaz çeliğin dayanıklılığının yanı sıra, kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması; bu malzemenin son yıllarda otobüslerin ve tren vagonlarının, şehir içlerinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında ve deniz içi petrol arama platformlarının yapımında giderek artan oranlarda kullanılmasını sağlamıştır.

Dünyada kromit üreten ülkelerin hemen hemen tamamı paslanmaz çelik üreticilerinin taleplerini karşılayabilmek için kromit cevherinden ferrokrom elde etme çabası içerisindeyler. 1970'li yıllardan başlayarak ferrokrom tesisleri, paslanmaz çelik üreten Japonya, Batı Avrupa ve ABD gibi sanayisi gelişmiş ülkelere kaymıştır. Diğer bir deyişle, bu ülkeler krom cevheri ihtiyaçlarını ferrokrom ithali yoluyla karşılamakta, kendi ülkelerinde ferrokrom üretiminden uzaklaşmaktadırlar (DPT 2001).

Yurdumuzun 1970 yılları öncesi elektrik enerjisi üretimi Ferrokrom tesislerini çalıştırmak için yetersiz olduğundan; hidroelektrik santrallerin kurulması sonucu elektrik enerjisi üretiminin artması üzerine; düşük tenorlu krom cevheri yataklarını değerlendirmek ve döviz gelirini

artırmak için, Antalya Ferrokrom İşletmesi 1958 yılında Türk - Fransız ortaklığı ile kurulmuş ve 1970 yılında sermayesinin tamamı Türk Şirketi Eti Holding'e geçerek düşük karbonlu ferrokrom üretimine başlamıştır. 1972 yılında ise Elazığ Ferrokrom Tesisinin yapımına başlanmış ve 1977 yılında yüksek karbonlu ferrokrom üretimine geçilmiştir ve ülkemize döviz girdisi sağlamaya başlamışlardır.

Dünya piyasalarındaki sürekli dalgalanmalar, düşük metal fiyatları ve artan enerji maliyetlerinin etkisi ile dünya genelinde ferrokrom fabrikaları kapanmaya başlamıştır. Ferrokrom üreticileri ise talepleri karşılayabilmek için üretim esnasında ortaya çıkan cüruflara ve bu cüruflar içerisindeki üretim kaçağı ürünlere yönelmeye başlamışlardır. 1 ton ferrokrom üretmek için yaklaşık 1,2–1,6 ton arası cüruf üretildiği düşünülürse bu cürufların boyutları azımsanmayacak kadar çok olmuştur. İzabe atıklarının kaç yıldır depolandığına ve türüne göre içerisindeki metal oranı %2 ile %5 arasında değişebilmektedir.

Bu da demek oluyor ki dünyada yılda 10 milyon ton ferrokrom üretimi gerçekleşirse 12–16 milyon ton cüruf oluşmaktadır. Ülkemizde ise yılda yaklaşık 60.000 ton ferrokrom üretiliyorsa bunun anlamı 100.000 ton civarında cüruf elde edileceğidir. Bu cürufların içerisinde kazanılacak yıllık metal oranı ise dünyada 200.000 ton, ülkemizde ise yaklaşık 2000 ton civarında olacaktır. Bunun yanında çevresel kirliliğe neden olan cüruflar içerisindeki Cr^+ değerlilikleri oranları düşürülmüş olacak ve bu sayede çevreye zararı olmayan boyutlandırılmış cüruflar elde edilmiş olacaktır. Bu cüruflar yol yapımından, yapı malzemesine kadar çok geniş bir alanda kullanılabilir.

Demir Çelik cüruflarındaki gibi ferrokrom ürünlerinin atık içinden kazanılması, hem metalik maden kaynaklarının korunması hem de üretim sürecinde ki Fe, CaO, MgO ihtiyacını tekrar kendi atıklarından değerlendirilebilmesi demektir. Hatta ferroalaşımın bol miktarda Cr, Ni, Mn, Ti, V, Mo vb. metaller içermesi, bu geri kazanılan metallerin şarj malzemesi olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; ülkemizde bu geri kazanılan metallerin bir alternatif kaynak olmadığını aslında tesislerin kendilerine şarj krom olarak kullanabilecek hammadde kaynağı olduğunu hatta yapılacak bir takım zenginleştirme işlemleri sonrası konsantrelerin dünya satılabilir ferrokrom değerlerini yakalayabileceğini göstermektir. Bunun yanında ülkemize döviz girdisi sağlayacağı gibi, cürufların da çevresel etkileri azalacaktır.

BÖLÜM 2

FERROKROM ÜRETİMİ ve FERROKROMUN ÖZELLİKLERİ

Teknikte 3 tip ferrokrom bilinmektedir. Bunlardan %4–6 C’lu ya da daha yüksek karbonlu olanına yüksek karbonlu ferrokrom, %0,5–4 C’lu olanına orta karbonlu ferrokrom ve %0,02-0,5 C’lu olanına da düşük karbonlu ferrokrom adları verilmektedir. Her üç alaşım türünün de üretilmelerindeki temel amaç, paslanmaz ve kaliteli çelik üretimi için gerekli bir ön demir-krom alaşımı elde etmektir.

Ancak kromun kolaylıkla karbonla birleşebilen, yani kolay karbür oluşturan metal oluşu redüksiyon ortamının ve redüksiyon sıcaklıklarının karbonla birleşmeyi kolaylaştırıcı etkisi nedenleri ile üretilen ferrokrom bünyesine %10’a kadar varan oranlarda karbon kabul eder ki bu değer normal dökme demirinkinin yaklaşık iki katından fazladır. ASTM standartlarına göre ferrokrom türleri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Yıldırım 1984).

Çizelge 2.1 ASTM A101-80 standartlarına göre ferrokrom türleri (ASTM 1991).

Ferrokrom Türü	% Bileşim						
	Derece	Krom (%)	Karbon (%)	Silisyum (%)	Kükürt (%)	Fosfor (%)	Azot (%)
Yüksek Karbonlu	A	52-58	6-8	6	0,040	0,030	-
	B	55-64	4-6	8-14	0,040	0,030	-
	C	62-72	4-9,50	3	0,060	0,030	-
Düşük Karbonlu	A	60-67	0,025	1-8	0,025	0,030	-
	B	67-75	0,025	1	0,025	0,030	-
	C	67-75	0,050	1	0,025	0,030	-
	D	67-75	0,750	1	0,025	0,030	-
Vakum Düşük Karbonlu	E	67-72	0,020	2	0,030	0,030	-
	F	67-72	0,010	2	0,030	0,030	-
	G	63-68	0,050	2	0,030	0,030	5-6
Azot İçerikli		62-70	0,100	1	0,025	0,030	1-5

Ferrokrom üretiminde, ferrokromun yüksek veya düşük karbonlu oluşuna göre değişik metotlar uygulanır. Düşük karbonlu ferrokrom üretiminde redükleme metalik silikonla yapılır. Reaksiyon için açık ark fırınları kullanılır. Yüksek karbonlu ferrokrom üretimi daha çok batık elektrotlu ark fırınlarında yapılır. Bu fırınlar çelik muhafaza içine karbon bloklar ve refrakter tuğlalarla örülmüş bir potaya benzerler.

2.1 FERROKROM ÜRETİMİNİN HAMMADDELERİ

Ferrokrom üretiminde hammadde olarak roş kromit, konsantre kromit, boksit, kuvarsit, kok kömürü ve elektrot yapımı için Soderberg hamuru kullanılmaktadır. Ferrokrom üretiminde kullanılan hammaddelerin düzenli kimyasal bileşimi ve istenilen fiziksel özelliklerde olması verim açısından oldukça önemlidir. Ayrıca bu cevherler sert roş kromit, kırılğan roş kromit ince ve konsantre kromit olmak üzere alt sınıflara ayrılır.

Ferrokrom üretiminin en önemli hammaddesi kromit cevheridir. Kromit mineralojik olarak spinel karakterli çift oksitten oluşan bir maden filizidir. Açık ve kapalı tip ferrokrom elektrik ark fırınlarında krom filizinden ferrokrom üretimi gerçekleştirilmektedir. Kromit cevheri 20–100 mm irilikte olmalı ve peletlenmelidir. Cevherdeki krom içeriğinin; demir içeriğinin üç katından daha büyük veya üçe eşit olması, MgO içeriğinin mümkün olduğu kadar az olması, Al_2O_3 ve SiO_2 oranlarının cüruf oluşumu için fazla katkı gerektirmeyecek düzeyde bulunması istenir. Cr_2O_3 Oranının ise %48 oranlarında bulunması diğer bir istenen özelliktir (Yıldız 1994).

Kok kömürü direkt redüksiyonda ve şarjın iletkenliğinde, kuvarsit ve boksit isteğe uygun cüruf oluşumunda, Soderberg hamuru akımın banyoya iletiminde ve elektrik enerjisi de redüksiyon ve redüklenen ürünün sıvı halde kalabilmesi için gerekli yüksek ısının sağlanmasına yardımcı olurlar.

Redüksiyon ve fırın içi iletkenliğin sağlanmasında önem teşkil eden metalürjik kokun 25–50 mm arasında olması istenirken, kokun az kül bırakması, kükürdün az olması, az uçucu madde içermesi, güç tutuşması, mukavetinin yüksek olması, gözenekli yapı göstermesi ve sabit karbon içeriğinin %85'in üzerinde olması istenir. (Yıldırım 1984).

Ferrokrom üretiminin diğer hammaddelerinden biri ise cüruf yapıcı olarak şarj kromuna katılan kuvarsittir. Kuvarsitin SiO_2 içeriğinin %90'ı aşması işlemi etkileyebilecek zararlı

bileşiklerin fırına girmemesi açısından önem taşır. Hammaddelerde SiO_2 ve MgO 'in fazla ve Al_2O_3 oranının az bulunduğu hallerde fırına cüruf yapıcı olarak boksit minarelide katılır (Yıldırım 1984).

Elektrod malzemesi olarak kullanılan Soderberg hamuru; antrasit, kömür tozu, zift, katran gibi ürünlerin belli oranlarda karıştırılması ve daha sonra hamur halinde yoğrulması şekliyle üretilir. Soderberg hamurunun 700–800 °C sıcaklıklarda uçucu maddelerini yitirerek ısı iletkenliğinin artması ve bu iletkenliğin metallere yaklaştığı istenen en önemli özelliktir. Ayrıca hamurun çok az kül bırakması istenir.

Redüksiyon ısısına çıkmak, ısı düzeyi ve yüksek sıcaklığı korumak, fırından alınan ürünlerden dolayı kaybolan kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon ısı kayıplarını tekrar fırına geri vermek, redüksiyon ürünlerinin üretim esnasında katılaşmasını önlemek elektrik arkı sayesinde sağlanan ısı ile olmaktadır. 1 ton ferrokrom üretimi için fırının büyüklüğüne ve ısı yalıtım derecesine bağlı olarak açık tip elektrik ark fırınlarında 3,5–5 MWh, kapalı tip elektrik ark fırınlarında da 2,5–4 MWh elektrik enerjisi gerekmektedir (Yıldırım 1984).

2.2 FERROKROM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Ferrokrom üretiminin ilk bakışta elektrometalurjik yöntemle gerçekleştiği sanılır. Aslında bu kanı tamamen yanlıştır. Ferrokrom üretiminde redüksiyonda kullanılan elektrik enerjisinin görevi doğrudan redüksiyona katılmak değil, kok kömürü ile yapılacak direkt redüksiyon işlemi için gerekli yüksek ısı gereksinimini karşılamak ve redüksiyon bölgesinde 1600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara çıkmayı sağlamaktır (Yıldırım 1984).

Başka bir deyişle ferrokrom üretimi pirometalurjik-elektrotermik bir üretim yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Nitekim hiç elektrik enerjisi kullanmadan söz konusu redüksiyon sıcaklıklarına ekonomik biçimde başka bir yolla ulaşmak mümkün olsaydı, o zaman elektrik enerjisinden yararlanmadan da aynı redüksiyon işleminin gerçekleştirilmesi mümkün olabilecekti (Yıldırım 1984).

Ferrokrom istenilen karbon içeriğine bağlı olarak çeşitli yöntemler ile üretilmektedir. Yüksek karbonlu ferrokrom ve döküm ferrokrom, krom cevherinin karbon ile redüklenip ergitilmesi ile elde edilmektedir. Düşük karbonlu ferrokrom, üç kademeli ergitme yöntemi kullanılarak

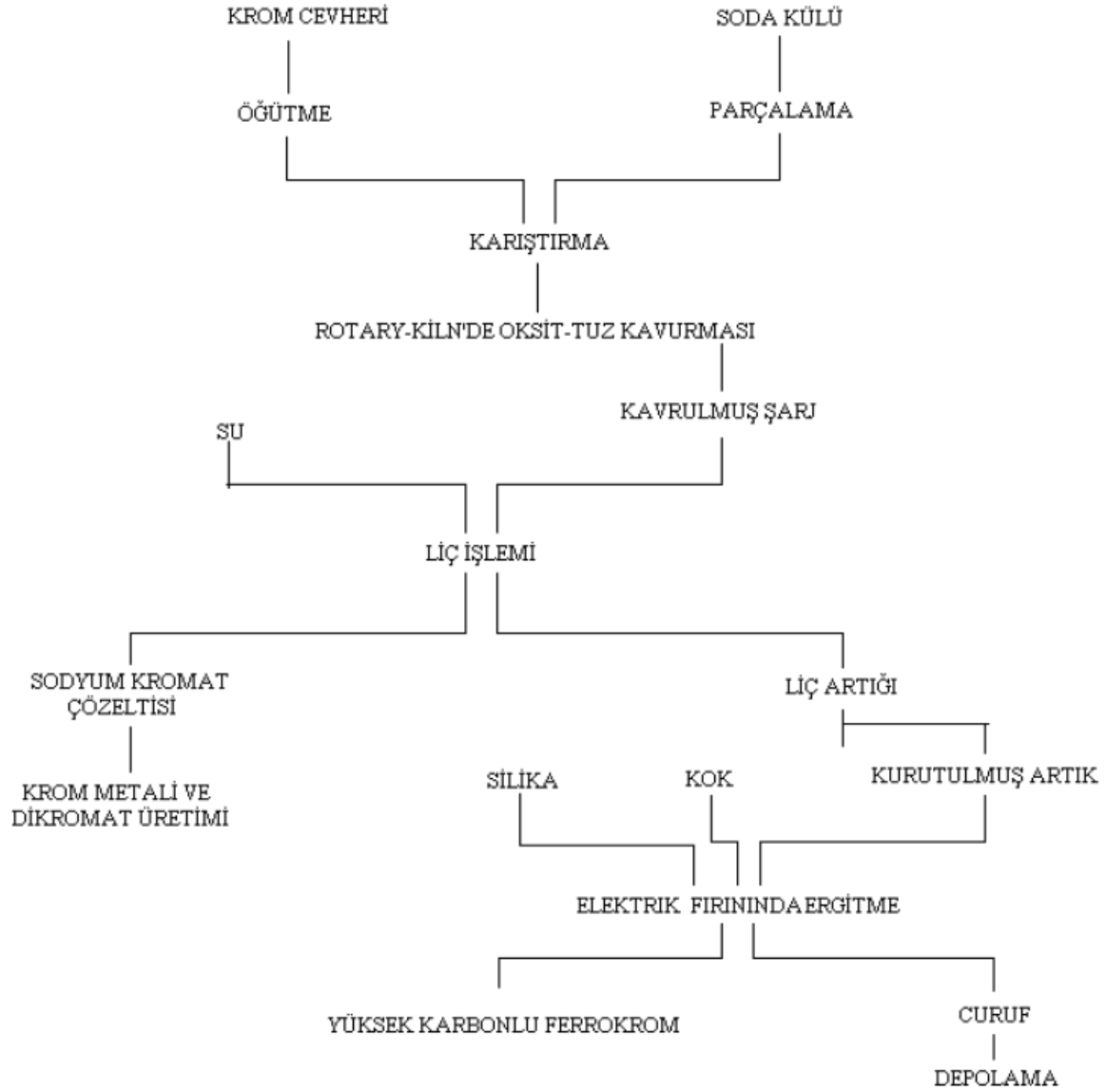
üretilmektedir. Birinci fırında döküm ferrokrom üretilmekte, ikincisinde kuvars, kok ve döküm ferrokrom şarj edilerek ferrosilikokrom alaşımı elde edilmekte ve üçüncü fırında ise krom cevheri, ferrosilikokrom alaşımındaki silisyum ile redüklenmektedir. Elde edilen ürün, son eriyiğe ilave edilen ferrosilikokroma bağlı olarak karbon içeriği belirlenmiş ferrokrom alaşımıdır (Yoruç 1994).

Çok düşük karbonlu ferrokrom (%0,01-%0,04 C) üretmek için sıvı ferrosilikokrom ile cevher ve kireç eriyiğinden demir ve krom redüklenmekte veya krom cevheri alüminyum ile redüklenmektedir. Krom metali ise krom cevherine aluminotermik redüksiyon veya elektroliz işlemleri uygulanarak elde edilmektedir (Yoruç 1994).

Ferrokrom üretiminde termik redüksiyon, sadece krom oksit ve demiroksitin redüksiyonundan ibaret kalmaz. Aynı zamanda fırına yapılan kuvarsit şarjı nedeni ile silisyum oksit de tamamen redüklenerek sıvı ferrokrom bünyesine geçer. Fırın içinde cereyan eden endotermik reaksiyonlara ait denklemler gerçekte daha karmaşık olmakla beraber büyük ölçüde aşağıdaki denklemlerle verilen stokiometriye uyarlar (Yıldırım 1984).



Krom metali ve yüksek karbonlu ferrokrom alaşımının birlikte örnek üretim akım şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kromit ile yüksek karbonlu ferrokrom üretim akım şeması (Yıldırım 1984).

2.2.1 Yüksek karbonlu ferrokrom üretimi

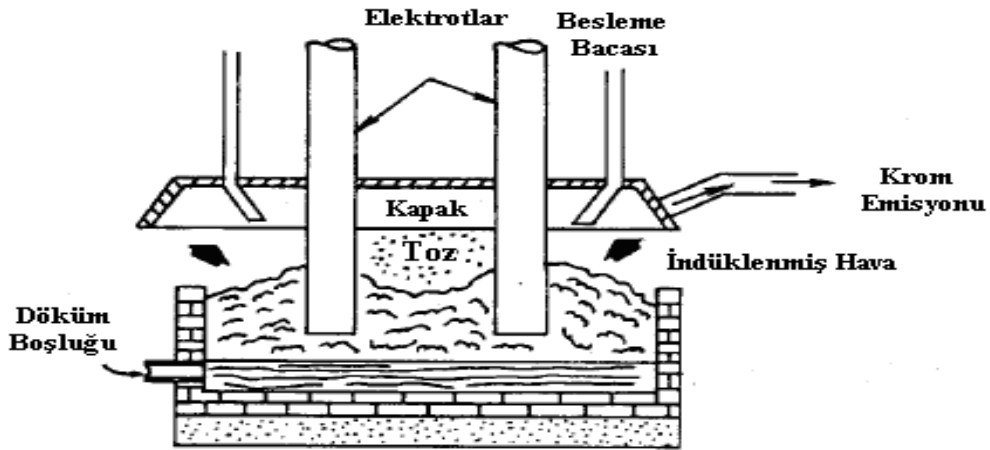
Yüksek karbonlu ferrokrom üretimi için, kromit cevheri, karbon içeren redükleyici ve uygun bileşimdeki cüruf yapıcıdan oluşan şarj malzemesi üç karbon elektrot içeren üç fazlı daldırmalı ark fırınlarında ergitilmektedir. İlk olarak fırını terk eden yanma gazları yardımı ile şarjın ısıtılması sağlanır ve şarjdan su ve uçucu maddeleri uzaklaştırılır ve daha sonra krom ve demir karbürlerin aynı anda oluşumu ile demir ve kromun redüksiyonu meydana gelir. Ergimiş ferrokrom oluşumu ile redüklenmiş elementler ergitilir ve cüruf oluşumu sağlanır (Yoruç 1994).

Krom ve demir cevherleri, alümina, kömür veya kok gibi indirgeyicilerle, silika ve çakıl (kum, gravel) gibi cüruf yapıcılarla elektrik ark fırınlarına sürekli ya da aralıklı şarj edilebilir. üç karbon elektrotu dikey olarak yukarıdan merkeze doğru şarj malzemelerinin içine 1-1.5 metre daldırılır. Üç faz akım arkları elektrottan elektroda malzemelerin içinden geçer ve elektrik enerjisini ısıya dönüştürerek şarjı eritir. Elektrotların çevresindeki şiddetli ısı sonucu (2204–2760 °C) şarj içerisindeki demir ve krom oksitlerin karbon ile redüksiyonu Şekil 2.2'deki ferrokromu oluşturur (USEPA 1984).



Şekil 2.2 Yüksek karbonlu ferrokrom (URL-1).

Dökme ferrokrom alt fırın duvarındaki döküm deliğinden (şekil 2.3) aktarma potaları içine düzenli olarak akıtılır. Dökme ferrokrom kalıplara dökülür ve soğumaya ve katılaşmaya bırakılır. Daha sonra döküm kalıplardan çıkarılır, sınıflandırılır ve kırılır. Kırılan ferrokrom elemenden geçirilir. Ferrokrom ürünü daha sonra paketlenir, depolanır ve tüketiciye nakledilir. (USEPA 1984).



Şekil 2.3 Açık elektrik ark fırını (USEPA 1984).

Genellikle fırın pota kenarının 1,8–2,4 metre üzerine bir baca yerleştirilir. Ergime prosesinden çıkan toz ve dumanlar dolaşan havanın geniş hacmiyle baca boyunca içine çekilir. Açık fırın işlem sırasında, kömür besleme hızı ve fırın tasarımında değişiklik yapmadan birkaç çeşit ferroalaşım üretimine olanak sağlayabilir. Açık fırın işlemleri, kapalı fırın işlemlerinden daha az kaza riski taşır ve çalışan güvenliği daha fazladır (USEPA 1984).

2.2.2 Orta Karbonlu Ferrokrom Üretimi

Orta karbonlu ferrokrom üretimi için iki metot kullanılır. Bu metotlar açık ark tipi elektrik fırını ve Bessemer konvertörüdür. %1,5–2 C içeriğine sahip ferrokrom üretmek için, açık ark tipi elektrik fırınına, erimiş yüksek karbonlu ferrokrom, kireç, silika, florit (CaF₂) ve cevher homojen olarak karıştırılmış şekilde beslenir. Bessemer konvertöründe oksijen üfleme yoluyla yüksek karbonlu ferrokrom, ferrosilikokrom ve krom cevheri kullanılarak orta karbonlu ferrokrom üretilir (Keski 2008).

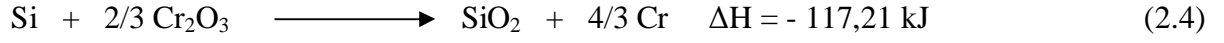
2.2.3 Ferrosilikokrom Üretimi

Ferrosilikokrom endüstriyel çapta doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki yöntem ile üretilmektedir. Doğrudan yöntemde, krom cevheri, kuvars ve redükleyici madde elektrik şaft fırınında reaksiyona sokularak doğrudan ferrosilikokrom elde edilmektedir (Yoruç 1994).

Dolaylı yöntemde ise önce ferrokrom üretilmekte sonra kuvarz ve döküm ferrokrom ile birlikte elektrik şaft fırınında ergitilerek ferrosilikokrom elde edilmektedir. Ferrosilikokrom, bir krom-silisyum-demir alaşımıdır ve karbon içeriği silisyumun miktarına bağlıdır. Ferrosilikokrom orta ve düşük karbonlu ferrokrom yapımında kullanılabilir (Yoruç 1994).

2.2.4 Düşük Karbonlu Ferrokrom Üretimi

Şekil 2.4’de yakından çekilmiş resmi gösterilen düşük karbonlu ferrokrom üretiminde krom cevheri, ferrosilikokromdaki silisyum tarafından aşağıda gösterilen reaksiyonlarda ki gibi redüklenmektedirler (Yoruç 1994).

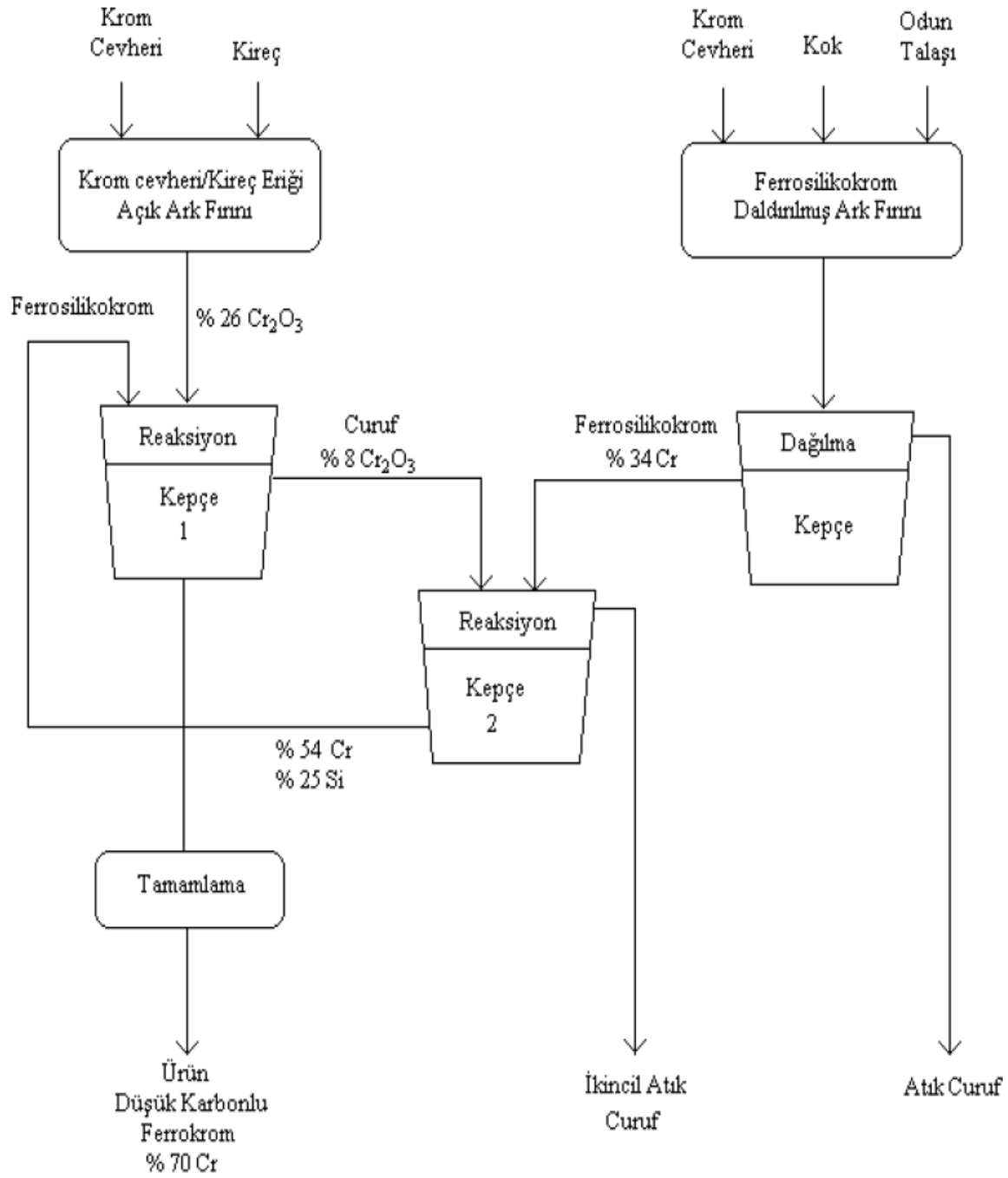


Reaksiyonlar ekzotermik olduğundan daha düşük sıcaklıklarda daha uygun bir şekilde gelişecekler buna karşın reaksiyon hızları oldukça azalacaktır. Rafine ferrokrom yüksek sıcaklıkta ergimektedir (Yoruç 1994).



Şekil 2.4 Düşük karbonlu ferrokrom (URL-1 2012).

Düşük karbonlu ferrokrom elde edebilmek için kullanılan ve silisyum redüksiyonunu kapsayan ekzotermik proses Şekil 2.5’de gösterilmiştir (USEPA 1984).



Şekil 2.5 Düşük karbonlu ferrokrom üretimi akım şeması (USEPA 1984).

Krom cevheri/kireç eriyiği üretmek için krom cevheri eritilir. Reaksiyon için kepçeye dökülür. Diğer bir kepçede ise miktarı önceden bilinen ferrosilikokrom eritilir. Kepçe içerisinde hızlı bir sıcaklık üretilmesi ile meydana gelen reaksiyon sonucunda krom oksit formundan kromun redüksiyonu ile düşük karbonlu ferrokrom ve kalsiyum silikat cürufu oluşturur. Ferrokrom ürünü açık havada soğutulur (USEPA 1984).

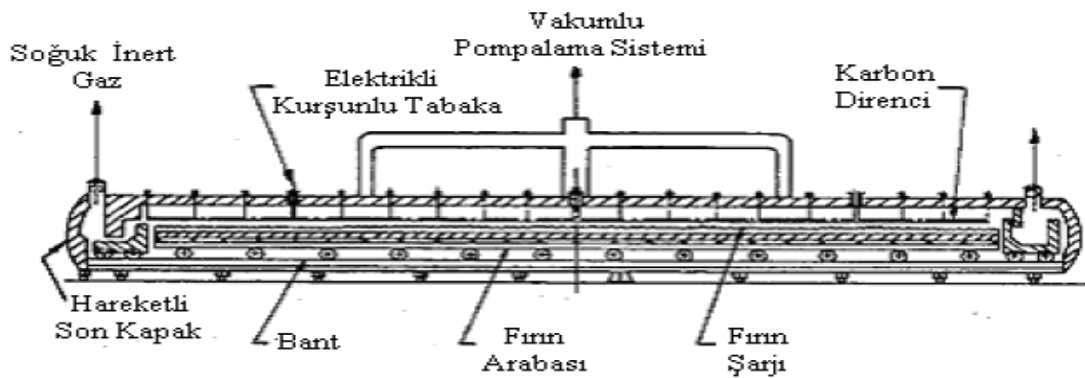
Birinci kepçedeki cüruf hala kazanılabilir krom oksit içerir, bu cüruf batırılmış ark fırınında erimiş ferrosilikokrom ikinci kepçede reaksiyona tabi tutulur. İkinci kepçedeki ekzotermik reaksiyon sonucu üretilen ferrosilikokrom sonraki üretim çevrimi esnasında birinci kepçeye ilave edilir (USEPA 1984).

2.2.5 Karbonsuz ve Çok Düşük Karbonlu Ferrochrom Üretimi

Karbonsuz ferrochrom üretimi, manyezit astarlı elektrik şaft fırınında, krom cevheri, ferrosilikokrom ve kirecin (CaO) reaksiyona girmesi ile elde edilmektedir. Şarj maddelerinin tamamen kurutulması gerekmektedir, çünkü şarjda bulunacak nem silisyumu oksitlemekte, krom verimini azaltmakta ve elektrik tüketimini artırmaktadır (Keski 2008).

Karbonsuz ferrochrom üretiminin diğer bir yöntemi, yüksek kromlu cüruf oksitlerinin ferrosilikokromda bulunan silisyum tarafından redüklenmesidir. Bu durumda cevher ve kireç bir fırında ergitilirken ferrosilikokromda ayrı bir fırında ergitilmekte ve her iki eriyik bir pota içerisinde karıştırılarak demir ve krom oksitler ferrosilikokromdaki silisyum ile redüklenmektedir (Yoruç 1994).

Çok düşük karbonlu ferrochrom üretiminde Şekil 2.6'da gösterildiği gibi vakum fırınları kullanılır. Fırına yüksek karbonlu ferrochrom şarj edilir ve alaşımın ergime noktasının yakınında bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Dekarbürasyon yüksek karbonlu ferrochromun silika oksit tarafından oksitlendiği gibi gerçekleşir. Reaksiyon sonucu oluşan karbonmonoksit gazı, yüksek bir vakumla fırından dışarı pompalanır ve ferrochromun dekarbürasyonunu destekler (USEPA 1984).



Şekil 2.6 Çok Düşük karbonlu ferrochrom üretimi için vakum fırını (USEPA 1984).

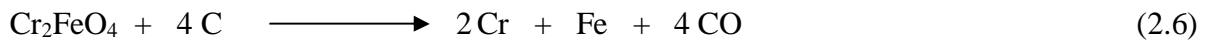
2.3 FERROKROMUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ferrokrom, çelik endüstrisinde kullanılan önemli bir ferroalaşım olup kromit cevherlerinin redüksiyonu ile üretilmektedir. Kromit cevherinin redüksiyonunda amaç yüksek krom kazanımı elde etmektir. Bu nedenle kromit cevherinin karbon ile redüksiyonunun termodinamiği, kinetiği ve mekanizması önem arz etmektedir.

Kromit cevheri, oktahedral ve tetrahedral merkezlerin katyonlar tarafından işgal edilmiş bir spineldir. Oktahedral merkezler Cr^{+3} , Al^{+3} ve Fe^{+3} gibi üç değerli iyonlarla işgal edilmiştir. Tetrahedral merkezler Fe^{+2} , Mg^{+2} ve Ca^{+2} gibi iki değerlilikli iyonlarla işgal edilmiştir. Değişik katyonların göreceli ebatları ve demirin cevherdeki oksidasyon durumu kaynaktan kaynağa değişmektedir. Çeşitli cevherlerin redüklenebilirliğini anlamak için, gangın içeriği, demirin oksidasyon durumu ve (Cr/Fe) oranı birkaç ana faktördür (Chakraborty et al. 2005).

Krom ve karbon; Cr_4C , Cr_7C_3 ve Cr_3C_2 benzeri karbürleri oluşturmaktadır. Endüstriyel yüksek karbonlu ferrokrom, çoğunlukla $(Cr,Fe)_7C_3$ içermektedir. Düşük karbonlu ferrokromda ise $(Cr, Fe)_4C$ oluşmaktadır. Krom, azot ile CrN ve Cr_2N nitürlerini oluşturmaktadır. Krom ve oksijen, asit oksit (Cr_2O_3) ve bazik oksit (CrO) oluşturmaktadır. En kararlı oksit, yoğunluğu $5,21 \text{ g/cm}^3$ ve ergime noktası $2275 \text{ }^\circ\text{C}$ olan Cr_2O_3 'tür (Yoruç 1994).

Teorik olarak daha kararlı oksit oluşturan bir element daha az kararlı bir oksidin redükleyicisi olarak kullanılabilir. Ayrıca redükleme reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için redüklenecek element oksidinin oluşum serbest enerji değeri arasında belirgin bir farkın olması gerekmektedir. Eğer bu fark çok küçük olursa redükleme reaksiyonları tam olarak gerçekleşmez ve son alaşımdaki redükleyici madde miktarı artar. Bu kriterler göz önüne alındığında, demir ve krom oksitlerin üretiminde kullanılacak en uygun redükleyiciler karbon, silisyum ve alüminyumdur. Kromit cevherinin redüksiyonu ise genellikle aşağıdaki gibi ifade edilir (Yoruç 1994).



Bununla beraber, redüksiyon ya katı karbonun ve cevher taneciğinin direk etkileşimi vasıtası ile ya da gaz/katı reaksiyon yardımı ile meydana gelir. İkinci durumda reaksiyonlar aşağıdaki gibi ifade edilir (Chakraborty et al. 2005).



2.4 DÜNYADA ve TÜRKİYE'DE FERROKROM ÜRETİMİ

Ferrokrom ilk defa 1820 yılında krom ve demiroksit karışımının bir pota içinde odun kömürü ile redüklenmesi sonucunda üretilmiştir. Elektrotermik işlemin kullanılması ferrokrom üretiminin gelişmesinde bir dönüm noktası olmuş ve 1893'te Moisson bir elektrik fırınında %60 Cr ve %6 C içeren ferrokrom elde edilmiştir. 1907 yılında F.M. Becket tarafından düşük karbonlu ferrokrom üretimi gerçekleştirilmiştir (Keski 2008).

Paslanmaz çelik sanayi (kromun başlıca kullanım alanı), uzun vadede, yılda bir veya iki ferrokrom tesisine ihtiyaç duyan bir büyüme göstermektedir. Bu talebi karşılamak amacıyla, örneğin Güney Afrika'da yeni tesisler kurulmuş ya da eski tesisler genişletilmiştir. Bununla birlikte kazanımın artırıldığı maliyetin düşürüldüğü bir büyüme şekline tesislerde önem verilmiştir. Örneğin; Güney Afrika'da aglomerasyon ve fırın beslenmesinde ön ısıtma ve cüruftan kazanım gibi. Güney Afrika'da kromit ve ferrokrom üreticileri bu işlem değişikliklerinin finansmanını Asya'daki çelik üreticileri ile yaptıkları ortaklıklarla karşılamışlardır (DPT 2001).

1970'li yıllardan başlayarak ferrokrom tesisleri, paslanmaz çelik üreten Japonya, Batı Avrupa ve ABD gibi sanayisi gelişmiş ülkelere kaymıştır. Diğer bir deyişle, bu ülkeler krom cevheri ihtiyaçlarını ferrokrom ithali yoluyla karşılamakta, kendi ülkelerinde ferrokrom üretiminden uzaklaşmaktadırlar (DPT 2001).

Yurdumuzun 1970 yılları öncesi elektrik enerjisi üretimi ferrokrom tesislerini çalıştırmak için yetersiz olduğundan; hidroelektrik santrallerin kurulması sonucu elektrik enerjisi üretiminin artması üzerine; düşük tenorlu krom cevheri yataklarını değerlendirmek ve döviz gelirini artırmak için, 1972 yılında ferrokrom tesisinin yapımına başlanmış ve 1977 yılında ferrokrom

üretimine geçilmiştir. Ferrokrom tesisleri kuruluşundan 1982 yılına kadar Şantiye ve Tesis Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmüş olup, 1982 yılında Etibank Genel Müdürlüğü Yönetim Kurulu Kararı ile Elazığ Ferrokrom İşletmesi adını almıştır (URL-2 2012).

Krom cevherinin üretilmesi, zenginleştirilmesi ve ferrokroma dönüştürülmesi birbirine bağlı işlemlerdir. Bu nedenle Etibank Genel Müdürlüğü Yönetim Kurulu kararı ile Şark kromları İşletmesi ile Elazığ Ferrokrom İşletmesi 1984 yılından itibaren Etibank Şark kromları Ferrokrom İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü adı altında birleştirilmiş ve Kayseri ile Pınarbaşı ilçesinde ki Orta Anadolu Krom İşletmesi de Müesseseye bağlanmıştır. 2004 yılında özelleştirilerek tüm hisseleri özel bir Türk firmasına satılmıştır (URL-2 2012).

Şekil 2.7'de üretim şeması gösterilen Antalya Ferrokrom İşletmesi 1958 yılında Türk - Fransız ortaklığı ile kurulmuştur. 1970 yılında sermayesinin tamamı Türk Şirketi Eti Holding'e geçmiş, en son 2004 yılında özelleştirilerek hisselerinin tamamı özel bir Türk firmasına satılmıştır. 2001-2010 yılları arası dünya ferrokrom üretimi ise Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Dünya ferrokrom üretim miktarları (USEPA 2012).

Ülke	2001 (ton)	2002 (ton)	2003 (ton)	2004 (ton)	2005 (ton)	2006 (ton)	2007 (ton)	2008 (ton)	2009 (ton)	2010 (ton)
Arnavutluk	11.900	22.100	37.800	47.700	35.780	17.040	0	11.916	7.556	8.000
Brezilya	110.648	164.140	204.339	216.277	185.533	166.577	195.890	194.324	131.048	170.000
Çin	310.000	330.000	500.000	640.000	750.000	1.000.000	1.300.000	1.500.000	1.810.000	2.000.000
Finlandiya	236.710	248.181	250.490	264.492	234.881	243.050	241.760	233.550	123.310	125.000
Almanya	19.308	20.018	18.318	24.857	22.672	26.710	22.030	26.960	13.667	20.000
Hindistan	267.395	311.927	468.677	527.100	611.373	634.200	820.000	750.000	873.385	850.000
İran	8.430	8.000	10.000	7.750	8.000	7.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Japonya	111.167	91.937	19.427	13.472	12.367	13.056	12.016	13.888	7.698	16.208
Kazakistan	761.900	835.800	993.000	1.080.993	1.156.168	1.190.673	1.307.536	1.220.315	1.173.286	1.250.000
Rusya	210.600	210.000	357.000	454.000	578.000	600.000	570.000	490.000	378.000	414.000
Slovakya	5.968	5.695	1.924	1.784	867	19	0	0	0	0
Güney Afrika	2.141.000	2.351.122	2.813.000	2.965.000	2.581.578	3.030.000	3.551.983	3.268.659	2.345.131	3.607.132
İsveç	109.198	118.823	110.529	128.191	127.451	136.374	124.403	117.053	31.345	36.000
Türkiye	50.735	11.200	35.393	28.701	26.043	67.975	69.730	79.840	41.028	60.000
A.B.D	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok	Bilgi Yok
Zimbabve	243.584	258.164	245.200	193.077	235.000	200.673	187.327	145.430	72.223	150.000
Toplam	4.598.543	4.987.107	6.065.097	6.593.394	6.565.713	7.333.347	8.410.675	8.059.935	7.015.677	8.714.340

2.5 FERROKROM KULLANIM ALANLARI

Ferrokrom paslanmaz çelik üretim sanayi kolunun temel hammaddesi olup, içerdiği karbon ve silisyum miktarlarına göre, kalite çeliklerine katılmadan önce termik ön rafinasyondan geçirilir ve bu elementlerin alaşımının gerektirdiğinden fazla oranda üretilen çeliğin yapısına geçmemesi sağlanır (Yıldırım 1984).

Gri renkli, parlak ve sert bir metal olan krom, ferrokrom alaşımı olarak ısınmaya, aşınmaya ve korozyona dayanıklı alaşımli çeliklerin ve alaşımli dökme demirlerin üretiminde, tuz bileşikleri olarak koruyucu kaplama uygulamalarında, saf krom metali olarak ise yüksek akım kontak malzemesi üretiminde kullanılmaktadır. Sertleşebilirlik, tokluk, korozyona ve aşınmaya karşı dirençli olma gibi özellikleri kromun metalürji endüstrisinde kullanımını arttırmaktadır (Yoruç 1994).

Ferrokrom ve ferrosilikokrom paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerde, tam alaşımli çeliklerin üretiminde, yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelikler, karbonlu çelikler, takım çeliklerinde, dökme demirlerde ve süper alaşımlarda yüksek oranda tüketilmektedir (DPT 2005).

Bu kapsamda ferrokrom; mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılır. Paslanmaz çeliğin dayanıklılığının yanı sıra, kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması; bu malzemenin son yıllarda otobüslerin ve tren vagonlarının, şehir içlerinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında ve deniz içi petrol arama platformlarının yapımında giderek artan oranlarda kullanılmasını sağlamıştır (DPT 2001).

BÖLÜM 3

FERROKROM ve FERROSİLİKOKROM CÜRUFU

Cüruflar ya metalürjik proseslerden ya da enerji verici minerallerin yakılmaları sonucu oluşurlar. Karakteristiklerine ve orijinlerine göre cüruflar üç ana kategoriye ayrılmaktadır; demir alaşımlı cüruflar, demir alaşımsız cüruflar ve yakma sonucu oluşan cüruflardır. Üretim metotları gereği cüruflar genellikle değerli metaller içerirler (Shen and Forssberg 2003).

Aslına bakılırsa cüruflar ikinci derece metal kaynaklarıdır. Bunun yanında bazı uygulamalar için cüruflar diğer metallerle mukayese edilebilir. Hatta bazı özellikleri ana materyallerinden daha iyidir. Ancak belirli miktarda ağır metaller ve zararlı mineraller içerebilirler.

Cürufların bertaraf edilmesi için en klasik yöntem bu atıkların bir yere yığılmasıdır. Demir cürufları bu atıkların en büyüğünü oluşturur. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi cüruf atıklarının artması bir hayli yer işgal etmelerinin yanında, atık kaynakları ciddi çevre ve su kirliliğine yol açmaktadır. Bu nedenle cürufları faydalı hale getirmek ve içindeki metalleri kazanmak dikkate değer bir tercih olmaktadır (Shen and Forssberg 2003).



Şekil 3.1 Cüruf yığımları (URL–3 2012).

3.1 FeCr ve FeSiCr CÜRUF LARI

Ferrokrom cürufları, ferrokrom üretimi yapan tesislerin elektrik ark fırınlarından fiziko-kimyasal prosesler sonucu açığa çıkan atık malzemelerdir. Türkiye’de iki yerde endüstriyel boyutta ferrokrom cürufu çıkmaktadır. Bunlardan birisi Antalya Ferrokrom İşletmesi diğeri ise Elazığ Ferrokrom İşletmesi’dir. Antalya’daki işletmeden bir yılda yaklaşık 35.000 ton Ferrokrom (FeCr) cürufu, 10.000 ton ferrosilikokrom (FeSiCr) cürufu çıkmaktadır. Bu cürufların hemen hemen tamamı stok alanlarında depolanmaktadır (Yılmaz 2008).

Ferrokrom (FeCr) ve ferrosilikokrom (FeSiCr) üretimi esnasında indirgenmeyen oksitler ile bir miktar SiO₂, metal yüzeyinde sıvı bir cüruf tabakası oluşturur ve bu cüruf kalıplara dökülerek atılır (Stevenson 1997).

Cüruflar hafif ve gözenekli yapıya sahiptirler. Normal cüruf açık ve gri renktedir. Bünyesindeki MgO miktarı azalıp SiO₂ miktarı yükseldikçe cürufun rengi siyahlaşmaya başlar. Cüruftaki MgO miktarı hammadde tenörüne bağlıdır. Cürufun kimyasal yapısı incelendiğinde bünyesinde SiO₂, Al₂O₃, MgO, Cr₂O₃, FeO, CaO gibi oksitlerden meydana geldiği görünür.

SiO₂ cürufun elektrik iletkenliğini artırır. Cürufa geçecek olan Cr₂O₃ miktarını düşürürken cürufun akışkanlığını azaltır. SiO₂, CaO’in az ve kok miktarının fazla olduğu durumlarda redüklenerek metale geçebilir. Cüruftaki SiO₂ miktarı %30’un üzerine çıkarsa ve aynı zamanda Al₂O₃ miktarının düşmesi ile cürufun ergime sıcaklığı 1600 °C’ye kadar düşer. Cüruf sıcaklığının düşmesi ile direnç düşer ve elektrik ark fırınlarındaki elektrodların çektiği amper yükselir. Cüruf sıcaklığı artarsa metaldeki karbon oranı düşer. Çünkü yüksek sıcaklıklarda metalde karbürler oluşamaz (Biçer 1991).

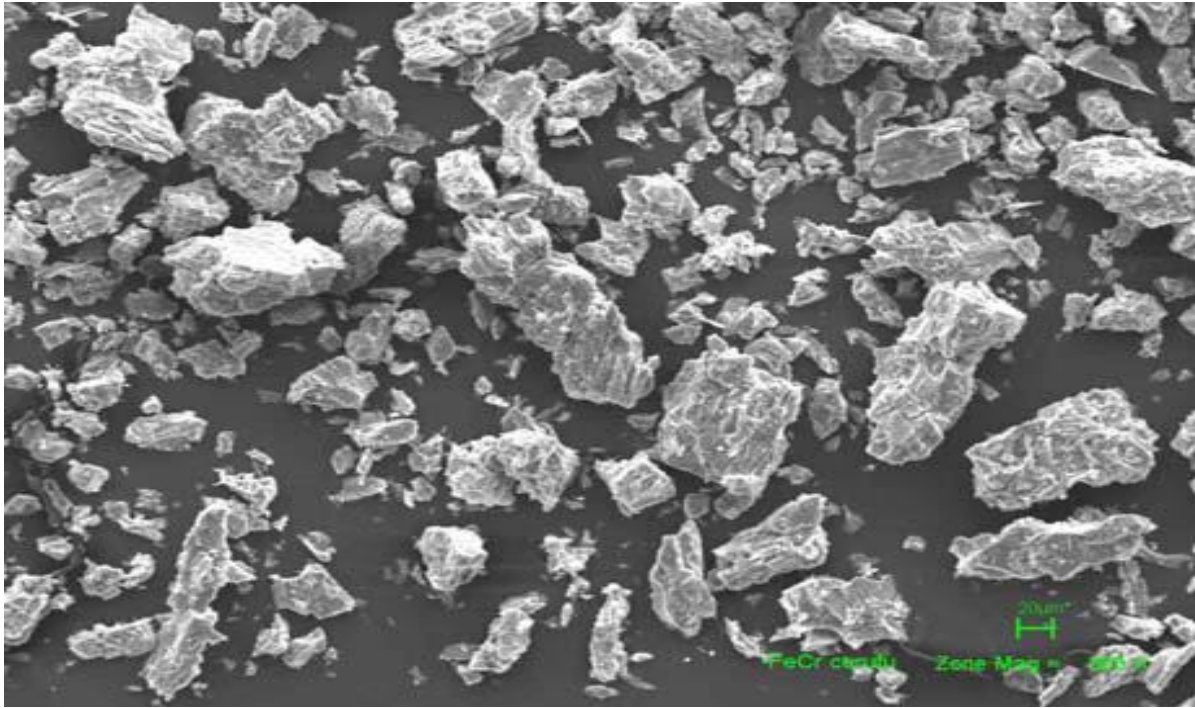
Cüruf sıcaklığı 1700°C’nin altına düşerse metalik yapıya kükürt girer. Kükürdün %60-70’i metale, %20-30’u cürufa, %10’u kadarı da baca gazları yoluyla atmosfere atılır. Cüruftaki SiO₂ miktarı %30’un üzerine çıkması aynı zamanda metalik yapıya geçişi düşürür. Cüruf sıcaklığı arttıkça viskozite düşer, akışkanlık fazlalaşır (Yıldız 1994).

MgO cürufa akışkanlık kazandırmasının yanında cürufa bazik özellik kazandırır. MgO miktarı SiO₂ miktarından fazla olması halinde bazik bileşimli fırın tuğlalarını korur. CaO

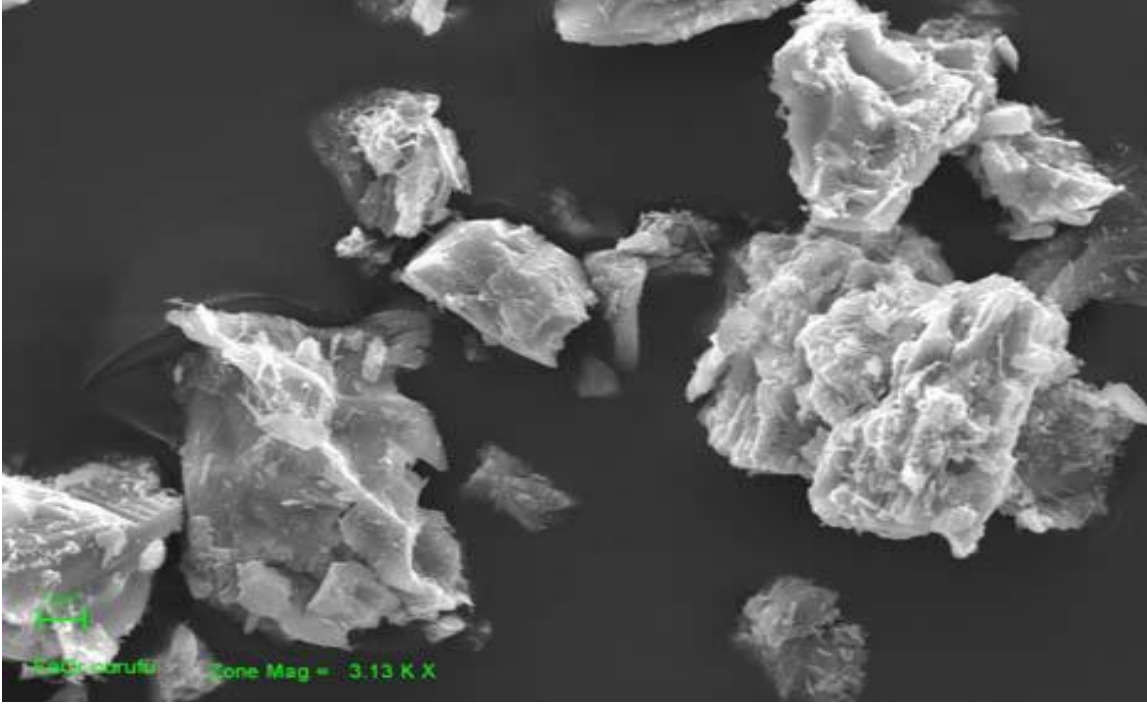
yeterli miktarda olmadığı durumlarda CaO'in bazı absorpsiyon özelliklerini kısmen üstlenir. Boksit ve kuvarsit miktarı arttıkça cüruftaki MgO miktarı düşer (Biçer 1991).

Al₂O₃ cürufun elektrik direncini arttırır ve 1700 °C'nin üzerindeki sıcaklarda ergimeyi sağlayarak cürufun ergime sıcaklığını yükseltir. Metal yapısındaki karbon ve kükürt oranını düşürür ve metalin aşırı ısıtılmasını temin ederek akışkanlığını arttırır. CaO ve Fe₂O₃ cürufta ergime sıcaklığını düşürür ve kükürt, karbon ve fosforun metale geçmesini zorlaştırır. Metalin soğumasına sebep olabilirler. Ayrıca iyi absorpsiyon özellikleri vardır (Yıldız 1994).

FeSiCr ve FeCr üretim cürufları açık havada yavaş yavaş soğumaya bırakıldığı için kristal yapılıdır ve kendi içlerinde aktif değildirler. Bu cüruf türü "havada soğutulmuş elektrik ark fırını cürufu" (EAF cürufu) olarak adlandırılmaktadır. Hızlı soğutma kullanılması sonucunda camsı (amorf) yapıda cüruf elde edilir ki bu tür cüruflar "granüle cüruf" olarak adlandırılır ve bir miktar bağlayıcı özelliğe sahiptirler. Dünyada yapı malzemesi olarak kullanılan cürufların çoğunluğunu, %80-90 oranında havada soğutulmuş, kristal yapılı cüruf oluşturur. FeCr cürufunun, SEM (Elektron Mikroskopik Görüntü Analizi) cihazında incelenmiş görüntüleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de görülmektedir (Schroeder 1994).



Şekil 3.2 Düşük karbonlu FeCr cürufunun 360 kez büyütülmüş hali (Altan ve Süttaş 2004).

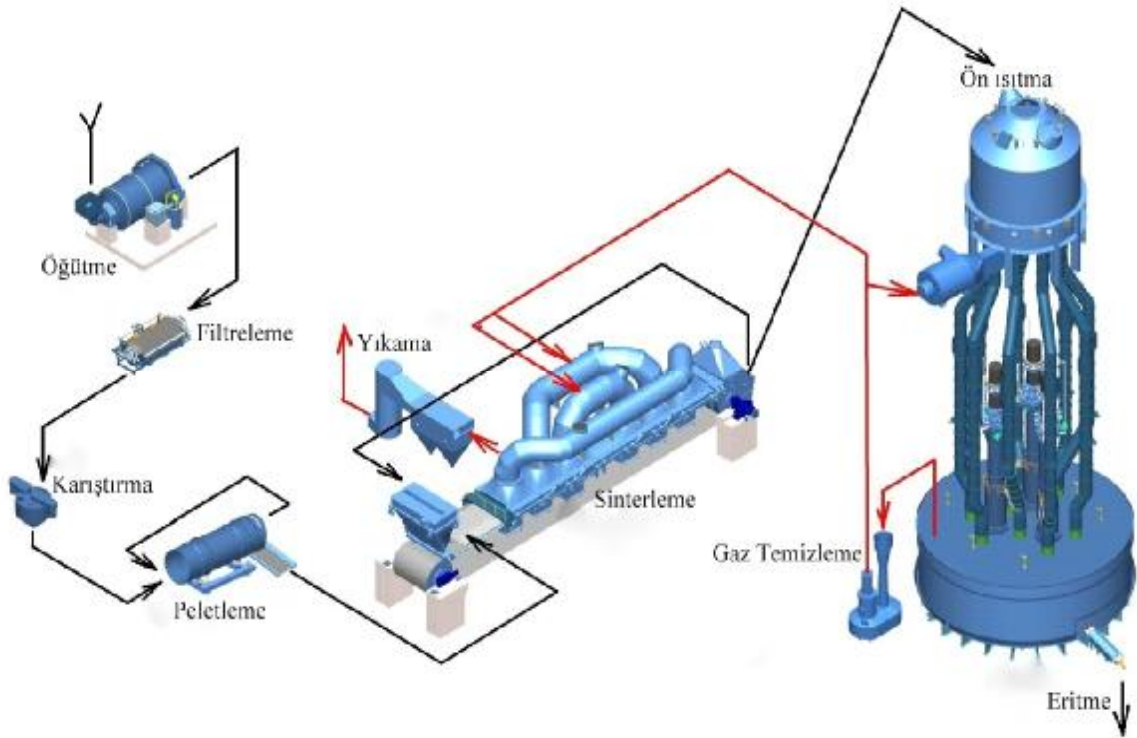


Şekil 3.3 Düşük karbonlu FeCr cürufunun 3130 kez büyütülmüş hali (Altan ve Süttaş 2004).

3.1.1 FeCr ve FeSiCr Cürufları Üretimi

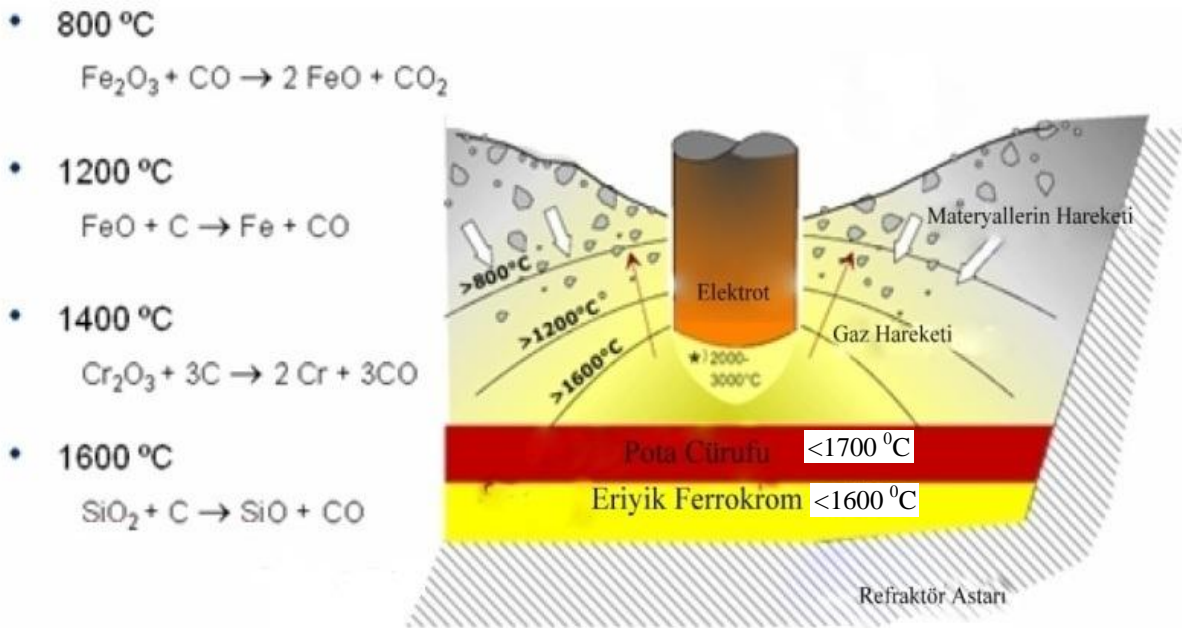
Ferrokrom üretiminde, ham materyaller yığın cevherin ve ince konsantrenin zenginleştirilmesi için kullanılırlar. İnce konsantreler ilk olarak sinterleme tesisinde peletler halinde öğütülürler. Peletler sinterleme fırınında 1400 °C’de sinterlenirler.

İzabe fırınının şarjı; peletlerden, zenginleştirilmiş parça cevherden, indirgenmiş metalürjik kok ve eritken kuvarstan oluşur. Materyaller eritilmeden önce ön sıcaklık bacası ile CO gazıyla yakılarak 500–800 °C’ye ısıtılırlar. Şekil 3.4’de tipik ferrokrom üretim prosesinin örneklerinden biri olan Outkumpu Prosesi gösterilmektedir (Niemelä and Kauppi 2010).



Şekil 3.4 Outkumpu FeCr Prosesi (Niemelä and Kauppi 2010).

Krom ve demir oksitler elektrik ark fırınındaki metallerin içine doğru metalürjik kok kullanılarak indirgenirler. Üretilen metaller şarj kromun kalitesine göre ayrı ayrı ürün olarak sınıflandırılmaktadırlar. Tipik indirgenme reaksiyonları ile cürufun pota içerisindeki konumu Şekil 3.5’de gösterilmektedir (Niemelä and Kauppi 2010).



Şekil 3.5 Cüruf oluşumu için tipik indirgenme reaksiyonları (Riekkola and Vanhanen 1999).

Bu reaksiyonlar sonucu eritme prosesinden CO gazı ve FeCr cürufu elde edilir. CO gazı indirgenme reaksiyonları ile ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıklarda şarj materyalleri erimeye başlar. Materyaller ferrokrom cürufu formunda ortaya çıkan birincil silikat fazlarından metalik ferrokrom fazlarının içine doğru erimezler (Niemelä and Kauppi 2010).

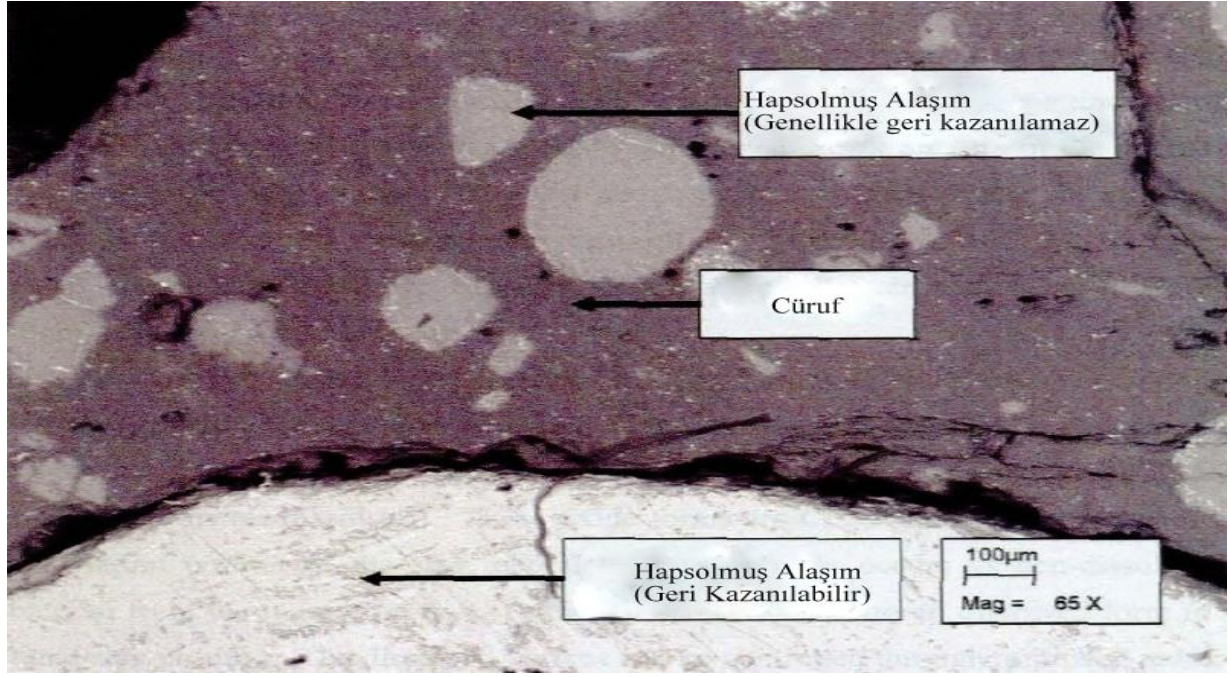
FeCr ve cüruf ürünleri izabe fırınından 2,5 saatlik süre sonunda fırınlardan potaların içerisine dökülerek elde edilirler. 1 ton FeCr elde etmek için 1,2 ton cüruf elde edilir. Daha sonra ürünler açık havada soğumaya bırakılır.

Eriyik içerisindeki cürufun ısısı 1700 °C iken ferrokromun ısısı 1600 °C'dir. Bu da gösteriyor ki cürufların ergime noktası metallerin ergime noktasından yüksek olabilmektedir. Çünkü metallere cürufun sıvı fazı kullanılarak ısıtılırlar. Optimum ergime ısısı pratikte 1680–1720 °C arasında ölçülmektedir. Doğru cüruf kompozisyonu için şarj içerisindeki kuvars oranı sürekli kontrol edilir (Niemelä and Kauppi 2010).

Metallerin ve akışkan haldeki cürufların özkütelleri önemli ölçüde birbirinden farklıdır, bu yüzden metallere ayrılabilirler. Ferrokrom cürufları özkütelleri genellikle 2,5–2,8 g/cm³ aralığındadır. Ferrokromların ise 6,8–7,5 g/cm³ düzeyine kadar çıkabilmektedir. Cürufun viskozitesi basınca ve sıcaklığa bağlıdır. Viskozite ayrıca metallere cüruflardan ayrılması için çok önemli bir parametredir. Alüminyum-silikat zincirleme reaksiyon olayları içerisinde Al₂O₃ ve SiO₂ içeriği arttıkça ferrokrom cüruflarının viskozitesi artacaktır (Forsbacha 1998).

3.1.2 FeCr ve FeSiCr Cürufları Kimyasal ve Mineralojik Yapıları

Das et al. 1997 yılındaki mineralojik çalışma sonuçları gösteriyor ki şarj kromların cüruflarının majör fazları spinel ve kristalize olmayan camsı Ca-Mg-Al silikatlarıdır. Minör fazları ise olivin, kromit ve metalik fazlar içerir. Kromitler zenginleşmemiş kromit tanelerinden gelmektedirler. X-ray kırılma dataları (XDD) ve Şekil 3.6'da ki gibi SEM taramaları göstermektedir ki (CrFe)₇C₃.Cr fazları kromit ve metalik fazlar içerisinde görünmektedir. Küçük miktarlarda Cr ayrıca spinel (Cr₂O₃, %2–5) ve olivin (Cr₂O₃<%1) yapıda bulunmaktadır.



Şekil 3.6 Ferrokrom cürufunun SEM tarama fotoğrafı (Nkohla 2006).

Ferrokrom cürufları (FeSiCr ve FeCr) ana bileşenleri MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , CaO , FeO 'dur. Bunların oranları tipik kalkerli doğal agrega ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

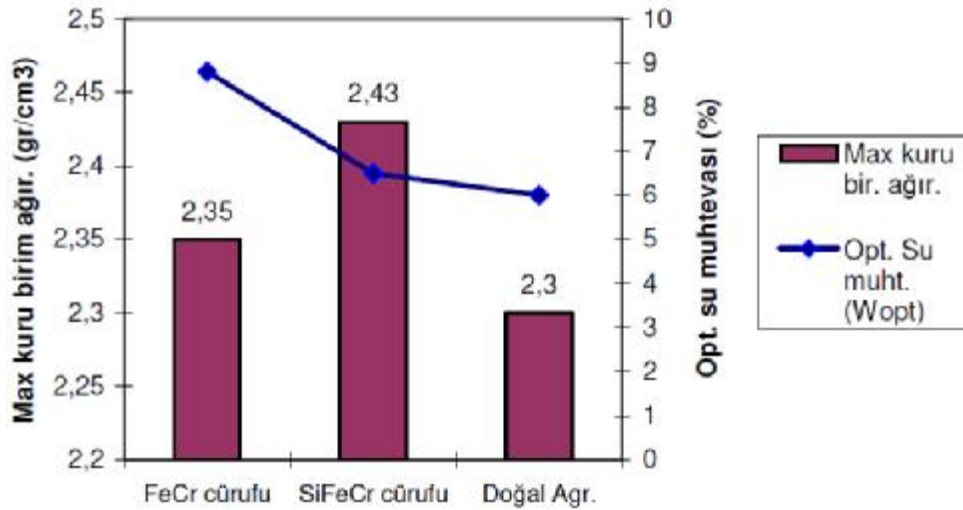
Çizelge 3.1 FeCr - FeSiCr cürufu kimyasal bileşenleri (Yılmaz 2008).

Bileşen	Birim	FeCr	FeSiCr	Tipik Kalkerli Agrega
SiO_2	%	24,74	43,47	0,195
Al_2O_3	%	8,71	22,46	0,075
Fe_2O_3	%	1,92	0,785	0,07
MgO	%	13,01	28,605	0,36
CaO	%	42,52	2,35	76,9
Na_2O	%	0,145	0,08	0,02
K_2O	%	0,075	0,575	<0,04
TiO_2	%	0,315	0,03	<0,01
P_2O_5	%	<0,01	<0,01	0,03
MnO	%	0,08	0,01	0,01
Cr_2O_3	%	3,491	0,554	0,0075
Ba	ppm	-	678,5	7
Ni	ppm	175,5	174	<5
Sr	ppm	-	150,5	186,5
Zr	ppm	-	89,5	<5
LOI	%	1,4	0,85	22,25
Top/C	%	0,54	2,06	12,485
Top/S	%	0,08	0,04	0,015

3.2 CÜRUF LARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

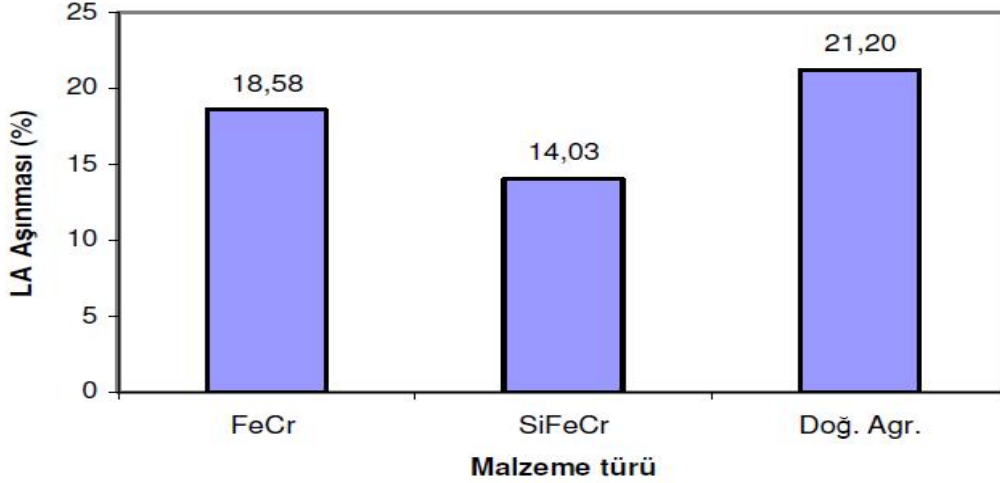
Metal üretimi ve yanma sonucu oluşan cürufların değerlendirilmesi üstüne bilimsel çalışmalar uzun bir tarihe sahiptir. Örneğin 1880’li yıllarda fosfatlı gübre uygulamalarında cüruflar kullanılmıştır. Bugün ise metalürjik ve yanma sonucu oluşan cürufların çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Çimento üretimi, yol yapımı, sivil mühendislik çalışmaları, gübre üretimi ve toprak zenginleştirmeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Geiseler 1996).

Elektrik ark fırını cürufu, kırılıp elendiği zaman fiziksel özellikleri diğer agregalara nazaran avantaj göstermektedir. Bünyesinde kil ve silt bulunmaması, yüksek aşınma direnci göstermesi, pürüzlü ve boşluklu bir yüzeye sahip olması nedeniyle iyi adezyona sahip olması üstün özellikleridir. Bunların aksine cüruf boşluklu bir yapıya sahip olduğu için Şekil 3.7’de gösterildiği gibi su absorpsiyonu yüksektir (Ramirez 1992).



Şekil 3.7 Maksimum kuru birim ağırlık – su muhtevası ilişkisi grafiği (Yılmaz 2008).

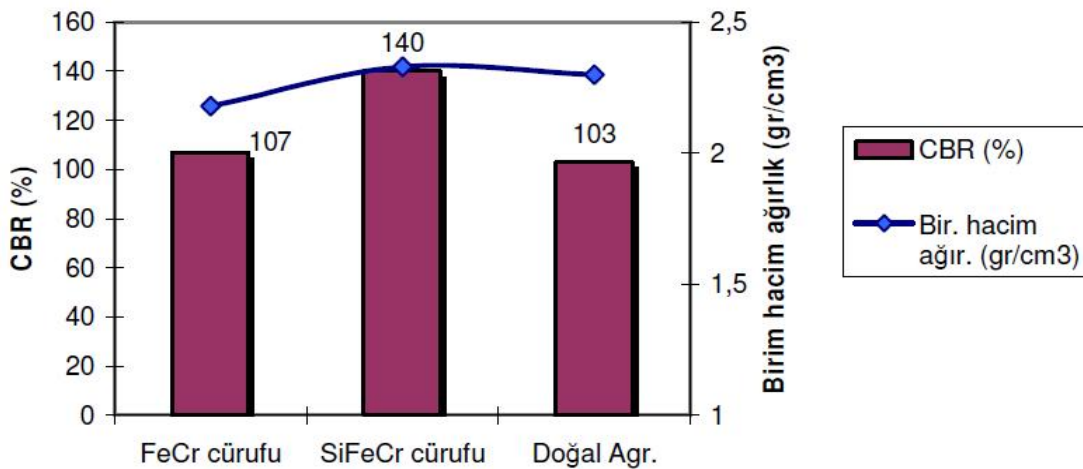
Yılmaz’ın 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada; KGM şartnamelerine göre temel tabakasında kullanılacak olan malzemelerin Los Angeles (L.A.) aşınma değeri maks. %40 olmalıdır. Şekil 3.8’deki aşınma değerleri incelendiğinde cürufların L.A. aşınma değerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Doğal agregaya kıyasla, aşınma dirençleri, FeCr cürufu için %12, FeSiCr cürufu için %34 daha yüksek bulunmuştur. Bu durum ağır trafik yükleri altında dahi cürufların tane büyüklüğü dağılımının (gradasyonun) daha zor değişeceğini göstermektedir.



Şekil 3.8 FeCr ve FeSiCr cürufu L.A aşınma deneyi (Yılmaz 2008).

KGM şartnamelerine göre temel malzemesinin CBR değeri en az 100 olmalıdır. Yılmaz'ın 2008 yılında yapmış olduğu bir diğer çalışma sonucu Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, her üç malzeme de temel tabakası malzemesi olarak yeterli CBR değeri vermektedir. FeSiCr cürufunun CBR değeri diğerlerinden daha yüksektir. Doğal agrega ile FeCr cürufu yaklaşık aynı değerleri vermiştir. Burada, cüruf tanelerinin kristal yapısı nedeniyle köşeli ve keskin yüzeylere sahip olması etkili olmaktadır. Bu keskin ve köşeli yüzeyler numunede iç sürtünmeyi artırıcı bir etki yapmaktadır ve CBR değerinin daha yüksek çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmalar da gösteriyor ki ferrokrom ve ferrosilikokrom cürufları yol temel malzemeleri olabilmesinin yanında çok ağır trafik yüklerine de karşılık verebilmektedirler.



Şekil 3.9 FeCr ve FeSiCr cürufu birim hacim ağırlık grafiği (Yılmaz 2008).

2003 yılında Arm tarafından yapılan yeni Avrupa Standartları çalışmasına göre; atıkların mekanik özelliklerinin test edilmesi için mevcut metotların uygun olmadığını ve yeni metotların geliştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Geliştirilen yeni test metotları sonrası kırılmış beton ve havada soğumaya bırakılan fırın cüruflarının üzerinde yapılan çalışmalarda; yol uygulamalarının sonuçlarının iyi olmasının yanında kırılmış granitten dahi üstün olduğu gözlenmektedir.

Standartlara göre yol yapımında ve Şekil 3.10'daki gibi diğer uygulamalarda kullanılan cüruflar fiziksel ve kimyasal özellikleri ile çevresel ve mekanik gereksinimleri yerine getirebilmektedirler. Avrupa standartları 2004 yılında cürufları yol materyalleri ve agrega sınıfında kabul etmiştir. Teknik komite tarafından hazırlanan TC154 normlarında cüruflara yer verilmiştir (Tossavainen 2005).



Şekil 3.10 Ferrokrom cürufu uygulamaları (Booyesen 2009).

Yol inşaatında kullanılacak olan atık cüruflar için, dikkat edilecek hususlardan birisi malzeme içerisinde yağmur suyu ile serbest hale geçerek yeraltı sularına ve içme sularına sızabilen diğer bir deyişle çözünebilen organik ve inorganik kirleticilerin bulunmasıdır. Bu maddeler yağmur suyu ile birlikte yeraltı sularına geçtiklerinde zamanla insan sağlığına etki ederek önemli sağlık sorunları oluşturmaktadır. Bu amaçla çözünme deneyleri yapılmaktadır (Mroueh et al. 2001).

Yüksek fırın cürufları yaklaşık 1500 °C’de ısıtılardan geçtiği için içerisinde organik madde bulunmamaktadır. Dolayısıyla liç deneyleri yalnızca inorganik çıktılar için yani sağlığa zararlı muhtemel ağır metaller için yapılmaktadır (Yılmaz 2008).

Lind 2001 yılında üstyapısında kullanılan ferrokrom cürufunun çevresel etkilerini incelemiştir. Yenilenmekte olan bir yolun 6 km mesafelik kısmında arazi denemeleri yapılmıştır. Yolun 3 km mesafelik kısmı ferrokrom cürufu ile inşa edilmiş diğer 3 km mesafelik kısmı geleneksel malzeme ile inşa edilmiştir. Eski yol kaplaması ile yeni üstyapı, araya geotekstil serilerek birbirinden ayrılmıştır. En üst tabakada ise bitümlü sıcak karışım kaplama kullanılmıştır.

Ancak yolun yan yüzeyleri yani dolgu şevleri kaplamasız bir şekilde yağmur sularının filtrasyon etkisine maruz bırakılarak bu sayede ferrokrom cürufunun çevreye olan etkileri incelenmiştir. Araştırmada yakın civardaki yeraltı suyu, toprak numuneleri ve bitkiler incelenmiştir. Sonuçta, yer altı suyunda ve çevredeki toprakta bir miktar krom artışı görülmüş, ancak bu değerler standart değerleri aşmamıştır. Ferrokrom cürufunun bitkiler üzerindeki etkisi ise tam olarak anlaşılamamıştır (Lind et al. 2001).

Sonuç olarak elektrik ark fırını cürufları mekanik özellikleri, zararlı mineral (Cr, Mo, Ti) değerleri sınır değerlerin altında olmasıyla iyi bir yapı malzemesi olabilmektedir. Bu atıkların değerlendirilmesi depolanmalarından kaynaklanan çevresel kirliliği azaltırken ekonomiye de tekrar geri kazandırılabilirler.

BÖLÜM 4

CÜRUF İÇERİSİNDEN DEĞERLİ METALLERİN KAZANIMI

Cüruflardan metal geri kazanımları düşük metal fiyatlarının ve artan enerji maliyetlerinin etkisi ile kapanan ferroalaşım fabrikalarına alternatif olmaya başlamışlardır. Düşük fiyat ve yüksek talep firmaları yeni üretim metotlarına yönlendirmiştir. Son yıllarda firmalar geri kazanım prosesleri kurma çabası içerisindeyler. İzabe atıklarının kaç yıldır depolandığına ve türüne göre içerisindeki metal oranı %2 ile %5 arasında değişebilmektedir (Sripriya and Murty 2003).

Demir Çelik cüruflarındaki gibi ferrokrom ürünlerinin atık içinden kazanılması, hem metalik maden kaynaklarının korunması hem de üretim prosesinde ki Fe, CaO, MgO ihtiyacını tekrar kendi atıklarından değerlendirilebilmesi demektir. Hatta ferroalaşımın bol miktarda Cr, Ni, Mn, Ti, V, Mo içermesi, bu geri kazanılan metallerin şarj malzemesi olarak kullanılmasına fayda sağlamaktadır (Shen and Forsberg 2003).

Ferroalaşım cürufları; ferromangan (FeMn), ferrokrom (FeCr), silikomangan (SiMn), silikokrom (SiCr), Ferrosilikokrom (FeSiCr) vb. cürufları gibidir. FeCr'lar şarj krom olarak üretim proseslerinde rahatlıkla kullanılmaktadır. Yaklaşık hesaplamalara göre katılan şarj kromun neredeyse tamamı FeCr ürünü olarak geri alınabilmektedir. Özellikle Hindistan ve Güney Afrika'da şarj kromlar proseslerin vazgeçilmez hammaddesi olmuşlardır (Khan et al. 2001).

Temel FeCr ve FeSiCr üretim cürufuna, potalar arası aktarma yapılırken bir takım ağır metaller karışmaktadır. Bunların oranı işletmenin düzenine ve üretim verimine göre %1–3 arasında değişir. Genellikle bir arada bulunan bu malzemeler FeCr, FeSiCr ve hurda demirlerdir (Holappa and Xiao 2004).

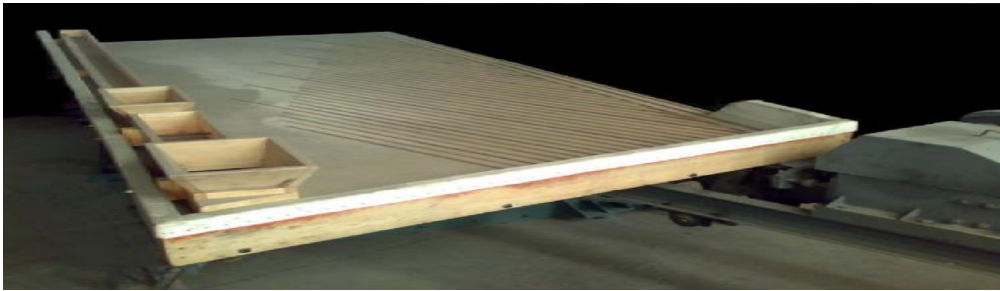
Sonuç olarak FeCr ve FeSiCr cürüfları yüksek silis içermeleri, puzolonik davranışa sahip çeşitli silikatlar yanı sıra bünyelerinde birçok mineral ve metal yapıda FeCr-FeSiCr içermelerinden dolayı ilk safha olan cevherin hazırlanması aşamasında bile ağır hizmet tipi cevher hazırlama makinelerine ihtiyaç duymaktadırlar.

Proses seçimi sadece FeCr ve FeSiCr metalinin geri kazanılması üstüne kurulu olması işletmeyi karlılık sınırlarından uzaklaştırmaktadır. Bu nedenle kazanılan %1–3 aralığında ki FeCr ve FeSiCr dışında kalan %97-99'luk kısmı da ekonomiye kazandırılmalıdır. Silikatlı cüruf beton, agrega, altyapı vb. inşaat işlerinde kullanılabilmesi için genellikle 6–30 mm ve 1–6 mm boyut aralığında olması arzu edilir. Bu boyutlar proses dizaynlarını etkilemektedir.

Ferrokrom ile cüruf arasındaki yoğunluk ve manyetik duyarlılık farklarının fazla olması sebebi ile ferrokromun zenginleştirilmelerinde çeşitli ayırma yöntemleri kullanılır. Bunlar genellikle cevherin özgül ağırlık ve manyetiklik özelliklerini kullanarak yerçekiminin de etkisi ile ayırma yapan sallantılı masalar, multi gravite ayırıcıları, jigler, hidrosiklonlar, manyetik ayırıcılar ve spirallerdir.

4.1 SALLANTILI MASALARLA ZENGİNLEŞTİRME

Tabaka halinde akışkan ortamda ayırma yapan ve ayırıcı yüzeyi hareketli olan bir cihazdır Şekil 4.1'de gösterilen sallantılı masalar, krom cevherlerinin gravite yöntemi ile zenginleştirilmesinde günümüzde en çok kullanılan aygıtlardır. Sallantılı masa esas olarak üzerinde tabaka halinde akışkan akışı olan dikdörtgen, paralel kenar, dikdörtgene yakın yamuk veya V şeklinde bir yüzeydir. Uygun bir mekanizma ile masanın uzun eksenini doğrultusunda ve geriye doğru olan hareketi daha hızlı olmak üzere ileri geri hareket ettirilir (Gence 1985).



Şekil 4.1 Wilfley Tipi sallantılı masa (URL-4 2012).

Sallantılı masa yüzeyindeki ayırmanın etkinliğini arttırmak için masa yüzeyi eşiklerle kaplanır. Eşiklerin yükseklikleri mekanizma kenarından konsantre kenarına doğru azalarak konsantre kenarında sıfır olmaktadır.

Endüstride kullanılan sallantılı masalar; iri cevher ve ince cevher (şlam) masası olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İri cevher masaları yüksek ve sık eşikli, şlam masaları ise alçak ve seyrek eşikli bazen de eşiksizdir. Eşikler akış koşullarını değiştirir ve eşikler arasında engelli çöküş klasifikasyonu olur. Bunun sonucunda hem etkili bir ayırma yapılabilir hem de masa kapasitesi artar (Önal 1985).

4.2 MULTİ GRAVİTE AYIRICISI İLE ZENGİNLEŞTİRME

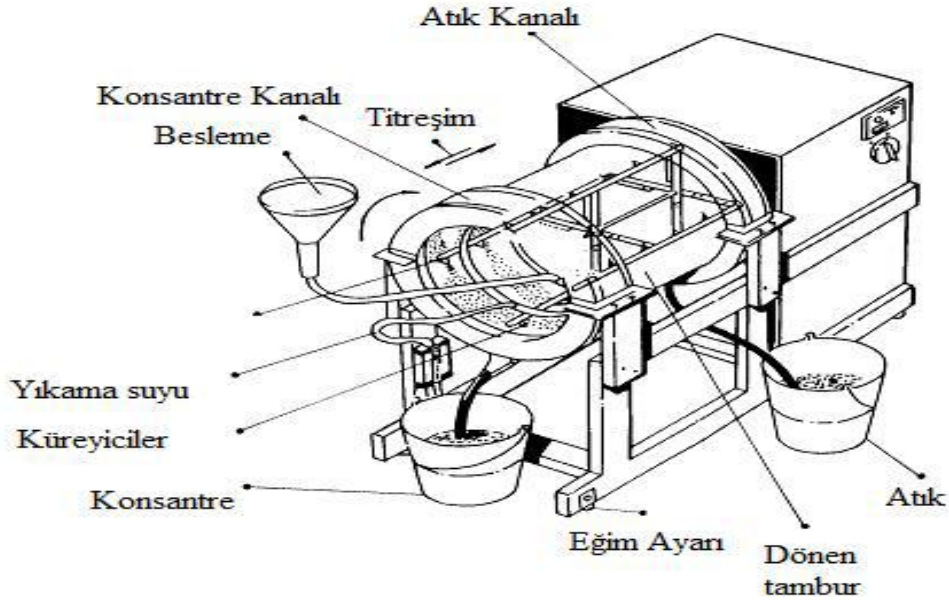
İngiliz Teknoloji Grubu desteğinde Richart Mozley tarafından ince ve çok ince boyutlu minerallerin ayrılması amacıyla geliştirilmiş ve endüstriyel ölçekte kullanımı gerçekleştirilen bir gravite ayırıcısı olan multigravite cihazı, sallantılı masa düzeninin bir tambur şekline dönüştürülerek kullanılması prensibi ile tanımlanabilir.

Bu tamburun belirli hızla döndürülmesiyle mineral tanelerine karşı etkin olan yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir merkezkaç kuvvetinin etkisi altında tanelerin tambur yüzeyinde yan katı bir tabaka oluşturması ve yardımcı üniteler aracılığı ile zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Cihaz Şekil 4.2’de gösterildiği gibi bir yanı açık uçlu 0.6 m. uzunluğunda 0.5 m çapında tambur şeklinde bir gövdeye sahiptir. Tambur iç yüzeyi üzerinde 6–24 g değerinde yerçekimi kuvvetine eşdeğer bir merkezkaç kuvveti oluşturacak şekilde 150–300 d/d hızla saat yönünde dönmektedir. Aynı anda aksenal doğrultuda $4-5,7 \text{ cm.sn}^{-1}$ frekansla 10-20 mm arasında değişen sinüzoidal bir titreşim hareketi de tambur hareketi üzerine eklenmiştir.

Tambur hareketini sağlayan eksantrik shaft tarafından tahrik edilen, tamburla aynı yönde, tambura göre biraz daha hızlı dönen ve üzerinde küreyiciler bulunan bir ünite vardır. Çalışma sırasında küreyiciler kat taneleri tamburun dar, açık dış ağzına hareket ettirecek şekilde dizayn edilmiştir. MGS (multi gravite ayırıcısı) ünitesi %20 katı oranında 0,2 t/s kapasite ile çalışabilmektedir. MGS ünitesinden ayırma işlemi ise uygun katı oranındaki pülp, belirli bir basınçla hareketli tamburun orta noktasından iç yüzeye beslenir. Bir anlamda besleme sırasında oluşacak türbülans etkisi azaltılmaktadır. Yıkama suyu ise tamburun üst çıkış ucuna

yakın bir noktadan verilir. Ağır veya yüksek özgül ağırlıklı mineraller akışkan tabaka içinde dibe çökmekte, tambur yüzeyine tutunmakta ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle adeta katı halde tabaka oluşturmaktadır. Akışkan tabakanın üst yüzeyleri ise büyük oranda katı taneler içermeyen sulu durumda hafif mineralleri kapsar (Yıldırım ve Ateşok 1995).

Gövdeye verilen titreşim hareketiyle; akışkan tabaka içindeki tanelere ek bir ayırma kuvveti uygulanmış olmaktadır, özel olarak dizayn edilmiş küreyicilerse tambur yüzeyinde hareket ederlerken tambur yüzeyinde oluşan tabakayı küremekte, böylece dereceli tabakalaşma sağlamaktadır. Tambur yüzeyine tutunarak hareket eden yüksek yoğunluklu taneler küreyiciler tarafından yukarı doğru taşınarak üst çıkıştan, hafif yoğunluklu taneler ise yıkama suyu etkisiyle alt çıkıştan alınır (Yıldırım ve Ateşok 1995).



Şekil 4.2 MGS Ünitesi şematik gösterimi (Chan et al. 1994).

4.3 SPİRALLER

Spiral, içerisinde tanelerin hidro dinamik ile gravite kuvvetlerinin bileşkesinin ve merkezkaç kuvvetinin de etkisi altında ayırma yapabilen genellikle 1 mm altındaki malzemelerin zenginleştirilmesinde kullanılan madencilik cihazıdır.

İri ve ağır taneler (şist veya artık) oluğun iç kısmında toplanırken, hafif ve ince taneler merkezkaç kuvvetinin etkisiyle hatvenin Şekil 4.3'de ki gibi görünen spiralin dış kısmına

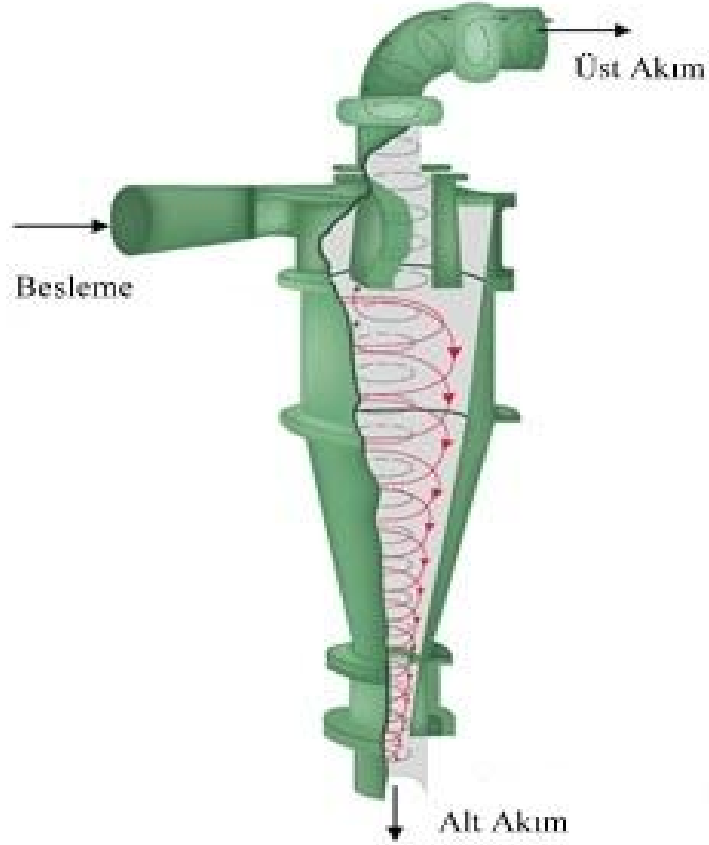
doğru hareket eder. Ağır mineral tanelerinden oluşan ürün, spiralin merkezinden geen toplama borusuyla dışarıya alınırken; temiz cevher ve ara ürün (miks) boşaltma ucundan dışarıya alınmaktadır (Acarkan ve Önal 1994).



şekil 4.3 Spiral (URL–5 2012).

4.4 Hidrosiklonlar

şekil 4.4’de alışma şekliyle gsterilen hidrosiklonlar; tanelerin ökelleme hızlarını arttırmak için merkezkaç kuvvetini kullanarak sürekli şekilde alışan aygıtlardır. 1890 yılından beri kullanılmakla birlikte cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerine 1955’ten sonra girmiştir. Boyuta göre sınıflandırma işlemlerinde tercih edilen hidrosiklonlar, genelde 150–5 μm arası boyutundaki tanelerin zenginleştirilmesinde basarıyla kullanılmaktadır (Özdağ 1993).



Şekil 4.4 Hidrosiklonun yapısı ve akışkanın hareketi (URL-6 2012).

Siklon boyu, tane boyutunun küçülmesi ile doğru orantılı olarak azalır. Siklon yarıçapı 10 mm boyutundan 2,5 metreye kadar değişirken ayırma boyutu 2 mikrondan 250 mikrona, kapasitesi 0,1 m³/saat'ten 7200 m³/saat'e kadar değişebilir (Ateşok 2004).

4.5 JİGLERLE ZENGİNLEŞTİRME

Farklı özgül ağırlıktaki mineral tanelerinin, düşey (aşağı ve yukarı) hareketli bir akışkan ortamdan yararlanılarak, tabakalar halinde ayrılması ile yapılan zenginleştirmeye, düşey hareketli akışkan ortamda zenginleştirme veya jig ile zenginleştirme denir. Zenginleştirmenin yapıldığı aygıtta da jig adı verilir. Jiglerde kullanılan akışkan ortam; çoğunlukla su, bazen hava, nadiren de ağır bir sıvı olmaktadır. En eski zenginleştirme aygıtlarından olan sulu (hidrolik) jigler, özellikle iri boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesinde, asırlar boyu başarı ile kullanılmıştır. Cevher hazırlamanın teknolojisindeki gelişmeler sonucunda eski önemlerini yitiren jiglerden, günümüzde özellikle kömür zenginleştirme ile uygun özellikteki cevherlerin iri boyutlarda zenginleştirilmesinde yararlanılmaktadır (Önal 1985).

Jiglerde, akışkan bir ortam içinde ve elek üzerinde bulunan iri boyutlu mineral taneleri, akışkan ortama verilen aşağıdan yukarı (basma) ve yukarıdan aşağı (emme) hareketinin etkisi ile farklı ağırlıkta tabakalar oluştururlar. En ağır mineraller en alt tabakada, en hafif minerallerde en üst tabakada yer alırlar. Bu şekilde oluşan farklı özellikteki tabakaların ayrı ayrı jigden dışarı alınması sonucunda, jig ile zenginleştirme işlemi gerçekleşir. Şekil 1 de görüldüğü gibi jig kutusunda denilen bir tank ile bunun alt kısmında yer alan elek ve eleğin altındaki tekneden oluşmaktadır. Ayrıca jig kutusu içindeki akışkana aşağı yukarı hareketi vermek için bir hareket sistemi de bulunur (Yiğit 1999).

Diğer gravite zenginleştirmelerinde olduğu gibi jigde de başlıca kuvvetlerin yerçekimi, hidrodinamik kuvvetler ve hareket halindeki tanelerin, potansiyel enerjilerinin kinetik enerjiye dönüşümünden kaynaklanan kuvvetlerden oluştuğu bilinmektedir. Bu esas kuvvetlerin şiddeti ve yönleri, dolayısıyla da ayırmaya olan etkileri, cevher jig hareketi ve jig in yapısal özelliklerine bağlı olmaktadır (Önal 1985).

4.5.1 Jiglerde Tabakalaşma

Karmaşık bir ayırma mekanizması olan jiglerde yoğunluğa bağlı olarak tabakalaşma meydana gelmektedir. Bu tabakalaşma üç nedene bağlanmaktadır;

4.5.1.1 Engelli Çöküş Klasifikasyonu

Farklı boyut, şekil ve özgül ağırlıktaki çok sayıda taneden oluşan bir sistemin (cevher) akışkan ortamdaki hareketinde, tanelerin çökme hızlarının, sıvı katı karışımı süspansiyonunun görünen özgül ağırlığı ile viskozitesine bağlı olduğu bilinmektedir. Jiglerde suyun yukarı doğru hareketi (basma) tabakaları açarak yarı akışkan engelli çöküş ortamını oluşturur. Tabakaların açılışı sırasında, ağır mineral daha az hafif mineral ise daha fazla yukarı doğru hareket eder. Suyun yukarı doğru hareketinin (basma) sonu ile aşağı doğru hareketin (emme) başlangıcında, meydana gelen engelli çöküş klasifikasyonu, ağır tanelerin hafiflere göre daha hızlı olarak aşağı doğru hareketlerini sağlar (Önal 1985).

4.5.1.2 Çöküş Başlangıcındaki İvme Farkı

Katı tanelerin hareketinin ivmeleri tane boyutuna bağımlı olmamaktadır. Başka bir deyişle hareket ivmeleri sadece tanenin ve ortamın özgül ağırlığına bağlıdır. Teorik olarak tanenin aşağı doğru hareketinin zamanı yeteri kadar kısa ve bu hareketin tekrarı yeterli ise farklı özgül ağırlığa sahip tanelerin düşey olarak kat ettikleri yol farklı olacaktır. Tanelerin boyutları da farklı olduğunda söz konusu yol daha da artacak, bu durumda jig eleği üzerinde farklı yoğunlukta tabakalar oluşacaktır (Önal 1985).

4.5.1.3 Çöküş Sonunda Ara Boşluklardan Sızma

Jig içindeki akışkan ortamın düşey doğrultuda aşağı doğru (emme) hareketinin sonucunda, iri boyutlu taneler çökerek tabakaları oluştururlar. Daha sonra ince boyutlu taneler iri taneler arasındaki boşluklardan aşağı doğru hareketlerine devam ederler. Bu hareket esnasında yine özgül ağırlığı fazla olanlar daha hızlı bir şekilde çökerler. Böylece ince tanelerde tabakalardaki yerlerini alırlar (Önal 1985).

4.5.2 Jiglerin Yapısı ve Çalıştırılması

Jig yapı olarak son derece basit bir aygıt olup, dibi elekli bir kutudan ibarettir. Jigin yapısal özellikleri ile çalıştırılma şekli, jigdeki tabakalaşmayı etkilediğinden, zenginleştirme işlemlerinin verimliliği açısından önemlidir.

Jiglerde ayırmayı etkileyen başlıca yapısal özellikler; Tabaka (yatak) kalınlığı, pulsasyon özelliği, ürünlerin jigden boşaltılması, kompartıman bölme adedi ve kompartıman elek yapısıdır.

Jigdeki tabaka kalınlığı mineral özellikleri ile jigden boşalma şekline bağlı olmaktadır. İri boyutlu cevherlerle çalışırken ayrılacak mineraller arasındaki özgül ağırlık farkı az olduğunda ve temiz konsantre üretilirken; tabaka kalınlığı fazla, küçük boyutlu cevherlerde ayrılacak mineraller arasındaki özgül ağırlık farklılığı fazla olduğunda ve kaba konsantre üretiminde, tabaka kalınlığı az olmalıdır.

Jigdeki tabakalaşma üzerinde önemli etkileri olan bu özellikler, pulsasyon hızı, genliği ve ivmesi ile pulsasyon şeklidir. Pulsasyon suyu jig eleğine dik olarak ve düzgün bir şekilde verilmelidir. Suyun girdap yapmasını önlemek üzere, elek altına kanat şeklinde levhalar konulur (Önal 1985).

Jig içindeki en üst tabakada toplanan hafif mineraller, devamlı beslemeden dolayı, taşıma yolu ile jigden dışarı çıkarılır. Dip kısmında elek üstünde yer alan ağır mineral tabakası ise, çeşitli şekillerde dışarı çıkartılmaktadır.

Sistem, jig yatağının özgül ağırlığına bağlı olarak hareket eden bir şamandıra ve bu şamandıraya bağlı kaldıraç kolları ile kontrol edilen bir kapaktan oluşur. Jig kutusu içindeki şamandıra, yatağın özgül ağırlığının artması ile yukarı kalkarak kapağı açar, ağır mineral tabakasının boşalması ile özgül ağırlık azaldığından, şamandıra aşağı inerek kapağı kapatır (Önal 1985).

Endüstride kullanılan jigler, yan yana monte edilip seri halinde çalışan birden fazla bölmeden oluşurlar. Bölme sayısı, yapılacak zenginleştirme işleminin özelliğine (nihai zenginleştirme) ve zenginleştirilecek cevher miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Jig kutusunun altında yer alan ve üzerinde tabakaların oluşturduğu elek, ayırma açısından önem taşımaktadır. Jig içindeki kaynamaların önlenmesi ve ağır mineral tabakası kalınlığının düzgün olması için eleğin esnek olması gerekir. Bunun için elek altına bir ızgara yerleştirilmektedir. Elek üstü ve tekne konsantrelerinin miktarlarını belirten elek boyutu, jige beslenen cevherin boyutu ile ağır minerallerin boşaltılması şekline, bağlı olarak seçilir. Elek delik boyutları genellikle 2 – 5 mm arasında olmaktadır. İri boyutlu cevherle çalışırken, temiz ağır mineral ürünü alınmak isteniyorsa; cevher boyutundan daha küçük delikli elek, temiz hafif mineral ürünü (genellikle artık) alınmak isteniyorsa, bu kez cevher boyutundan büyük delikli elek seçilir (Yiğit 1999).

4.6 MANYETİK AYIRMA

Manyetik ayırma, bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alanda çeşitli kuvvetlerin etkisi ile manyetik olan ve manyetik olmayan tanelerin birbirinden ayrılması işlemidir. Manyetik ayırmanın temelinde, oluşturulan manyetik alanın rolü büyük olup, manyetik alan şiddeti

ayrılacak olan mineralin manyetik duyarlılığına göre değişiklik göstermektedir. Minerallerin büyük bir bölümünü kapsayan ve zayıf manyetik özellik gösteren mineraller olan paramanyetikler için yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar, güçlü manyetik özellik gösteren mineraller olan ferromanyetikler için düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır.

Manyetik özelliği olmayan taneler ise diamanyetik mineraller olarak tanımlanmakta ve oluşturulan manyetik alandan etkilenmemektedir. Bu tip mineraller ancak paramanyetik sıvılarla muamele edildikten sonra manyetik özellik kazanabilmekte ve manyetik alanda zenginleştirilebilmektedir (Watson and Peter 1997).

Manyetik alanı oluşturan mıknatıslar, doğal, yapay ve elektro mıknatıs olmak üzere üçe ayrılırlar. Manyetik ayırıcılarda ilk başlarda ferrit denilen sürekli doğal mıknatıslar kullanılmış daha sonra nadir toprak elementlerinin kullanımı ile yüksek alan şiddetli 10.000 gauss değerinden büyük ve yüksek gradyantlı manyetik ayırıcılar geliştirilmiştir (Svoboda and Fujita 2003).

Cevher zenginleştirme amacıyla kullanılan manyetik ayırıcılar en yaygın kullanım alanına sahip olan manyetik ayırıcı tipleridir. Başta manyetit olmak üzere, nadir toprak elementleri, nikel, elmas, krom, kalay, tungsten, titanyum, manganez, alüminyum, baryum, molibden, germanyum, kil, kum ve seramik hammaddeleri gibi pek çok mineralin zenginleştirilmesinde başarı ile kullanılmaktadır (Acarkan 2008).

Geri kazanma amaçlı olarak mıknatıs kullanımına ise, ağır ortam esaslı kömür yıkama tesislerindeki manyetit veya ferrosilikokromun geri kazanılması örneği verilebilir. Ağır ortamla çalışan kömür yıkama tesislerinde, ağır ortam oluşturucu olarak kullanılan toz manyetit tambur tipi manyetik ayırıcılar ile geri kazanılmaktadır. Genellikle 5.000 gaussun altında bir manyetik alan şiddeti yaratan bu ayırıcılar ile manyetit %99 oranında geri kazanılabilmektedir (Hacıfazlıoğlu 2011).

Geri kazanma amaçlı bir diğer uygulama ise katı atıklar içersinden demirli parçaların evsel veya endüstriyel atıklardan geri kazanılmasıdır. Özellikle hurda sanayisinde demirli parçaların alüminyum ve plastik gibi diğer paramanyetik veya diamanyetik malzemelerden ayrılması için kullanılabilmektedir.

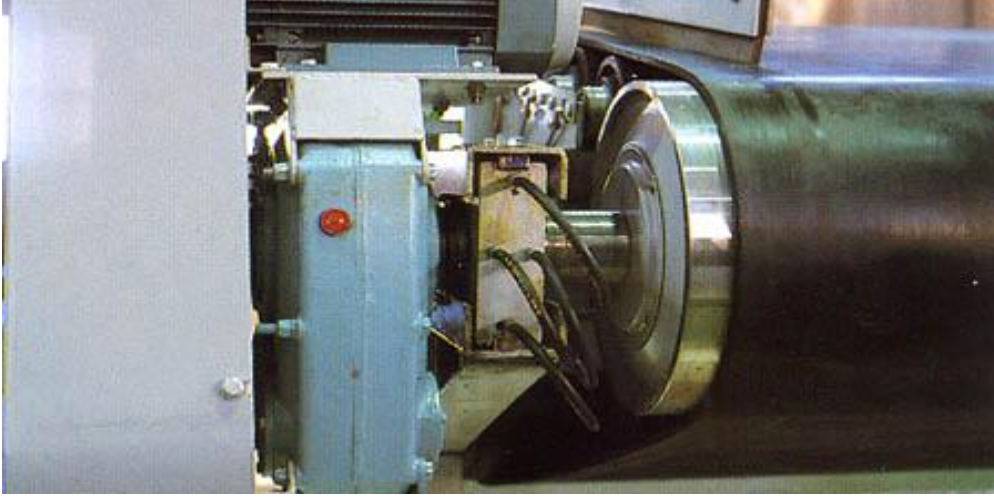
Manyetik ayırıcılar, cevher hazırlama tesislerinde cevherin kırılması veya zenginleştirilmesi öncesinde koruyucu amaçlı olarak kullanılabilir. Örneğin, ocaktan gelen ve cevhere karışan çeşitli metal parçalarının (profil, kazma ucu, vida, çelik plaka vesaire) kırıcıya girmeden önce tutulması; zenginleştirme cihazlarına verdiği zararın önceden önlenmesi açısından önemlidir.

Manyetik ayırıcılar, uygulanan alan şiddetine ve ayırmanın yapıldığı ortama bağlı olarak başlıca dört ana gruba ayrılırlar. Uygulanan alan şiddetine göre yüksek alan şiddetli ve düşük alan şiddetli olarak adlandırılan manyetik ayırıcılar, ayırmanın yapıldığı ortamın hava veya su olmasına göre de kuru veya yaş yöntem olarak adlandırılmaktadır. Hem yüksek alan şiddetli ayırıcılar, hem de düşük alan şiddetli ayırıcılar yaş veya kuru olarak çalıştırılabilir.

Yaş yöntemler genellikle çok ince boyutlu ($<100 \mu\text{m}$) tanelerin zenginleştirilmesi için kullanılmakta iken, kuru yöntemler nispeten daha iri boyutlu ($>100 \mu\text{m}$) tanelerin zenginleştirilmesi için kullanılmaktadır. Buradaki kısıtlama, kuru ayırmada taneler arasındaki elektro-statik çekim kuvvetleri ve manyetik alanın etkisi ile tanelerin topaklaşması ile manyetik olmayan minerallerin tutulması ve konsantreye geçerek ayırma verimliliğini düşürmesi şeklinde tanımlanabilir. Her ne kadar yaş manyetik ayırıcılarda da manyetik topaklaşma meydana gelse bile, bu sorun yüksek gradyanlı manyetik ayırıcıların geliştirilmesi ile çözülmüştür (Özeren 1981).

4.6.1 Düşük Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırıcılar

Düşük alan şiddetli manyetik ayırıcılar grubuna bant üstü mıknatıslar, bant tipi ve tambur tipi ayırıcılar girmektedir. Daha çok koruyucu amaçlı ve yüksek manyetik duyarlılığı olan minerallerin diamanyetik tanelerden uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Şekil 4.5'de gösterilen bant tipi manyetik ayırıcının oluşturduğu manyetik alan şiddeti 500–5.000 Gauss arasında değişmektedir. Besleme boyutu 300 mm boyutuna kadar çıkabilmekte iken, ayırma alt boyutu genellikle 0,5 mm üstündedir. Bant hızı 2 m/sn olup, saatlik kapasiteleri 400 tona kadar çıkabilmektedir (Hacıfazlıoğlu 2011).



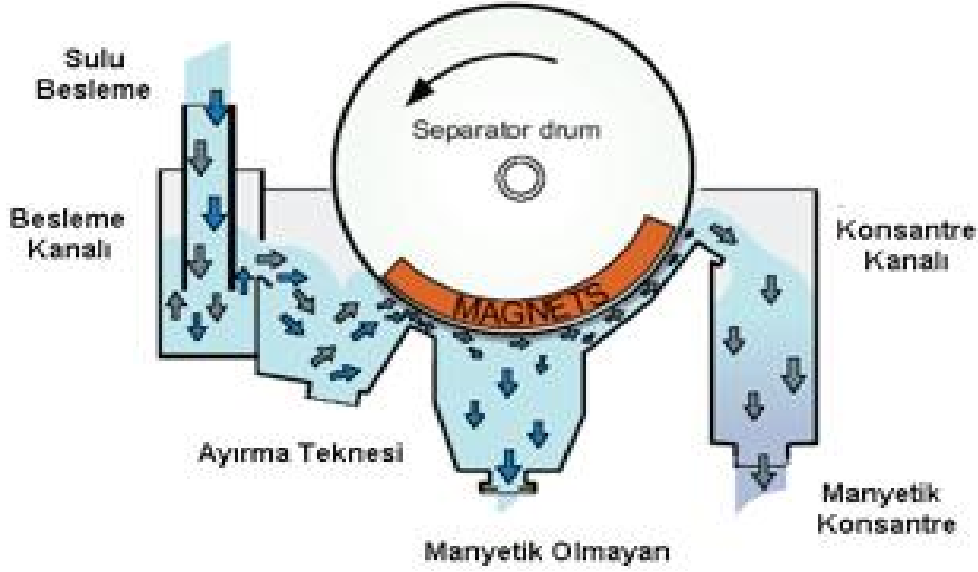
Şekil 4.5 Düşük alan şiddetli kuru bant tipi manyetik ayırıcı (URL-7 2012).

Tambur tipi kuru ayırıcılar ise standart hızlı (20-45 dev/dk) çalıştırılmasının yanı sıra yüksek hızlı (40-200 dev/dk) olarak çalıştırılabilmektedir. Yüksek hızlı manyetik tamburlar, 0,8 mm veya daha ince malzemeden oldukça yüksek tenorlu konsantre elde etmek için kullanılır. Kuru manyetik konsantre eldesi ve baca tozlarındaki manyetik içerikli malzemenin kazanılması başlıca kullanım alanlarıdır (Acarkan 2008).

4.6.2 Düşük Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcılar

Düşük alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar 10 mm veya daha ince (birkaç 10 mikrona kadar) tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Bu ayırıcılarda sabit veya elektromıknatıslar kullanılabilir (Acarkan 2008).

Yaş tambur tipi ayırıcılarda, Şekil 4.6'den görülebileceği üzere sulu manyetit ve gang mineralleri tekne içerisine beslenmekte ve suyun akış hareketi ile manyetik ayırıcının yüzeyine temas ederek geçmektedir. Ayırıcının 1/3'lük kısmında yer alan sabit mıknatıs, manyetik özelliği olan taneleri tamburun yüzeyine doğru çekmekte ve tamburun dönüş hareketi ile manyetik mineralleri yukarıya doğru taşımaktadır. Bu esnada, mıknatıstan uzaklaşan manyetik taneler konsantre kanalından alınırken, manyetik olmayan taneler tambur yüzeyine yapışmadıkları için ayırma teknesinin altındaki boşaltma oluğundan alınarak ayırma gerçekleştirilmektedir. Endüstriyel ölçekte randımanı arttırması amacıyla bu ayırıcılar seri halde çalıştırılmaktadır (Hacıfazlıoğlu 2011).

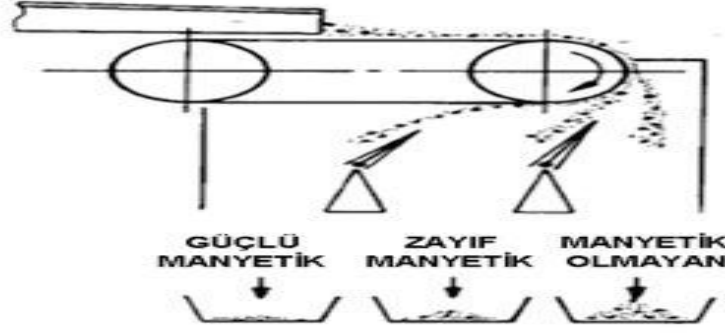


Şekil 4.6 Düşük alan şiddetli tambur tipi yaş manyetik ayırıcı (URL-8 2012).

4.6.3 Yüksek Alan Şiddetli Kuru Manyetik Ayırıcılar

Bu grup ayırıcılarda, elektro mıknatıs bobinler aracılığıyla 18.000 Gauss civarında bir manyetik alan şiddeti oluşturulabilmektedir. Besleme boyutu $-3+0,1$ mm olup, en büyük sakıncası yüksek alan şiddetinin yaratılabilmesi için yüksek miktarlarda enerji tüketmesi ve 0,1 mm altındaki taneleri ayırmada verimsiz olmasıdır. Endüstride çapraz bantlı, döner diskli ve silindirik yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcılar uzun yıllar kullanılmış; ancak nadir topraklı kalıcı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların endüstriye girmesi ile bu ayırıcıların endüstride kullanımı terk edilmiştir (Acarkan 2008).

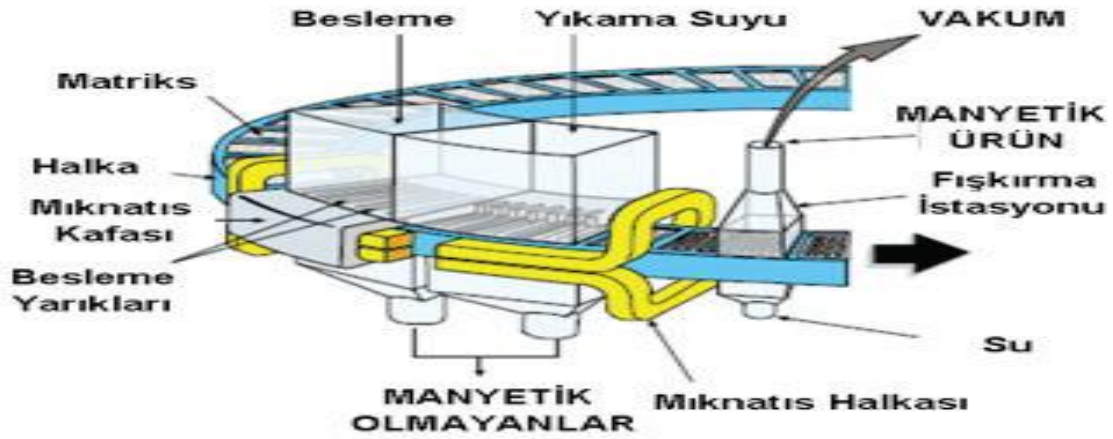
Son 30 yılda, yüksek alan şiddetli nadir toprak elementlerinden imal edilmiş manyetik ayırıcılar, özellikle zayıf manyetik özelliğe sahip demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde ve endüstriyel hammaddelerde bulunan manyetik safsızlıkların uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmıştır. En yaygın kullanılan tipi Bateman firmasının Permroll manyetik ayırıcısı olup, bunun çalışma prensibi Şekil 4.7’de verilmiştir (Hacıfazlıoğlu 2011).



Şekil 4.7 Rulo tipi 3 ürünlü manyetik ayırıcı çalışma prensibi (URL-9 2012).

4.6.4 Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcılar

Bu manyetik ayırıcılarla 24000 Gaussluk manyetik alan şiddetlerine ulaşılmış ve birkaç mikron boyutlarına kadar ayırma mümkün olmaktadır. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar; Carousel ve hazne tipi olmak üzere 2 farklı temel tasarım tipi ile üretilmektedir. Endüstride en çok Carousel tipi manyetik ayırıcılar tercih edilmektedir. Carousel tipi ayırıcılar dikey eksen etrafında dönen ve kesiksiz ayırma yapabilen dairesel oluk şeklindeki cihazlardır. Şekil 4.8’de gösterilen Metso Mineral’in Carousel ayırıcılarıdır (Hacıfazlıoğlu 2011).



Şekil 4.8 Carousel tipi yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı (URL-10 2012).

4.6.5 Süper İletkenli Manyetik Ayırıcılar

Süper iletkenlik, bazı malzemelerin hiçbir direnç göstermeksizin elektrik akımını iletmesine verilen addır. Başka bir deyişle, bir tel üzerinden geçen elektriğin sıfır direnç ile iletilmesidir. Çok iyi iletken olan bakır, gümüş ve altın bile süper iletkenlik göstermezler. Süper iletkenlik

çeşitli malzemeleri 273 °C veya altındaki sıcaklıklara soğutmakla elde edilebilmektedir. Bu ısıları sağlamak kolay olmadığı için süper iletkenlerin kullanım alanı da oldukça kısıtlıdır (Jüngst et al. 1984).

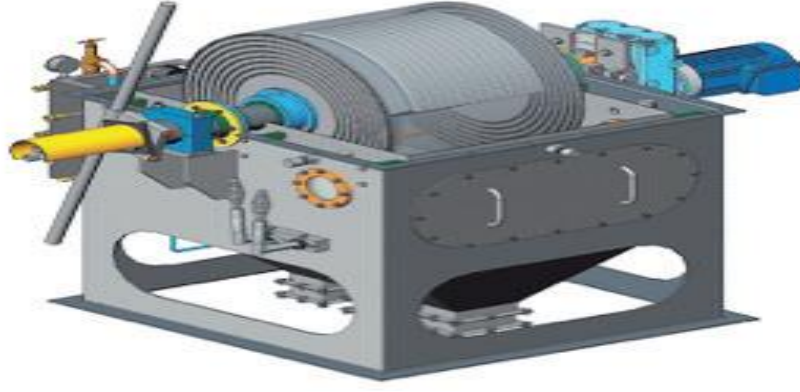
Eriez ve Outotec firmaları, süper iletkenleri kullanarak sırasıyla, Powerflux ve Cryofilter adında iki farklı manyetik ayırıcı tipi geliştirmişlerdir. Buradaki düşük ısı sıvı azot veya çeşitli gazlarla sağlanmıştır. Her iki cihazda da oluşturulan manyetik alan şiddetinin 50.000 gauss olduğu belirtilmekte ve dünyanın çeşitli yerlerinde (Amerika, Brezilya, Almanya gibi) kaolenin saflaştırılması için uygulamaları bulunmaktadır. Endüstriyel ölçekte yaygın olarak kullanılan Cryofilter cihazı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Temelde koloidal çamurlardan demirli bileşiklerin uzaklaştırılması ve kaolen mineralinin renginin parlaklaştırılması ve demir, nikel gibi emprütelerin giderilmesi için geliştirilen bu ayırıcıların saatteki kapasitesi 100 tona kadar çıkabilmektedir (Hacıfazlıoğlu 2011).



Şekil 4.9 Süper iletkenli manyetik ayırıcı (URL-11 2012).

4.6.6 Sıcak Manyetik Ayırıcılar

Sıcak manyetik ayırıcılar, demir-çelik sanayisindeki eriyik sıcak malzemelerden kül, karbon ve cürüfların uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Şekil 4.10'da gösterilen tambur tipli olarak imal edilen bu ayırıcının manyetik alan şiddeti 2500 Gauss olup, tambur yüzeyleri izabe fırınından gelen malzemenin 600 °C ısı değerlerine kadar dayanıklıdır (Hacıfazlıoğlu 2011).



Şekil 4.10 Sıcak manyetik ayırıcı (URL-11 2012).

4.7 FERROKROM CÜRUFU DEĞERLENDİRİLMESİ TESİS UYGULAMALARI

1970'lerdeki ferroalaşım endüstrisindeki hızlı gelişim ile beraber işletmeler hem biriken cürufların değerlendirilmesi hem de cüruflardan metallerin geri kazanımına ihtiyaç duymuşlardır. Fiziksel seperasyon tekniklerinin (DMS, spiraller, masalar, manyetik ayırıcılar, jigler) gelişmesi ile beraber ferroalaşım endüstrisinde geri kazanım prosesleri yer almaya başlamıştır. Fakat bu dönemlerdeki makineler ile yapılan çalışmalarda, düşük kalite metal elde edilmesi ve düşük miktarda geri kazanım olduğundan dolayı yeterli verim alınamamış ve maliyetleri yüksek olmuşlardır (Mashavare and Guest 1997).

Ferrokrom cüruflarından ferrokromlar, manyetik seperasyon ve gravite yöntemleri ile elde edilmektedir. Bazı manyetik seperasyon çalışmaları gösteriyor ki %57,10 Cr_2O_3 içeren krom konsantreleri, %9,30'luk Cr_2O_3 içerikli FeCr cüruflarından %1,50 oranında randımanla elde edilebilmektedirler. 1000 gaussluk manyetik seperatör ilk aşamada kullanılıp daha sonra 800 gaussluk ikinci bir manyetik seperasyon ile daha saf konsantre haline gelebilmektedir (Das et al. 1997).

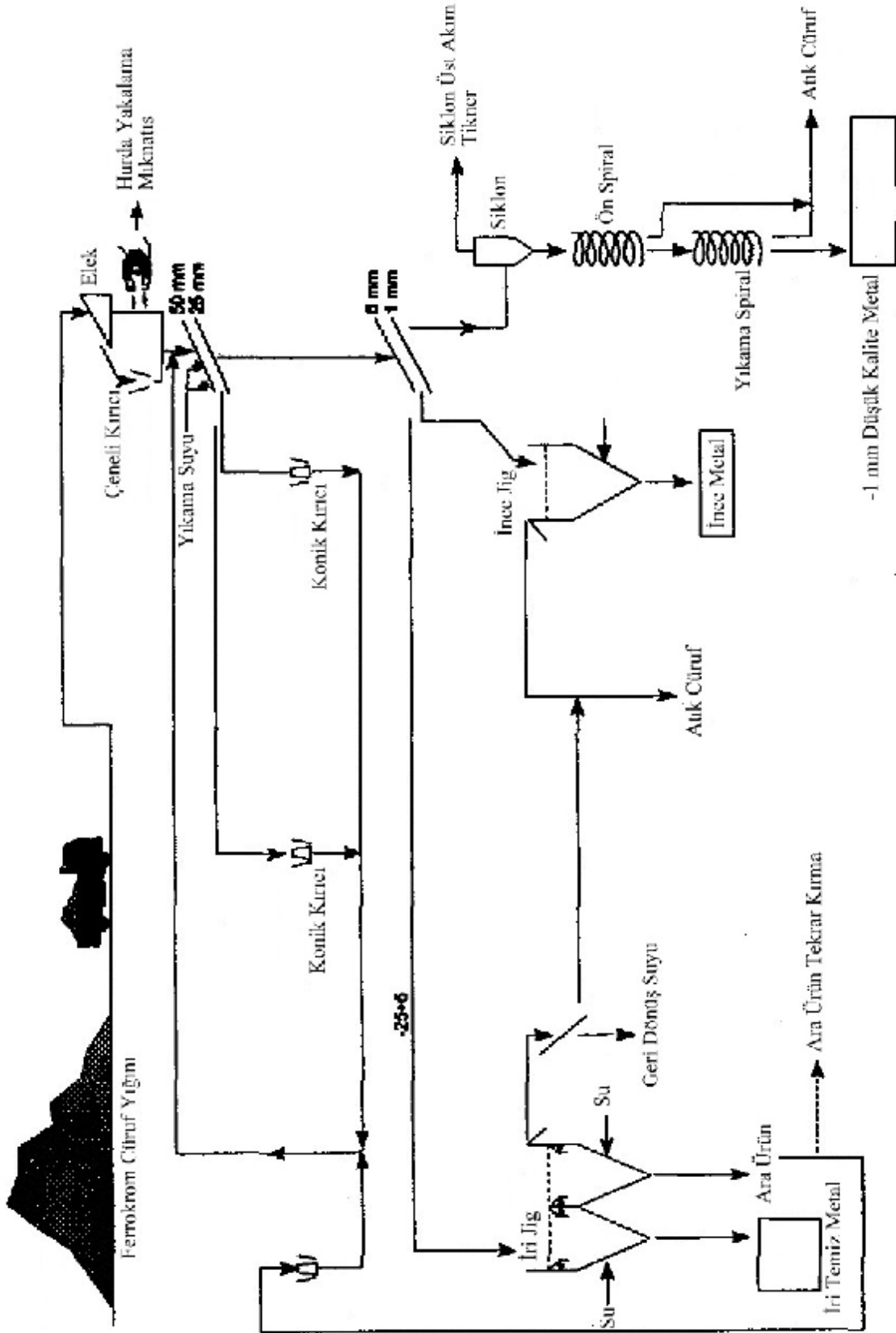
Bazı uygulama çalışmaları ise manyetik ayırma öncesi gravite ile zenginleştirme yapılmasının daha etkin konsantre elde etmek için gerekli olduğunu göstermektedir. %11,50'lik Cr içerikli cüruflardan %3 hata payları ile %55'lik konsantreler elde edildiği gösterilmektedir. Birtakım pilot tesis uygulamalarında cüruflar iki kademeli kırıcılar yardımı ile -30+10 mm, -10+1 mm ve -1 mm şeklinde sınıflara ayrılır. İri boyutlar jiglerde, ince boyutlar ise masalarda ya da spirallerde zenginleştirilmektedir. Bazı pilot tesis uygulamalarında %59,20'lik Cr konsantre değerlerine ulaşıldığı görünmektedir (Choudhury et al. 1995).

Bu çalışmalardan sonra endüstri gravite ve manyetik seperasyon uygulamalarına yönelmiştir. 1995 yılında G. Afrika’da ki ilk uygulamalarda şekil 4.2’de gösterilen ortalama 50 ton/yıllık geri kazanım tesisleri uygulamaya başlamıştır. 2000 yılında Svedela’nın Hindistan’da uygulamaya koyduğu büyük ölçekli metal geri kazanım prosesleri ticari olarak ne kadar karlı olduklarını göstermişlerdir (Salamon 2005).

1980’lerin sonunda pünomatik jiglerin (Batac Jigleri) ortaya çıkması ile beraber bu teknoloji ferroalaşımlardan metal geri kazanmak için oldukça uygun bir yöntem olmaya başlamıştır. İzabe fırınlarında tekrar üretim yapma maliyetinin yanında ferroalaşımlardan geri kazanım prosesleri oldukça karlı hale gelmeye başladı (Mashavare and Guest 1997).

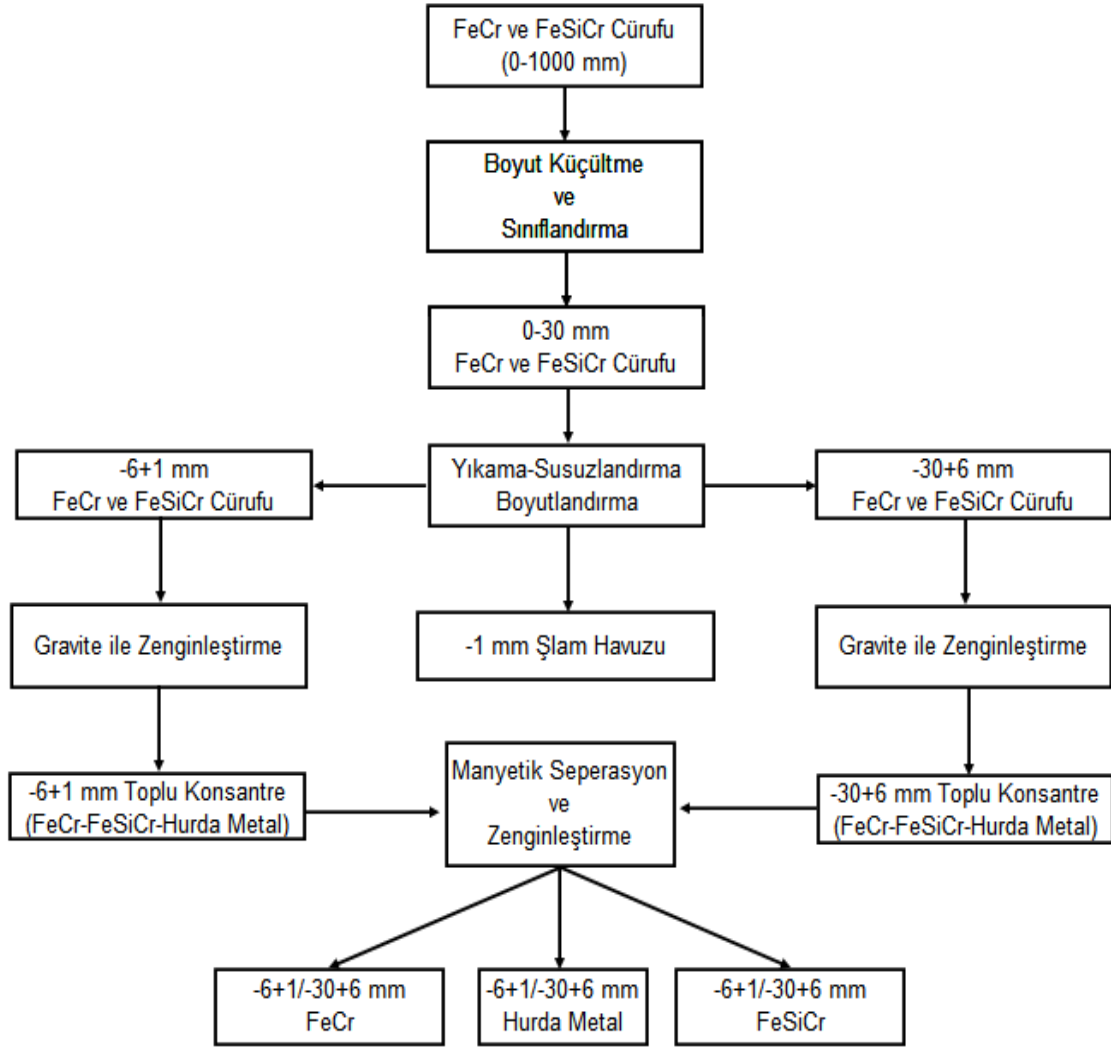
Fakat bu dönemde çoğu jig ekipmanları kömür endüstrisi için yapıldıklarından 1,5–2 t/m³ yoğunluk aralıkları için tasarlanmışlardı. Bu aralıklar suyun da yoğunluğuna yakın olduğu için yüksek pulsasyon ihtiyaçları olamamıştır. Bunun aksine cüruflardan metal kazanımında ise ayırma için yoğunluk farkları 6 t/m³ oranlarına kadar çıkmaktadır. Bu nedenle iri partiküller için yüksek pulsasyon oranları ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Parker and Loveday 1996).

Cüruflardan metal geri kazanım proseslerinde ayırma yoğunluk farkının 4’den az olmasından dolayı ve ağır-iri malzemenin etkin bir pulsasyona ihtiyaç duyması Batac jiglerinde sorunlar yaratmaya başladı. 1996 yılında geliştirilen Apic jigleri endüstride bu sorunu ortadan kaldırmak için hizmet vermeye başladılar. Apic jigleri yoğunluk farkının az olduğu durumlarda bile çok düşük kayıplarla, keskin ayırım kapasitesi, pulsasyonun kontrol altında tutulabilmesi, yatak ayarlarının otomatik ayarlanabilmesi özellikleri ile piyasaya karşılık vermeye başlamışlardır. Ayrıca tüm sistemin otomatik kontrolü, PLC donanımı ile kontrol edilen özel boşaltma olukları ve en önemlisi %98’den fazla metal kazanım verimi ile ferroalaşımların geri kazanım proseslerinin kullanılmasını etkinleştirmiştir. Şekil 4.11de Mineral jigler ile zenginleştirme prosesi akım şeması gösterilmiştir (Sripriya and Murty 2003).



Şekil 4.11 Cürüflardan ferrokrom geri kazanım prosesi (Murty 2004).

Bu çalışmaya konu olan Antalya Ferrokróm tesislerinin cürüflardan elde edilen toplu konsantrelerin geri kazanım şekli ve kazanılan toplu konsantrenin kimyasal içeriklerine göre orta karbonlu (MC), düşük karbonlu (LC) FeCr ve FeSiCr şeklinde zenginleştirilmesi prosesinin akım şeması şekil 4.12’de gösterilmektedir.



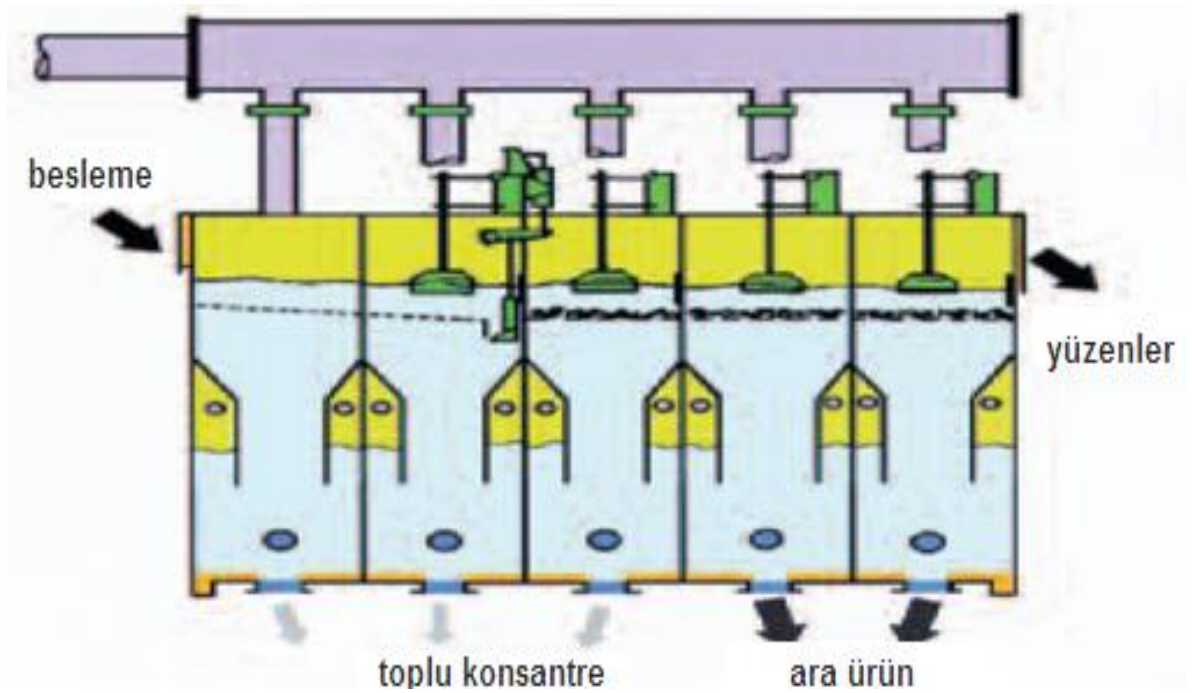
Şekil 4.12 Cürüflardan ferrokróm geri kazanım prosesi akım şeması.

Verilen akım şemasında gösterildiği üzere hammadde ocağından –1000 mm boyutuna hazırlanmış düşük karbonlu FeCr ve FeSiCr cürufu kırma eleme tesisine beslenmektedir. Bu tesiste iki kademeli kırıcılar ve 3 adet elek yardımı ile malzeme istenilen boyut olan -30 mm boyutuna kırılıp sınıflandırılabilir.

30 mm altındaki FeSiCr ve FeCr cürüfları gravite ile ayırma öncesi sulu sistemde -30+6 mm ve -6+1 mm boyutlarına sınıflandırılırlar. Bu işlem sırasında -1 mm altındaki partiküller şlam

olarak nitelendirilir ve havuzlara alınır. Ayrı ayrı sınıflanmış cüruflar gravite ile ayırma için jiglere beslenirler.

Jiglere beslenen cüruflar içerisinde ağır olan toplu konsantre şekil 4.4'de olduğu gibi (FeCr, FeSiCr, Hurda Metal) sistemden batan olarak alınır. Yüzen malzemeler ise cüruf olarak sistemden dışarıya atılırlar. Bu ürünler dışında elde edilen ara ürünler tekrar gravite ile ayırma için jig sistemine geri beslenirler. Bu iki ayrı jig sisteminden -30+6 mm ve -6+1 mm boyutlarında toplu konsantreler elde edilir. Yine aynı boyutlarda satılabilir cüruflar sistemden alınır.



Şekil 4.4 FeCr ve FeSiCr kazanımında kullanılan jig hücresi (Bateman 2009).

Jig tesislerinden elde edilen toplu konsantreler ayrı ayrı stok sahalarında depolanırlar. Toplu konsantreler bu halleriyle satılabilmelerine rağmen kendi içlerinde FeSiCr, FeCr ve hurda metal bulundurması ürün kalitesinde problemler yaratmaktadır.

Genel olarak ferrokrom cürufundan geri kazanım yapan tesislerde tambur mıknatıslar kullanılarak FeSiCr ve FeCr olarak iki ürün elde edilmeye çalışılır. Yani manyetik duyarlılığa sahip olan ve olmayan şeklinde konsantreler satışa sunulur.

Fakat Antalya ferrokrom tesisleri ve genel olarak diğer ferrokrom tesislerinde olduğu gibi cüruflar içerisinde ferroalaşım harici çok çeşitli atıklar da (inşaat molozları, hurda demir atıklar) bulunabilmektedir.

Bunların yanında cürufların ayrı ayrı depolanmayıp karışık halde bulunmaları ve en az 50 yıllık çeşitli kalitedeki ürün üretimlerinin cürufları olmaları toplu konsantreyi kendi içerisinde daha fazla ürüne ayırmamız gerektiğinin bir göstergesi olabilmektedir. Çalışma da geniş fraksiyonda ürün elde edilebilmesi için aynı iki konsantre elde edilmesinde kullanıldığı gibi manyetik duyarlılık baz alınmıştır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

FeCr ve FeSiCr cürufu içerisinde geri kazanılan toplu konsantreyi zenginleştirmek için deneysel çalışmalarda roll manyetik ayırıcılar zenginleştirici cihaz olarak seçilmiştir. Roll manyetik ayırıcılarda farklı manyetik alan şiddetine maruz kalan ürünler manyetik duyarlılıklarına göre 5 ayrı sınıf konsantreye ayrılabilirlerdir. Farklı parametreler yardımı ile ayırma hassasiyeti, kimyasal analizlerle de sonuç değerlendirmesi yapılabilmektedir.

5.1 MALZEME

Roll manyetik ayırıcı ile sınıflandırılma yapılması öncesi, toplu konsantrelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri manyetik ayırıcının dizaynını değiştirebileceği gibi veriminin artırılması ve prosesin kontrolü açısından önem kazanmaktadır.

5.1.1 Deney Malzemesi Kimyasal Özellikleri

Çalışmaya konu olan ferrokrom ve Ferrosilikokromlar, geri kazanım prosesi sonrası toplu halde elde edilerek yaş kimyasal analize tabi tutulurlar. Çizelge 5.1 de verilen analiz sonuçlarına göre -30+6 mm boyut aralığında Cr içeriğinin (%50 Cr) -6+1 mm boyut grubuna göre (%45 Cr) daha yüksek olduğu, silis oranının ise bu boyut aralığında daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.1 Geri kazanılan toplu konsantrenin kimyasal analizi

Numune Adı	% Cr	% Si	% C	% Fe	% Al	% S
Toplu Konsantre (-30+6 mm)	50,00	26,00	0,80	20,00	0,08	0,002
Toplu Konsantre (-6+1 mm)	45,00	30,00	0,80	18,00	0,08	0,009
Hurda Metal (-30+6 mm)	0,50	8,00	4,00	85,00	0,08	0,001

FeCr üretim prosesinin temel reaksiyonlarının bir parçası olarak Fe ve Cr oranı düştükçe, FeCr içerisindeki Si oranı yükselmektedir. Bundan dolayı da metallerin kırılmaya karşı dayanımı düşmektedir.

FeCr ve FeSiCr üretimi sırasında potalara atılan hurda demirler ya reaksiyona girmeyip olduğu gibi kalır ya da çok az bir kısmı reaksiyona girmektedir. Yüksek oranda demir içeren (%85–95) bu hurda demirin gözle yapılan incelemelerde iri boyut grubunda toplandığı belirlenmiştir. Bundan dolayı –6+1 mm boyut grubunda demir analizi yapılmamıştır.

Yapılan kimyasal analiz ve gözle muayeneler geri kazanılan toplu konsantre farklı nitelikte ferrokrom ürünleri ve hurda demir içerdiğinden bunları ayırmak üzere seçimli (selektif) bir sınıflandırmaya tabi tutulması gerekmektedir. Bu şekilde dünya satılabilir ferrokrom piyasasının kimyasal içeriklerine daha uygun malzemelerin elde edilebilecektir. Bu seçimli ayırma seçiminde referans elementler Si ve Fe olmaktadır. Fe oranı manyetik duyarlılığından, Si oranı ise kırılmaya karşı davranışından dolayı ayırıcı parametre olarak seçilebilmektedir. Si oranı düşük ferrokromlar daha sonra kendi içinde karbon oranlarına göre ayırma tabi tutulacaklardır.

5.1.2 Deney Malzemesi Fiziksel Özellikleri

Geri kazanılmış toplu konsantrenin zenginleşmesi için gerekli diğer parametreler fiziksel özellikleridir. Hem boyut aralıkları arasında ki hem de kimyasal içerikleri açısından farklılıkların fiziksel özelliklerine yansımaları, toplu konsantreyi kendi içerisinde ayırmaya yardımcı olacaktır.

Özellikle bu aşamada ki toplu konsantre ürünlerinin normal düşük karbonlu FeCr ve düşük karbonlu FeSiCr'dan karbon ve krom içeriği açısından bariz farklılıklar olmasından dolayı birkaç çeşit konsantre FeCr ve FeSiCr ürünleri ortaya çıkmasına sebep olacaktır. Şekil 5.1 ve 5.2'de manyetik seperasyon işlemini bekleyen toplu konsantrenin resimleri gösterilmektedir.



Şekil 5.1 -6+1 mm toplu konsantre numunesi.



Şekil 5.2 -30+6 mm toplu konsantre numunesi.

5.1.2.1 Deney Malzemesi Boyut Dağılımı

Fe ve Si elementleri baz alınarak her bir parti mal için boyut dağılımı analizi yapılması, toplu konsantre içerisindeki FeCr ve FeSiCr oranlarının net olarak hesabı olmasa da daha sonra kullanacağımız manyetik ayırma tesisinin ayarlanmasında hata oranlarını azalttığı

gözlenecektir. Daha kısa sürede ayar değişikliği ve oluşacak kaçak oranlarının azaltılması açısından boyut dağılımı analizi daha temiz malzeme elde edilmesine olanak sağlamış olacaktır. 6-30 mm boyut grubunun toplu konsantresinin Fe oranının daha yüksek olacağı, bu nedenle manyetik duyarlılığının artacağı, Si oranının ise düşük olacağı anlamını vermektedir.

Ayrıca kırma eleme prosesinden gelen FeCr, FeSiCr ve hurda metal (demir) içerikli cürufların ve bunlara eşlik eden malzemelerin boyut ve yoğunlukları gravite ile zenginleştirme aşamasında önem taşır. Yapılan boyutlandırma işlemi başlangıçta iri ve ince ayırma jigleri için dar aralıkta besleme malzemesi hazırlamaktır.

Dar aralıkta besleme ile ayırma verimi yükselmekte, konsantreye karışan atık miktarı azalırken, atığa kaçan ferrokrom miktarında azalma sağlanmaktadır. Jiglerde ayırmayı belirleyen temel faktör ayrılacak beslemenin içerdiği malzemeler arasındaki yoğunluk farklılıkları olduğu için -30+6 mm ve -6+1 mm boyutlu besleme malzemelerinin yoğunlukları belirlenmiştir (Çizelge 5.4).

Bu çalışmada çeşitli parti mallardan alınan örnekleme sonucu elde ettiğimiz toplu konsantreler üzerinde yapılan testler yer almaktadır. -30+6 mm toplu konsantrenin boyut dağılımı analizleri Çizelge 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

-6+1 mm toplu konsantrenin boyut dağılımı analizleri ise Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmektedir. -30+6 mm toplu konsantrenin -19+12,5 mm aralığında, -6+1 mm toplu konsantrenin ise -6,3+4 mm aralığında yoğun olarak yığıldı gözlenmektedir. Bu durum da bize FeCr'un kırılmaya karşı ne kadar dirençli olduğunu göstergesidir. Aynı şekilde FeSiCr oranı arttıkça kırılmaya karşı direnç azalacaktır.

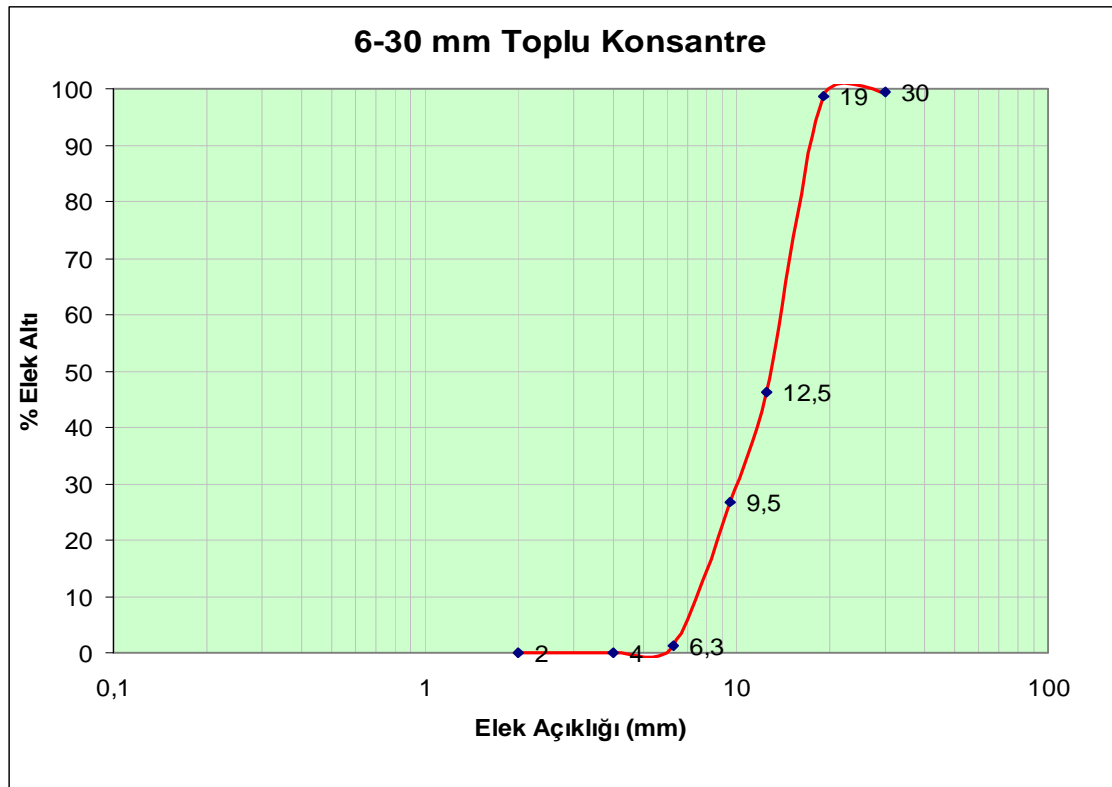
Çeşitli zamanlarda yapılacak elek analizleri toplu konsantre içerisinde FeSiCr ürününün mü yoksa FeCr'un mu daha fazla bulunduğunu anlamamıza yardımcı olacaktır. Ayrıca hurda demirler de kırılmaya karşı yüksek dirence sahip olduklarından dolayı gradasyonun iri olduğu boyutta bulunacaklardır.

Buradan çıkacak sonuçlar manyetik sınıflandırma aşamasında kimyasal analize gerek duyulmadan bile toplu konsantre içerisinde hangi ürünün daha fazla olacağını göstergesi

olacaktır. Bunun yanında manyetik ayırma kapasitesinin ve çalışma veriminin yüksek oranda tutulmasını sağladığı gibi ayarlamaların yapılmasını da kolaylaştıracaktır.

Çizelge 5.2 -30+6 mm toplu konsantre elek analizi.

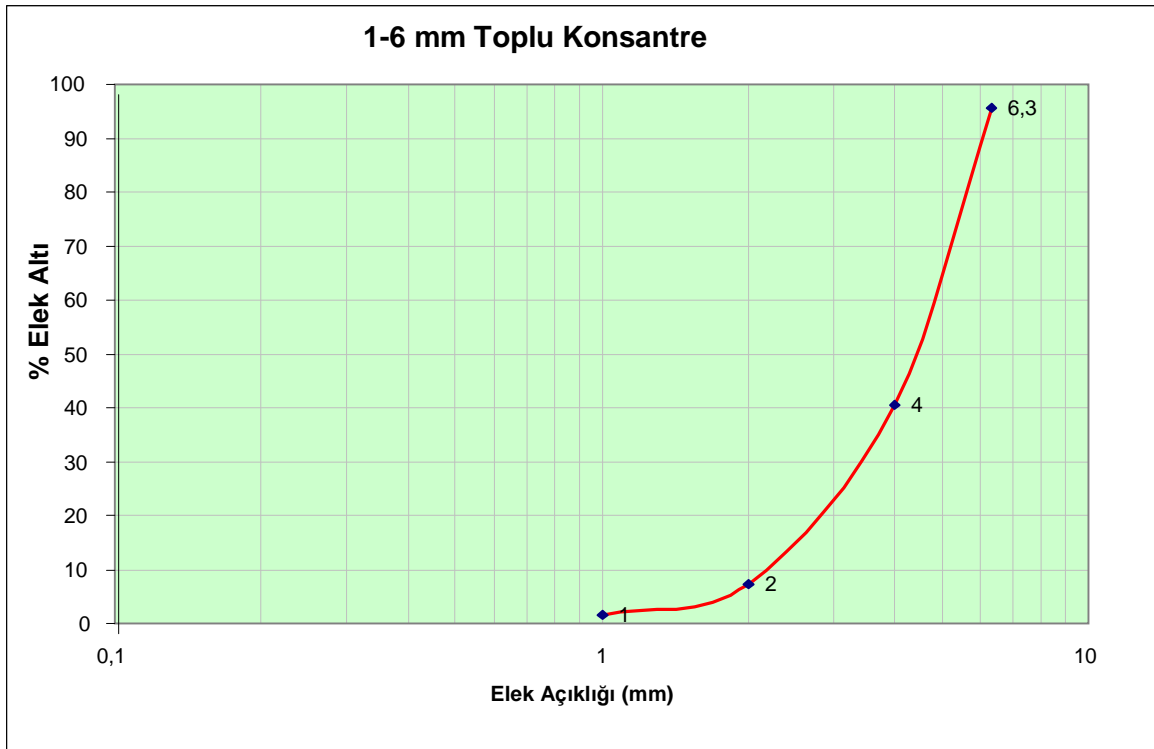
Boyut (mm)	Miktar %	Σ Elek üstü (%)	Σ Elek altı (%)
+25	0,42	0,42	99,58
-25+19	0,90	1,32	98,68
-19+12,5	52,42	53,74	46,26
-12,5+6,3	19,41	73,15	26,85
-6,3+4	25,58	98,73	1,27
-4+2	1,18	99,90	0,09
-2	0,01	99,99	0,01
Toplam	100,00		



Şekil 5.3 -30+6 mm toplu konsantre elek analizi eğrisi.

Çizelge 5.3 -6+1 mm toplu konsantre elek analizi.

Boyut (mm)	Miktar %	Σ Elek üstü (%)	Σ Elek altı (%)
+6,3	12,12	4,53	95,47
-6,3+4	34,42	59,54	40,46
-4+2	35,54	92,67	7,33
-2+1	7,23	98,43	1,57
-1+0,5	3,87	99,15	0,85
-0,5+0,25	1,78	99,47	0,53
-0,25+0,15	1,77	99,66	0,34
-0,15+0,125	1,11	99,74	0,26
-0,125+0,106	1,04	99,79	0,21
-0,106+0,063	1,09	99,95	0,05
-0,064	0,03	99,97	0,03
Toplam	100,00		



Şekil 5.4 -6+1 mm toplu konsantre elek analizi eğrisi.

5.1.2.2 Deney Malzemelerinin Özgül Ağırlıkları

Elde edilen toplu konsantreler içerisinde belirli miktarda numuneler alınarak dereceli kap ile taşan su ağırlık ilişkisinden yapılan bir dizi tartım ve ölçüm sonrası Çizelge 5.4’de ki gibi ortalama özgül ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Curuf içerisinde kazanacağımız Çizelge 5.4’de verilen toplu konsantre ürünlerinin cüruflarla olan özgül ağırlıklar farkına bakıldığında gravite ile ayırma için yeterince uygun olduğu görünmektedir. Ara ürünlerin ise ayırmada sorun teşkil ettikleri gözlenebilir. Bunun içinse iri ürünler için tekrar kırma, ince ürünler için ise manyetik ayırma ve işletmenin göz ardı edilebilen değerleri hesaba katılabilir.

Saf ferrokrom $7-7,5 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığa, cüruflarında $3,50-3,75 \text{ gr/cm}^3$ aralığında olduğu düşünüldüğünde toplu konsantrenin özgül kütlesi bu iki değerden hangisine yaklaşırsa toplu konsantre içerisinde cüruf ve FeSiCr fazla ya da az olduğu belirlenebilir. Bu sonuçta manyetik ayırıcının ayarlarının yapılmasına yardımcı olabilmektedir.

Çizelge 5.4 Toplu konsantre ve cürufların özgül ağırlıkları.

Ürün ve Atık Adı	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
-30+6 mm Toplu Konsantre	5,73
-30+6 mm Ara Ürün	4,10
-30+6 mm Cüruf	3,40
-6+1 mm Toplu Konsantre	5,67
-6+1 mm Ara Ürün	4,67
-6+1 mm Cüruf	3,75

5.1.2.3 Deney Malzemelerinin Nem Oranları

Toplu konsantrenin nem oranları cüruf oranı minimum orandayken Çizelge 5.5’de gösterildiği gibidir. Bu değerin artması manyetik proses öncesi toplu konsantre içeriğinde cüruf oranının yüksek olup olmadığı bilgisini vermektedir. Çünkü cürufların su tutma özellikleri FeCr ve FeSiCr ürünlerine göre daha fazla olmaktadır.

Çizelge 5.5 Toplu konsantrelerin nem içerikleri.

Numune Adı	% Nem
-6+1 mm Toplu Konsantre	1,15%
-30+6 mm Toplu Konsantre	0,80%

5.1.2.4 Deney Malzemelerinin Metal-Cüruf İçeriği

Jig tesislerinden elde edilen toplu konsantreler içerisinden alınan belirli miktardaki numune, konsantre tanelerinin tek tek gözle kontrolleri ile metal, cüruf, ara ürün şeklinde ayrılmışlardır. Çizelge 5.6’da gösterildiği gibi FeCr ve FeSiCr numunelerinin cüruf içeriklerinde farklılıklar oluşmaktadır. Özellikle -30+6 mm FeCr ve FeSiCr cüruf içerikleri çok farklı olduğu gözlenmektedir. Çünkü cürufların büyük bir kısmının manyetik özellik gösterememesi aynı şekilde manyetik olmayan FeSiCr ile aynı sınıfta ayrılmasına olanak sağlamaktadır. Bu cürufların kaynağı ise gravite ile ayırma sırasında ki proses hatalarıdır. Toplu konsantre manyetik ayırmaya tabi tutulduğunda ürünlerden biri olan LC FeCr kalitesini arttırmaktadır.

-6+1 mm toplu konsantre, FeSiCr ve FeCr sonuçlarına bakıldığında ara ürün oranının -30+6 mm ürünlere göre daha az olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni ise serbestleşmenin daha fazla olmasıdır. Bunun yanında cüruf oranının 1-6 mm aralığında daha fazla olmasının sebebi ise gravite ile zenginleştirmenin bu aralıkta daha zor olması ve proses kaçaklarının daha fazla olmasıdır. Çünkü boyut dağılımı aralığının dar olması metallerin cüruf gibi cürufların da metal gibi davranmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 5.6 Toplu konsantre, FeCr ve FeSiCr ürünlerinin cüruf içerikleri.

Numune Adı	% Metal	% Cüruf	% Ara Ürün
-30+6 mm Toplu Konsantre	93,70	1,65	4,65
-30+6 mm FeCr	94,80	0,50	4,70
-30+6 mm FeSiCr	84,51	6,62	8,87
-6+1 mm Toplu Konsantre	93,54	4,08	2,38
-6+1 mm FeCr	97,22	1,00	1,78
-6+1 mm FeSiCr	89,83	7,06	3,11

5.2 ROLL MIKNATIS DENEY SETİ

Roll manyetik ayırıcılar, tek bir seferde farklı iki manyetik alan şiddetine sahip mıknatıs kullanarak tek bir beslemeden birbirinden farklı beş konsantre elde edebilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca roll manyetik ayırıcılar elektro mıknatıslara göre daha düşük maliyettedirler.

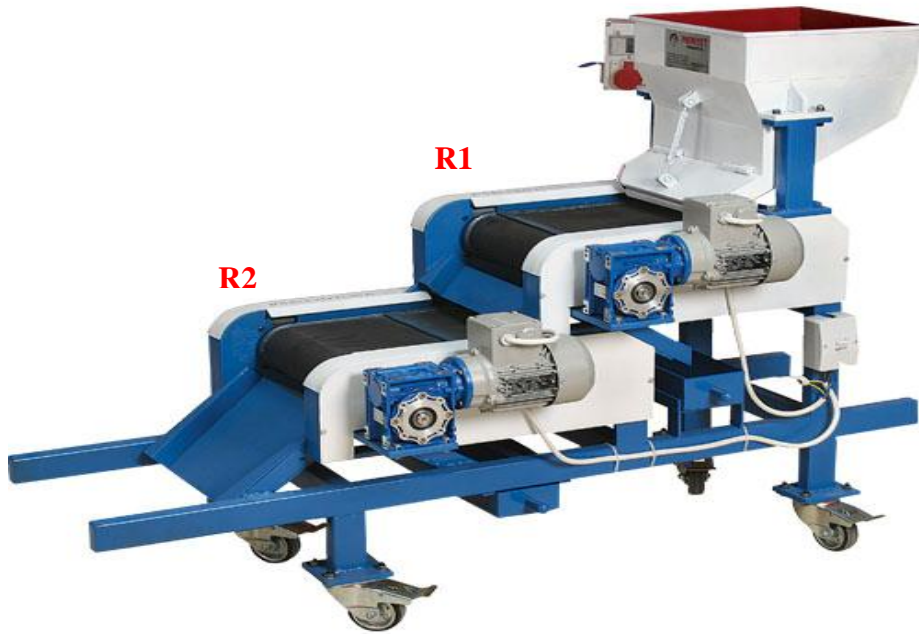
Yer çekimi etkisi, manyetik alan etkisi, hızın parçalara kazandırdığı kinetik enerji, metallerin farklı ebat ve özgül ağırlıkta olması ile bu 5 parametrenin bir biri arasındaki etkileşimden yararlanarak ve doğru bıçak ayarları ile keskin bir ayırım yapmak mümkün olabilmektedir. Roll manyetik ayırıcıların saatlik kapasiteleri nedeniyle de tambur mıknatıslara göre daha yüksek tonajlarda çalışabilmektedir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan manyetik ayırıcının Şekil 5.5’de gösterildiği gibi bir örneği olan roll manyetik ayırıcı biri manyetik olmak üzere iki rulodan oluşmaktadır. Rulolar arasında cevherin manyetik alan içine taşınmasını sağlayan bir bant bulunmaktadır. Bandın hareketi rulolardan birine bağlanmış bir motor ile kontrol edilmektedir. Ruloların dönüş hızı işlenen malzeme özelliklerine bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Şekil 5.6’da tipik bir roll manyetik ayırıcı gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Manyetik rulo (URL-13 2012).

İşlenecek malzeme, bant üzerine titreşimli besleyici üniteden istenilen hızda dökülmektedir. Besleyici titreşimi ayarlanarak besleme hızı kontrol edilebilmektedir. Ayrılan ürünlerin farklı yerlerde toplanmasını sağlamak ve ürün özelliklerini istenilen şekilde ayarlamak amacıyla bölücü bıçaklar yerleştirilmiştir.



Şekil 5.6 Roll manyetik ayırıcı (URL-12 2012).

Roll mıkmatısta en dikkat edilmesi gereken noktalar mıkmatısların manyetik alan kuvvetleri, bantların dönüş hızının parçalara etkisi ile buradan yola çıkarak bıçak ayarlarının doğru ayarlanabilmesidir.

Şekil 5.6'daki roll manyetik ayırıcıyı dikkate alırsak ve üstteki bandı R1 ve alttaki 2. bandı ise R2 şeklinde adlandırırsak; R2 Bandında ki mıkmatısların manyetik alan kuvvetinin R1 bandından yüksek olması gerekmektedir. Önceki bölümlerde de belirttiğimiz gibi malzemenin Fe içeriği ayırma için temel parametredir. Cr ya da FeCr ve FeSiCr içerisindeki Fe harici diğer içeriklerin (MgO, CaO, SiO₂) manyetik duyarlılıkları yok denecek düzeydedir. Fe ise yüksek manyetik duyarlılığa sahiptir.

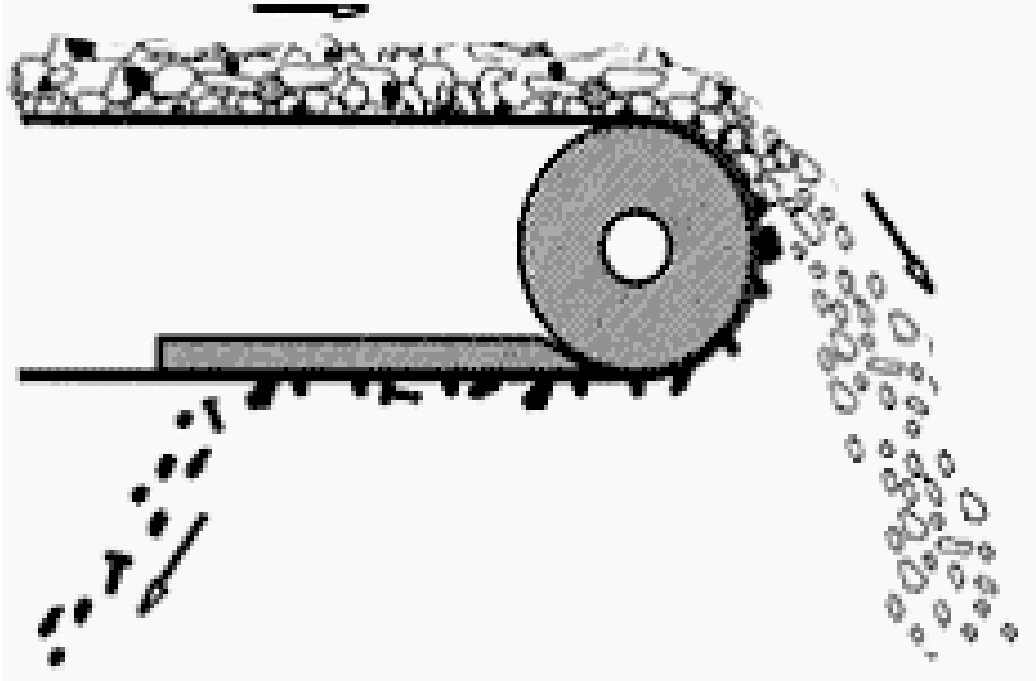
Dünya satılabilir düşük karbonlu FeCr ürünlerinin kimyasal analizleri, düşük karbonlu FeSiCr konsantresi ile karşılaştırıldığında daha yüksek Fe elementi içerdiği Çizelge 5.7'de gösterilmektedir. Bu durumda R1 bandında daha düşük gauss yardımı ile toplu konsantre içerisinde LC FeCr yakalanması daha kolay olacağı düşünülebilir. Bu durumda R1 Bandı yardımı ile en yüksek demirli malzemeler alındıktan sonra R2 bandında da Fe içeriğine göre kendi içerisinde bir başka ayırım daha yüksek gaussla yapılması mümkün görünmektedir.

Çizelge 5.7 LC FeSiCr ve LC FeCr kimyasal bileşim karşılaştırması (URL-14 2012).

Kimyasal İçerik	Ferrokrom Ürün Tipleri	
	FeSiCr	LC FeCr
Boyut (mm)	0-200	10-50/10-80/10-100
Cr (%)	min. 38	68-74
C (%)	maks. 0,1	maks. 0,4
Si (%)	min. 38	maks. 1
Fe (%)	17-21	23-27
P (%)	maks. 0,03	maks. 0,03

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi seperatör bant hızına bağlı merkezkaç kuvveti arttıkça metallerin kendi manyetik duyarlılıklarını yenmesi, yani manyetik alan kuvvetinin yenilmesi kolay olacaktır. Bant hızı çok arttırıldığı zaman içerisinde Fe miktarı oranı fazla olan malzemenin

dahi mıknatısa tutunmadan hızının verdiği kuvvet (kinetik enerji) yardımı ile bir sonraki alana geçme olasılığı da çok yüksektir. Optimum hız her iki bantta da sağlanamazsa kimyasal içeriğine göre sınıflanacak malzeme olması gereken yerden daha farklı bir yerde olacaktır.



Şekil 5.7 Roll mıknatıs üzerindeki malzemenin sınıflanması (URL-13 2012).

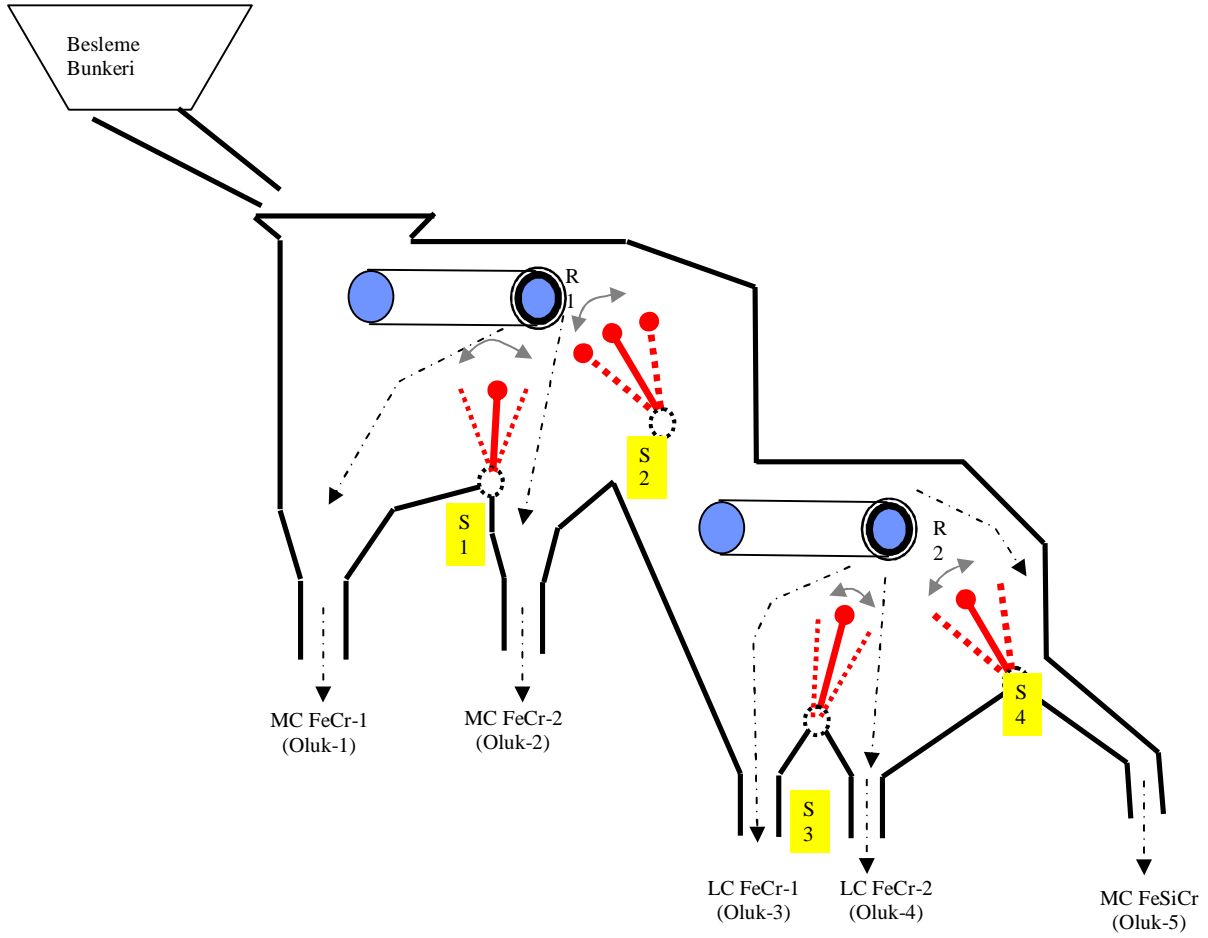
Her mıknatısta ayrılmış malzeme kendi içinde de Fe miktarı içeriklerine göre direnç göstereceklerdir. Fe miktarının oranı yüksek olan bandın ters yüzeyinde daha uzun süre tutunmaya çalışacak ve kütle ağırlıklarına göre de kendilerini manyetik alandan kurtarmaya çalışacaklardır. Banttın daha erken düşen malzemenin manyetik alanı yenmesi, demir oranının azlığı ya da kütesinin çok ağır olmasından kaynaklanmaktadır. Bu safhada ayırma bıçakları devreye girerek düşen malzemeleri kendi içerisinde ayıracaklardır. Bir diğer bıçak ise R1 ya da R2 bandında manyetik alanı yenip karşı oluğa giden malzemenin de yanlış oluğa gitmesini engellemek için kullanılmaktadır.

Metallerin aynı ebatlarda olmaması, aynı duyarlılıkta davranmaması, özgül ağırlıklarının farklı oluşu (bileşik olmalarından dolayı) ayırmayı etkilemektedir. Ayrıca birbirine yakın özgül ağırlıkların gravite ile ayırma prosesini şaşırtmasından dolayı cüruf içerisinde geri kazanılan toplu konsantrelerin içerisinde de kompakt haldeki cüruflar karışmaktadır. Bundan dolayı roll manyetik ayırıcı üstünde hassas ayar yapılması gerekmektedir. Cüruf içerisindeki FeSiCr/FeCr oranı da ayar yapılmasında etkili olacaktır.

5.2.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Roll Manyetik Ayırıcı Çalışma Prensipleri

Deneyde kullanılan roll mıknatısın Şekil 5.8’de yan kesit görüntüsü verilerek çalışma prensibi gösterilmiştir. Mıknatısın mekanizmalarının çalışma sıralaması şu şekilde olmaktadır;

- Toplu konsantreler herhangi bir zenginleştirme işlemi yapılmadan önce -30+6 mm ya da -6+1 mm ebatlarında gravite prosesinden geldiği biçimde bunkere beslenir.
- Besleme bunkeri üzerinde ki vibromotorlar (hızları kontrol edilebilir) kapasite kontrolü için önemlidir. Eğer vibrolar gereğinden hızlı çalışırlarsa metaller üst üste gelerek ya da birbirlerine yeterli boşluk olmadığından dolayı çarparak birbirlerinin hızını kesecek ya da daha fazla hız vererek ayırma işlemini olumsuz etkileyecektir.
- R1 bandına beslenen metaller anlatılan prensiple ayırma işlemine başlarlar. R1 bandının manyetik alan kuvvetini aşan malzemeler 1 ve 2. oluğa gelmeden S2 bıçağını aşarak R2 bandı üstüne geçerler. Geçemeyen malzemeler S1 bıçağının da etkisi ile iki ayrı sınıfa ayrılırlar. Bu ayırma sonucu elde edilen konsantreler karbon içeriklerinden dolayı MC FeCr-1 ve MC FeCr-2 olarak adlandırılacaklardır.
- R2 Bandına gelen malzemeler aynı şekilde manyetik alanı yenebilenler S4 bıçağını aşarak 5 numaralı oluğa geçerek prostenen ayrılırlar. Mıknatısa tutulan malzemeler yine S3 bıçağı yardımı ile kendi içerisinde 2’ye ayrılırlar. Bu ayırma sonucu elde edilen Oluk-3 ve Oluk-4 konsantrelerine C içeriklerinden dolayı LC FeCr-1 ve LC FeCr-2 denilmektedir. 5 numaralı oluktan gelen malzemelere de karbon ve silis içeriklerinden dolayı MC FeSiCr denmektedir.
- S2 ve S4 Bıçağı da malzemeyi ikiye bölmektedir. S2 Bıçağının sol tarafına düşen malzeme 2 numaralı, S4 Bıçağının soluna düşerse 4 numaralı oluktan dışarı alınırlar.
- R1 ve R2 Bantlarının gaussları, bant hızları ve bıçak ayarları yapılan ön fiziksel ve kimyasal testlerle belirlenmektedir. Toplu konsantrelerin FeSiCr, FeCr ve hurda metal içerikleri ayarları etkilemektedir.



Şekil 5.8 Roll manyetik ayırıcı kesit görüntüsü.

5.2.2 Roll Miknatısın Ayırma Verimliliği Kontrol Yöntemi

Şekil 5.8’de verilen roll miknatısta, 1 numaralı oluğa gelen malzemeler, R1 Bandı manyetik alan kuvvetine ya eşit olmalı, düşük değerde ise gauss farkı çok büyük olan miknatısla yakalanıp yakalanmadığına bakılır. Örneğin Şekil 5.9’da görünen el miknatısları bu kontrol için uygundur. El miknatısındaki gauss çok yüksek olursa diğer oluklara gidecek malzemeyi de tutacağından sonuçları yanlıtacaktır. Çok düşük olursa da tutması gerekenleri tutmayacaktır ve yine sonuçları yanlıtacaktır.

Eğer el miknatısına tutunamayan malzeme varsa proses gözden geçirilir. Ama en uygun seçim roll miknatısın rulosundan daha düşük gaussta seçilmesi olacaktır. Çünkü S1 bıçağı ile daha keskin ayırma yapmaya olanak sağlayacaktır. 1 Nolu oluğa gelen malzeme zaten yüksek manyetik duyarlılıktadır.



Şekil 5.9 Test amaçlı el mıknatısı (URL-15 2012).

1 numaralı oluğun testi sırasında kullanılan el mıknatısı kontrol için 2 numaralı olukta da kullanılırsa, bu bölgedeki metallerin manyetik duyarlılığından daha az olduğu fiziksel olarak gözlenebilmektedir. Malzemelerin tutunmaya karşı gösterdikleri direnç 1 numaralı oluktan daha fazla olmaktadır. Örneğin 1 numaralı oluktaki malzeme el mıknatısından el ile ayırmaya çalışıldığında, metali mıknatıstan ayırmak daha zor olmaktadır.

3 ve 4 numaralı oluklardaki malzemelere de R2 Bandı referans alınarak aynı testler uygulanır. R2 bandı manyetik alan şiddetinin altında bir gauss olmalı ve R1 bandı değerine yakın olmamalıdır.

5 Numaralı oluktaki malzemenin FeSiCr olması beklendiği için manyetik duyarlılık göstermemesi gerekmektedir. Bu nedenle R2 Bandından daha yüksek hangi gaussu kullanırsak kullanalım manyetik duyarlılık bu malzeme de beklenmemektedir.

5.3 MANYETİK AYIRMA DENEYLERİ

Ayırma için seçilmiş olan roll manyetik ayırıcının stabil çalışabilmesi, tesis olarak kullanılabilmesi ve devamlılığının olabilmesi için uygun çalışma aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla roll mıknatıs sisteminde ki mıknatısların gausslarının, bant hızının ve bıçak ayarlarının sırası ile test edilmesi ile uygun bir çalışma aralığı belirlenmeye çalışılmıştır.

5.3.1 Uygun Gauss Aralıklarının Seçilmesi

Uygun gauss aralıklarının doğru seçilebilmesi için elimizdeki karışık halde ki toplu konsantre belirli gausslarda ki el mıknatısları ile ayırma tabi tutulmuştur. Farklı gausslarda ki bu ayırım sonrası numuneler kimyasal analize gönderilerek roll manyetik ayırıcısında kullanılacak uygun gauss aralıkları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Toplu konsantre stok alanından 3 adet toplu konsantre numuneleri alınmıştır. Bu numuneler 1000–2000 ve 3000 gauss özellikli el mıknatıslarının manyetik alan şiddetine tabi tutulmuşlardır. El mıknatıslarına tutunan konsantreler kimyasal analize gönderilip, elde edilen sonuçlara göre uygun R1 bandı gauss değeri seçilmiştir. Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi 2000 gauss Cr değerinin en yüksek olduğu değeri vermiştir. Yalnız numuneler el mıknatısı ile alındığı için roll mıknatıstaki yerçekimi ve kinetik enerji göz önünde bulundurularak biraz daha yüksek gauss olan 2500 gauss değeri seçilmiştir.

Seçilen bu gauss sonrası yeni bir toplu konsantre numunesi stok alanından hazırlanarak içerisinde 2500 gauss değerinde mıknatısa tutunan ürünler ayrılmıştır. Kalan numune 4’e bölünerek 4000–5000–6000 ve 8000 gauss değerinde el mıknatısları ile konsantre numuneleri hazırlanmıştır. Bu hazırlanan 4 farklı fraksiyondaki numuneler kimyasal analize gönderilmiştir. Bu analizler R2 bandı gauss değerinin belirlenmesini sağlayacaktır. 4500 gauss değeri referans alınarak R2 bandı mıknatıs duyarlılığı belirlenmiştir. 4000-5000-6000 gausslarda elde edilen numuneler tekrar 8000 gaussluk mıknatısla tutulmaya çalışılmış, bu işlem sonucunda geriye kalan numuneler içinde 8000 gaussa manyetik duyarlılık göstermeyen tüm numuneler manyetik olmayan grup adı altında kimyasal analizi yapılmıştır. Bu ürünlerin kimyasal analiz değerleri de bu konsantrelerin FeSiCr olduğu sonucunu vermiştir.

Çizelge 5.2 gösterilenlere göre Cr oranının en yüksek olduğu değer ile Si oranı en düşük değere yakın numuneler incelendiğinde ve satılabilir ürün açısından C oranını da dikkate alınırsa -30+6 mm ve -6+1 mm aralıkları için R1 Bandı 2500 gauss, R2 bandı 4000 gauss seçilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 5.8 Farklı gausslarda ön ayırma sonuçları.

Numune adı	Uygulanan Alan Şiddeti (Gauss)	Kimyasal Analiz		
		Cr (%)	Si (%)	C (%)
-30+6 mm Toplu Konsantre	1000	60,91	6,90	2,03
	2000	64,52	7,15	1,82
	3000	60,65	8,32	1,73
	4000	60,13	8,85	1,68
	5000	61,82	9,45	1,54
	6000	58,48	10,02	1,46
	8000	54,90	13,30	0,94
	Man. Olmayan	44,81	32,00	0,55
-6+1 mm Toplu Konsantre	1000	53,70	6,85	1,07
	2000	58,21	11,20	0,88
	3000	55,41	13,80	0,79
	4000	55,22	14,15	0,72
	5000	53,85	16,38	0,69
	6000	51,93	17,90	0,64
	8000	43,06	33,00	0,35
	Man. Olmayan	41,25	36,50	0,25

5.3.2 Uygun Ortalama Hız Seçimi

-30+6 mm ve -6+1 mm boyutundaki FeCr ve FeSiCr cürufundan elde edilen toplu konsantre numunelerini zenginleştirmek amacıyla kullanılacak olan roll manyetik ayırıcının ortalama hız ayarının ön görülebilmesi için hız testleri uygulanmıştır. Farklı gausslarda ki el mıknatısları ile elde edilen sonuçlara göre R1 Mıknatısı 2500 gauss ve R2 Mıknatısı 4000 gauss olarak seçilmiştir.

Bıçaklar ise tam 90 derecelik pozisyonda ayarlı tutulmuştur. Uygun hız aralığı tespitinden sonra bıçak ayarlarına geçilecektir. R1 mıknatısının olduğu bant 1 m/sn, 1,5 m/sn ve 2 m/sn hızlarına ayarlanarak 1 ve 2 No'lu oluklar için uygun hız aralığı aranmıştır. Buradan elde edilen sonuç vasıtası ile de R2 mıknatısının bağlı olduğu bandın hızları ile oynanarak 3-4-5 No'lu olukların ortalama hız ayarları yapılmıştır.

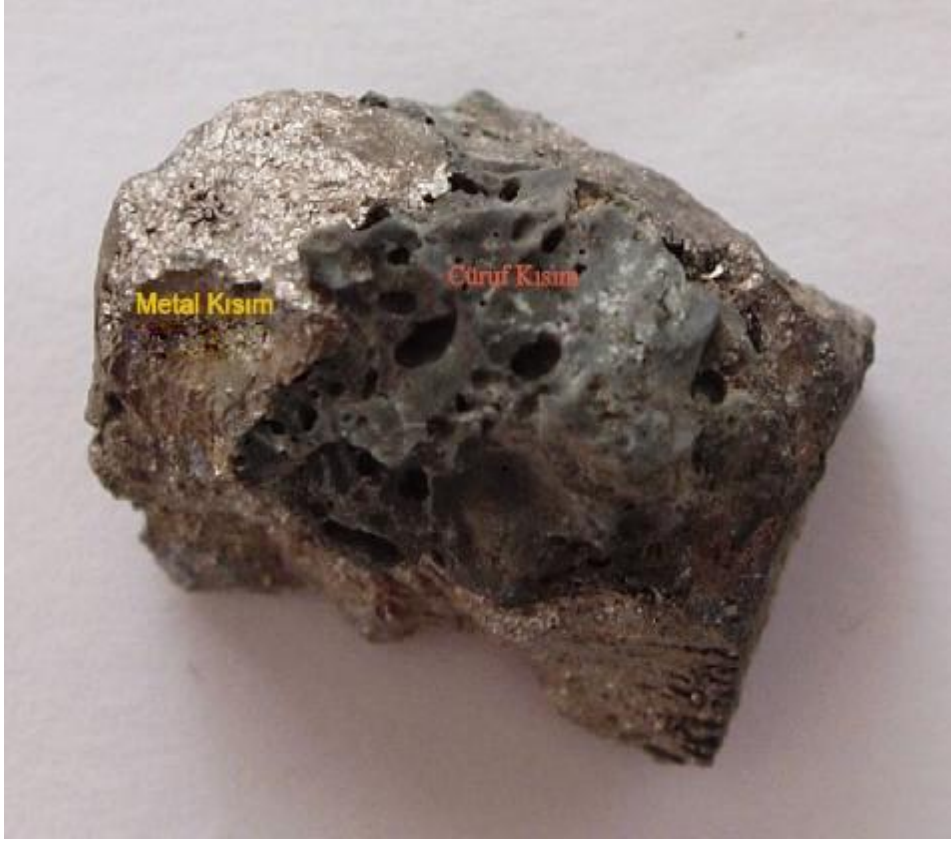
Teste başlamadan önce elimizdeki -30+6 mm toplu konsantre halindeki numuneler gözle kontrol edilip içerisinde ara ürünler, cüruf ve hurda demirler elle ayrılmışlardır. Bu ayrılan numuneler tartıldığında; %85,19 metal (FeCr ve FeSiCr), %13,59 ara ürün, %0,39 cüruf ve %0,83 hurda demirden oluştuğu görülmüştür. Stok alanındaki toplu konsantrelerden alınan numuneler farklı R1 Bandı hızlarında mıknatıs tesisine beslenmiştir. Beslemeler sonucu elde edilen konsantrelerin taneleri tek tek incelenerek hurda, ara ürün ve metal ürün olarak ayrılarak tartılmışlardır. Çizelge 5.9’da ki sonuçlar, R1 bandının manyetik alanına maruz kalarak sınıflanmış, oluk-1 ve oluk-2’den elde edilen konsantrelerin metal, ara ürün, hurda, cüruf dağılımını göstermektedir.

Çizelge 5.9 -30+6 mm toplu konsantre R1 bandı hız ayarı sonuçları.

Numune Adı	R1 Bandı Hızı (m/sn)	Metal (%)	Ara Ürün (%)	Cüruf (%)	Hurda Demir %	Miktar (%)
Oluk-1	1,00	74,53	19,87	1,10	4,50	25,00
	1,50	79,45	10,23	0,00	10,32	21,00
	2,00	71,40	20,89	0,00	7,71	14,00
Oluk-2	1,00	77,04	21,61	1,35	0,00	10,00
	1,50	85,87	14,13	0,00	0,00	8,00
	2,00	80,28	17,52	0,00	2,20	11,00
Besleme		85,19	13,59	0,39	0,83	

Çizelge 5.9’da görüldüğü gibi R1 bandı hızı 1 m/sn ayarlandığında; Oluk-1 de ki ara ürün oranının %19,87 olduğu, 2 m/sn olarak ayarlandığında ise %20,89 olduğu gözlenmektedir. Hızın R1 Bandında 1,5 m/sn ayarlanması ile elde edilen Oluk-1 de ki %10,23’lük ara ürün değerleri, diğer iki hız değerinden oldukça düşüktür.

Bunun sebebi hız çok düşükken (1 m/sn) ara ürünlerin bant üstünde geçirdikleri süre artmış ve yuvarlanmalarının vasıtası ile manyetik yüzeylerin mıknatıslara temas etme olasılıkları artmıştır. Ayrıca kütlelerinin kazanacakları hız düşüğünden manyetik alan kuvvetini yenmeleri zorlaşacaktır. Şekil 5.10’da gösterildiği gibi oluk-1 ve oluk-2 de ki bu ara ürünlerin hacimlerinde büyük oranda cürufun bulunduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.10 -30+6 mm oluk-1 ve oluk-2 metale kompakt cüruf görüntüsü.

Ara ürünlerin el mıknatısları ile yapılan kontrolünde (8000 gauss) çok yüksek oranda mıknatıs duyarlılık göze çarpmamaktadır. Mıknatıs üzerindeki ara ürünlerin hemen hemen yarısı kolayca mıknatısın yüzeyinden elle sıyrılabilir. Eğer yüksek oranda Oluk-1 ve Oluk-2 kimyasal içeriğine sahip metaller olsaydı, 8000 gaussluk el mıknatısı üzerinden bu ürünler elle kolayca ayrılamazlardı.

Hızı 2 m/sn ayarladığımızda ise ara ürün oranı en yüksek seviyesine ulaşmaktadır. Fakat bunun nedeni hızın 1 m/sn ayarlanması ile aynı değildir. Bu hızda Oluk-1'e gelmesi gereken metaller çok hızlandıklarından dolayı merkezkaç kuvvetinin etkisi ile farklı oluğa gitmektedirler. Burada görünen ara ürünler de 1 m/sn hız ayarındakilerden farklıdır. Gözle yapılan muayenelerde ara ürün parçacıklarının metal oranlarının Şekil 5.11'de gösterildiği gibi çok yüksek olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak bu hızda gereğinden fazla metal kaybı yaşanmaktadır. Bu kayıp da % ara ürün içeriğini arttırmaktadır.



Şekil 5.11 -30+6 mm Oluk-1 ara ürün görüntüsü.

Hızımızı 1,5 m/sn yaptığımızda ise metal oranının en yüksek olduğu ve bu metallerin 4000 ve 8000 gaussluk el mıknatısına tutunma kuvvetlerinin yüksek olduğu ve bununla beraber ara ürün miktarının en az olduğu gözlenebilir. Ayrıca bu ara ürünlerin büyük bir kısmı metal oranı çok olan fraksiyonlardan oluşmaktadır.

Bunlara ek olarak doğru hızın yaklaşık 1,5 m/sn olduğunu anlamının diğer bir yolu ise hurda demir içeriğidir. Hurda demir oranının ve metalin en yüksek olduğu aralık ile ara ürünün en düşük olduğu aralık 1,5 m/sn hızıdır. Bu kadar yüksek metal oranı içerisinde, yüksek hurda metal bulunması işlemi doğrulamaktadır. Hurda metallerde yaklaşık %85 oranında Fe elementinin bulunması manyetik duyarlılığa ilk tepki verecek olanın kendisi olacağının göstergesidir.

Hız 2 m/sn ulaştığında oluk-2'den hurda demir (%2,20) gelmesi ayırmanın yanlış hızda yapıldığını ortaya koyan diğer bir nedendir. Oluk 2'ye gelen metallere mıknatıs ve gözle yapılan kontroller sonrası (paslanmış metallerin el ile ayrılması) bu noktada da doğru ayırmanın 1,5 m/sn hızında olduğu gözlenmektedir.

Oluk-1 ve Oluk-2 için R1 bandı doğru hız ayarının bulunmasından sonra gerekli bıçak ayarları gelen malzemenin FeCr ve FeSiCr içeriklerine göre istenildiği gibi ayarlanabilir. Ya da piyasanın istediği ürünün ayarlanması açısından karışım yapmak için istenilen şekilde ayarlanabilir. Burada önemli olan S2 bıçağının pozisyonudur. Hız testleri sonrasında 60–45–30 derecelik açılarda testler yapılmıştır.

R1 Bandının 1,5 m/sn hıza ayarlanması ile yapılan bu testlerin numuneleri farklı bıçak ayarlarında ayırma yapıldıktan sonra göz ve el mıknatısı yardımı ile kontrol edilmiştir. Bu kontroller sonucu 60 derecelik açının S2 bıçağı için en uygun pozisyon olduğuna karar verilmiştir. Bu noktada önemli kriter malzemenin bıçağın ucuna çarpmamasıdır. Çünkü bıçak ucuna çarpan malzeme her iki tarafa da düşebilir. Bunu da gözle muayene ile kontrol edebiliriz.

S1 bıçağı ise tamamen kendi elimizde olup, kimyasal analizler yardımıyla hangi C, Cr, Fe, Si aralıklarında ürün satılacağına göre ayarlanmaktadır. Ortalama koşullar göz önüne alındığında yaklaşık 45 derecelik S1 bıçak ayarı ortalama satılabilir ürünler ortaya çıkarabilmektedir.

Bıçağın diğer tarafına geçen metaller ise R2 bandının manyetik alanına maruz kalmadan önce 2500 gaussluk mıknatıslarla test edilmiş ve içerisinde bu gaussta malzeme olup olmadığına bakılmıştır. Bu testte sadece 1,5 m/sn hızında ve S2 bıçağının 60 derecelik ayarlanması sonucu ayrılan ürünler diğer tarafa geçmiştir ve bu malzemeler 2500 gauss ile tutunamayan malzemelerdir.

Eğer 2500 gaussa duyarlı malzemeler geçecek olsaydı ayırmanın R1 bandında yanlış başladığını gösterecek bir diğer parametre olacaktır. 1,5 m/sn hızda R1 bandında ayrılan malzemeler, R2 bandının farklı hız ayarlarında R2 manyetik bandına beslenmiştir. Beslenen bu malzemeler Oluk–3-4-5 için Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi sonuçlar ortaya çıkarmaktadır.

Çizelge 5.10 -30+6 mm toplu konsantre R2 bant hızı ayarı sonuçları.

Numune Adı	R2 Bandı Hızı (m/sn)	Metal (%)	Ara Ürün (%)	Cüruf (%)	Miktar (%)
Oluk-3	1,00	81,69	18,11	0,20	9,00
	1,50	80,18	19,65	0,17	7,00
	2,00	77,79	22,18	0,03	6,00
Oluk-4	1,00	83,23	16,01	0,76	11,00
	1,50	85,24	14,62	0,14	8,00
	2,00	81,92	18,06	0,02	5,00
Oluk-5	1,00	89,05	9,03	1,92	45,00
	1,50	93,02	5,35	1,63	56,00
	2,00	91,51	7,82	1,67	64,00
Besleme	0,00	86,11	13,59	0,30	

Çizelge 5.10 incelendiğinde R2 bandı için uygun hızın R1 bandındaki sebeplerden dolayı 1,50 m/sn olduğu görülmektedir. Burada farklı diğer bir durum ise % hurda oranının sıfır olması, çünkü manyetik alana en duyarlı olanlar hurda metaller olduklarından her zaman ilk tutunan onlar olacaktır. Bu sebepten % metal oranları da daha yüksektir.

Cüruf oranı % olarak düşük görünmesine rağmen, üretimden gelen cürufların büyük bir kısmı bu kısımdadır. Cüruflar manyetik duyarlılığa sahip olmadıklarından dolayı uygun hız ve bıçaklarda son oluktan hepsi alınabilir.

Aynı süreç -6+1 mm toplu konsantrelere uygulandığında Çizelge 5.11’de gösterildiği gibi yaklaşık olarak benzer sonuçlar alınmıştır. -6+1 mm için de en uygun hız 1,5 m/sn olmuştur. Sadece hurda metal içerikleri bariz değişiklik göstermektedir. Çünkü bu boyutta daha öncede belirttiğimiz gibi hurda metal olma olasılığı çok azdır. Çünkü hurda demirler bu aralıklara kadar kırılması zordur.

Çizelge 5.11 -6+1 mm toplu konsantre R1 ve R2 bandı hız ayarı sonuçları.

Numune Adı	R1-R2 Bandı Hızı (m/sn)	Metal (%)	Ara Ürün (%)	Cüruf (%)	Miktar (%)
Oluk-1	1,00	89,10	9,35	1,55	19,00
	1,50	96,43	3,57	0,00	15,00
	2,00	89,36	10,64	0,00	11,00
Oluk-2	1,00	86,64	11,67	1,69	7,50
	1,50	96,33	3,67	0,00	5,00
	2,00	89,18	10,82	0,00	2,00
Oluk-3	1,00	96,30	2,35	1,35	6,50
	1,50	96,97	2,32	0,71	4,50
	2,00	95,00	3,43	1,57	4,00
Oluk-4	1,00	95,90	2,81	1,29	6,00
	1,50	97,06	2,14	0,80	4,50
	2,00	96,51	3,07	1,42	5,00
Oluk-4	1,00	97,89	1,26	0,85	61,00
	1,50	96,53	1,45	2,02	71,00
	2,00	94,42	2,45	3,03	78,00
Besleme	0,00	92,03	6,95	1,02	

5.3.3 Uygun Hız ve Bıçak Ayarları ve Makine Çalışma Verimi Kontrolü

R1 bandı ve R2 bandı manyetik rulolar için uygun gaussların seçilmesi, bantların hız ayarlarının yapılması ve S1, S2, S3, S4, S5 bıçaklarının ayarlarının, ortalama satılabilir ürün değerleri göz önüne alınarak, gerçekleştirilmesi sonucu roll manyetik ayırıcı istikrarlı çalışır hale getirilmiştir. Tüm bu testler % metal oranlarını dengelemek için yapılmıştır. Temel prensip manyetik duyarlılık esas alınmıştır. Toplu konsantreler uygun hız ve ayarlardan sonra 5 ayrı ürün sınıfına ayrılmışlardır.

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’de uygun aralıklarda roll manyetik tesisinin verimlilik değerleri verilmiştir. Burada verilen değerler 1,5 m/sn R1 ve R2 band hızları ve 45° S1, S2, S3, S4 ve S5 bıçak ayarlarında yapılmış test sonuçlarını yansıtmaktadır. Çizelgelerdeki hata oranlarının

hesaplanmasının nedeni malzemenin bulunması gereken oluktan farklı bir oluğa ne kadar oranda gittiğini göstermektedir.

Bu verimlilik değerlerinden de anlaşılacağı gibi roll manyetik ayırıcı -30+6 mm boyut aralığında yaklaşık %0,5'lik hatalarla ayrımı yapılabilirken, -6+1 mm boyut aralığında bu oran %0,7-1,5 arasında değişmektedir. Hata oranları -6+1 mm'de -30+6 mm'ye göre daha fazla olmasının sebebi ise ince boyut aralığının mıknatıs üzerine temasının az olması ve ağırlıklarının birbirine çok yakın olmalarıdır.

Çizelge 5.12 -30+6 mm toplu konsantre roll manyetik çalışma verimi kontrolü.

Numune No	Oluk-1 % Hata Oranı	Oluk-2 % Hata Oranı	Oluk-3 % Hata Oranı	Oluk-4 % Hata Oranı	Oluk-5 % Hata Oranı
1	0,24	0,50	0,37	0,50	0,49
2	0,25	0,49	0,43	0,44	0,41
3	0,26	0,47	0,59	0,49	0,37
4	0,24	0,48	0,64	0,48	0,42
5	0,29	0,45	0,40	0,43	0,46
Ortalama	0,26	0,48	0,49	0,47	0,43

Çizelge 5.13 -6+1 mm toplu konsantre roll manyetik çalışma verimi kontrolü.

Numune No	Oluk-1 % Hata Oranı	Oluk-2 % Hata Oranı	Oluk-3 % Hata Oranı	Oluk-4 % Hata Oranı	Oluk-5 % Hata Oranı
1	0,77	1,21	1,45	1,49	0,27
2	0,81	1,01	1,24	1,32	0,30
3	0,75	1,17	1,29	1,66	0,32
4	0,78	1,30	1,12	1,52	0,42
5	0,80	1,06	1,35	1,72	0,38
Ortalama	0,78	1,15	1,29	1,54	0,34

5.3.4 Ayırma Sonucu Elde Edilen Konsantrelerinin Kimyasal Analizleri

Roll manyetik ayırıcı ile uygun çalışma ayarları yapılarak elde edilen 5 adet konsantre ürün, yaş kimyasal analize tabi tutulmuşlardır. Bu kimyasal analizler yardımıyla konsantreler satılabilirlikleri açısından karşılaştırılabilecektir. Çizelge 5.14 ve 5.15’de -30+6mm ve -6+1 mm konsantrelerin kimyasal analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.14 -30+6 mm konsantrelerin kimyasal analizleri.

Konsantre Adı	% Cr	% Si	% Fe	% C
Oluk-1	62,20	3,01	29,32	0,86
Oluk-2	66,43	7,36	22,71	0,51
Oluk-3	63,08	13,25	20,81	0,38
Oluk-4	62,32	14,15	18,60	0,35
Oluk-5	45,42	35,71	14,20	0,44
Besleme	50,00	26,00	22,00	0,80

Çizelge 5.15 -6+1 mm konsantrelerin kimyasal analizleri.

Konsantre Adı	% Cr	% Si	% Fe	% C
Oluk-1	55,02	4,02	27,35	1,20
Oluk-2	59,62	9,15	19,67	0,92
Oluk-3	54,84	15,85	17,48	0,65
Oluk-4	52,42	17,02	17,54	0,60
Oluk-5	42,55	39,33	16,65	0,79
Besleme	45,00	30,00	18,00	0,80

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Antalya ferrokrom işletmesi cürufları yaklaşık 50 yıllık geçmişe sahiptir. Bu uzun yıllar boyunca biriktirilen cüruflar 50 yıllık üretim sürecini de göstermektedir. Bu cürufların içerisinde homojen bir karışım beklemek zor olmaktadır. Tesis düşük karbonlu ferrokrom üretimi ile başlamış ve zamanla silikoferrokrom üretimini de bünyesine eklemiştir. Şu an ise üretim portföylerinde yüksek karbonlu ferrokrom ürünü de bulunmaktadır.

Tüm bunların yanında dünyada ferrokrom atıklarının (cüruf) biriktirildiği yerler diğer endüstriyel (karpit, çimento vb.) ve inşaat atıklarına (moloz, kil, toprak) da ev sahipliği yapar hale gelmiştir.

Çeşitli ferrokrom ürünlerinin birlikte alınmasında kullanılan gravite ile zenginleştirmeden ağır olan ferrokrom ve ferrosilikokromların yanında hurda demirlerde toplu konsantreler içerisinde yer alacaktır. Bunların yanında üretim esnasında izabe potasında tam olarak reaksiyona girememiş ve ergiyememiş metaller bulunmaktadır. Hatta bazı metallerin içerisinde kompakt halde cüruflar çok ince boyutlarda bile görünebilmektedir. Ayrıca gravite ile zenginleştirme sonrası %1'lik oranda cürufta toplu konsantre içerisinde yer almaktadır. Sonuç olarak toplu konsantre zenginleşmemiş haliyle bir hayli yabancı madde barındırmaktadır.

Bu çalışmada yapılanlar gösteriyor ki toplu konsantre manyetik ayırma ile dünya satılabilir değerlerini kısmen yakalayabilmektedir. Çizelge 5.14 verilerine göre -30+6 mm toplu konsantre %50 Cr oranından oluk-2 içerisinde %66,43 oranına kadar zenginleştirilebilmiştir. Oluk-1-3-4 değerleri ise Cr oranı olarak %63 değerlerine yakın bir değerdedir.

-30+6 mm toplu konsantrenin manyetik ayırma sonucu Si oranlarına bakıldığında ise bu oran oluk-1 değerlerinde minimum değer olan %3, en yüksek değer ise oluk-5 değerlerinde %35 olarak belirlenmiştir. Oluk-5 konsantresinin değeri bu ürünün FeSiCr sınıfında olduğunu

göstermektedir. Manyetik duyarlılıkta ayırmaya en büyük etki eden Fe oranı ise toplu konsantrede %22 iken oluk-1 konsantresinde bu değer %29 oranına kadar çıkartılabilmektedir.

Aynı şekilde -6+1 mm boyut aralığındaki toplu konsantre besleme içerisinde %45 Cr oranından oluk-2 konsantresi içerisinde %59,62 oranına kadar zenginleştirilebilmiştir. Bu yüksek kromlu konsantrelerin silis oranları düşükken, 5 numaralı oluktaki konsantre tamamen FeSiCr konsantresi haline gelmiştir. Ürünlerin C oranları tipik LC FeCr oranlarından yüksek olduğu, bunun yanında HC FeCr konsantrelerinden de oldukça düşük olduğuna dikkat edilirse bu ürünler (orta karbonlu) MC FeCr sınıfına alınabilmektedirler.

Bu sonuçlar gösteriyor ki FeSiCr ve FeCr birbirinden ayrılabilirler. FeCr ise kendi içerisinde farklı Cr, C, Si değerlerine sahip 4 farklı konsantre halini alabilmektedir. Bu ürünler kullanılacağı alana göre kendi içerisinde karıştırılıp farklı değerler elde edilebilir. Bunun yanında oluk-1-2 konsantrelerinin değerleri satılabilir FeCr değerlerine yakın olması bu ürünlerin elektrik ark fırınından çıkmış FeCr ürünleri ile karıştırılıp istenen C, Si, Cr değerlerinde piyasaya sunulabilir ürün haline gelebilmektedir.

Roll miktardan elde edilen konsantrelerin hepsi %100 olarak genel ferrokrom değerlerini yakalayamasa da özellikle Oluk-3-4-5 konsantreleri FeCr ve FeSiCr üretim tesislerinde tekrar şarj malzemesi şeklinde daha düşük maliyetli hammadde olarak kullanılabilir.

Eğer gravite ile toplu konsantre geri kazanımı sonrası ürünler iyi bir yıkama işlemine tabi tutulurlarsa, gravite tesisinde kullanılan suyun konsantreler üzerinde bıraktığı şlam kalıntıları iyice temizlenmiş olur. Bu durum toplu konsantre içerisindeki Si oranını düşürecektir. Bu da demek oluyor ki gravite ile ayırma sırasındaki proses sularının temizliği önem taşımaktadır.

Bu yapılan çalışmalara ek olarak oluklardan alınan konsantrelerin mineralojik yapıları daha detaylı incelenerek C oranlarının düşük karbonlu ferrokromdan neden daha yüksek olduğu detaylı incelenebilir. C'nun cürüflardan mı kaynaklandığı yoksa metallerin iç mineralojik yapılarından mı kaynaklandığı çözümlenebilir. Ayrıca toplu konsantre elde etmeden önce hurda demirlerin bir ön prosesle alınması araştırılabilir. Bu durum sınır değerlerde olan Fe oranını düşürmeye yardımcı olabilir.

Gravite öncesi manyetik zenginleştirme yapılarak hurda demir ve yüksek duyarlılıklı FeCr'lar elde edilebilir. Bu elde edilen konsantreler ise ayrı bir gravite ve manyetik zenginleştirme proseslerinden geçirilerek sadece hurda demir ve LC FeCr konsantreleri elde edilecektir. Diğer az duyarlılıkta ki arta kalan metaller (FeSiCr) ayrı bir prosesle zenginleştirildikten sonra bu çalışmadaki değerlerle karşılaştırılması yapılabilir. Bu durum manyetik zenginleştirme tesisinin 3 tip üründen (FeSiCr, FeCr, Hurda Demir) içerisinde seçim yapmak yerine daha az sayıda üründen seçim yapmasını sağlayacaktır. Bu şekilde C oranlarının ve Si oranlarının hangi ürüne bağlı olduğu daha rahat anlaşılabilir.

Ferrokrom üretim tesislerinin cüruflarının karışık bir biçimde stoklanmasının yerine FeSiCr ve FeCr cürufları şeklinde ayrılıp depolanması ve ayrı ayrı prosese beslenmeleri sağlanırsa, bu durum cüruftan metal kazanımının kalitesini doğrudan etkileyen bir faktör olacaktır. Ayrıca ferrokrom üretimi sonrası ürünlerin üretim kalitesine göre sınıflandığı gibi, bu ürünlerin cürufları da kalitesine göre sınıflandırılıp test edilebilir. Buradan çıkacak sonuçlar kaliteli üretim ya da daha düşük kaliteli üretim sonrası oluşan cüruflardan geri kazanılan metallerin sınıflanmasına yardımcı olabilir. Cüruflardan elde edilen metallerin şarj kromu sınıfında olmasına neden teşkil etmekten ziyade satılabilir ürün pozisyonunda değerlendirilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim** (1988) Antalya Elektrometalürji Sanayi İşletme Müdürlüğü Bülteni, Etibank Matbaası, Ankara.
- Acarkan N** (2008) Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ve Teknikleri, Cevher ve Kömür Hazırlama Tesislerinde İşletme Denetimi ve Verim Artırma Kursu, YMGV Yayını, s. 51-88, İstanbul, Türkiye.
- Arm M** (2003) Mechanical Properties of Residues As Unbound Road Materials, KTH Land and Water Resources Engineering, Doctoral Thesis, Stockholm, Sweden.
- Arpacı V** (1966) Conduction Heat Transfer, Addison Wesley Reading, Massachusetts, U.S.A.
- ASTM** (1991) Standart Specification for Ferrochromium, Ferroalloys and Other Additives to Liquid Iron and Steel, ASTM A 101-80 pp. 27-28, U.S
- Bateman Engineering N V** (2009) APIC Jig Underbed Air-pulsed Gravity Separator Brochure, South Africa.
- Biçer Y, Pıhtılı K and Ayhan T** (1991) Gözenekli Katı Maddelerin Isıl İletkenlik Hesabı için Kuramsal Bir Model, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, Sayı 4, s. 25-30, İstanbul, Türkiye.
- Booyesen H** (2009) South African Perspective On Slag Working Towards Approved Slag Use, Global Slag Conference Brussels, Belgium.
- Chan Billy S K, Mozley R H, Childs G J C** (1994) Multi Gravite Ayırıcı, *Madencilik Dergisi*, Mart 1994, Cilt 34, Sayı 1, s 33 – 41, Türkiye.
- Choudhury R, Murty B, Cha V G K, Sripriya R and Rao P V T** (1995) Recovery of Metal From Slag/Mixed Metal Chips Generated in Ferroalloy Plants, Tata Search, pp. 31– 37, Jamshedpur, India,
- Chakraborty D, Ranganathan S and Sinha S N** (2005) Investigations on the Carbotermic Reduction of Chromite ores, *Metallurgical and Materials Transactions B*, Volume 36B, s. 437-444.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Das B, Mohanty J K, Reddy P S R and Ansari M I** (1997) Characterization and Beneficiation Studies of Charge Chrome Slag, *Scandinavian Journal of Metallurgy* 26 (4), pp. 153–157, Sweden.
- DPT** (2001) Metal Madenler Alt Komisyonu, Krom Çalışma Grubu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye.
- Forsbacha L** (1998) Viscosity of SiO₂-MgO-Al₂O₃-CaO Slags in Composition Related to FeCr Process, Helsinki University of Technology, Licentiate's Thesis, Helsinki, Sweden.
- Geiseler J** (1996) Use of Steelworks Slag in Europe, *Waste Management* 16 (1-3), pp. 59–63.
- Holappa L and Xiao Y** (2004) Slags in ferroalloys Production Review of Present Knowledge, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, August 2004, pp. 429-438, South Africa.
- Keski G** (2008) Kromitin Grafitle Redüksiyonuna Mekanik Aktivasyonunun Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Khan S A, Ray G, Sinha M K and Rao P V T** (2001) Recovery of Charge Chrome From Mixed Metal and Granulated Slag, Tata Search, pp. 115–118, India.
- Kjellqvist N** (2009) Thermodynamic Description of the Fe-C-Cr-Mn-Ni-O System, KTH Industrial Engineering and Management, Doctoral Thesis SE-100 44, Stockholm, Sweden.
- Lind B B, Fallman A M and Larsson L B** (2001) Environmental Impact of Ferrochrome Slag in Road Construction, *Waste Management*, Vol. 21, pp: 255-264.
- Mroueh U M, Eskola P and Laine Y J** (2001) Life-Cycle Impacts of the Use of Industrial By-Products in Road and Earth Construction, *Waste Management*, Vol. 21, pp. 271–277.
- Mashanyare H P and Guest R N** (1997) The Recovery of Ferrochrome From Slag at Zimasco, *Minerals Engineering Magazine*, Vol. 10, No. 11, pp. 1253–1258, Zimasco, Zimbabwe.
- Niemela P and Kauppi M** (2010) Production Characteristics and Use of Ferrochromium Slags, Outokumpu Tornio Works, pp. 171-179, Tornio, Finland.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Nkohla M A** (2006) Characteristics of Ferrochrome Smelter Slag and Its Implications in Metal Accounting . Department of Chemical Engineering at the Cape Peninsula University of Technology, *Theses & Dissertations*. South Africa.
- Önal G** (1985) Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, Türkiye.
- Papp F J** (1998) 1996 Minerals Yearbook, Chromium Advance Release, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, U.S.A.
- Papp F J** (2002) 2000 Minerals Yearbook, Chromium Advance Release, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, U.S.A.
- Papp F J** (2007) 2005 Minerals Yearbook, Chromium Advance Release, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, U.S.A.
- Papp F J** (2012) 2010 Minerals Yearbook, Chromium Advance Release, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, U.S.A.
- Parker J A L and Loveday G K** (1996) Recovery of Metal From Slag in Ferroalloy Industry, Hidden Wealth, *South African Institute of Mining and Metallurgy*, pp. 7-15, Johannesburg, South Africa.
- Ramirez T** (1992) Steel Slag Aggregate in Bituminous Mixtures, Final Report, Pennsylvania Department of Transportation, pp. 79-12, U.S.
- Riekkola A and Vanhanen M** (1999) Finnish Expert Report on Best Available Techniques in Ferrochromium Production, The Finnish Environment 314, Edita Ltd, Helsinki, Finland.
- Schroeder R L** (1994) The Use of Recycled Materials in Highway Construction, *Public Roads*, Vol. 58 (2), U.S.A.
- Shen H, Forssberg E** (2002) An overview of recovery of metals from slags, Division of Mineral Processing, Lulea University of Technology, S-97187 Lulea, Sweden.
- Sripriya R and Murty V G K** (2004) Recovery of Metal from Slag/Mixed Metal Generated in Ferroalloy Plants, *International Journal of Mineral Processing*, Research and Development Division, Titania Business Unit, Tata Steel, Jharkhand, India.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Stevenson J (1997) Slag Characterization and Utilization, Research Experience, Langston University, Langston, UK.

Svaboda J, Fujita T (2003) Resent Developments in Magnetic Methods of Material Separation, *Magazine of Minerals Engineering*, No 16, pp 785-792, U.S.A.

Tossavainen M (2005) Leaching Results in the Assessment of Slag and Rock Materials as Construction Material, Luleå University of Technology, Department of Chemical Engineering and Geosciences Division of Mineral Processing, Doctoral Thesis, Lulea, Sweeden.

URL-1 (2012) <http://www.hernic.co.za/index.php?page=marketing>, Hernic Ferrochrome Marketing, 20 Mayıs 2012.

URL-2 (2012) <http://www.oib.gov.tr/portfoy/etikrom.htm>, ETİ Krom A.Ş Özelleştirilmesi Çalışması, 15 Mayıs 2012.

URL-3 (2012) http://www.stad.com/index.php?city_id=5321456, United States Wilkelman Slag Dump, 15 Haziran 2012.

URL-4 (2012) <http://www.madensan.com/?product=637059&pt=Sallantılı> Masa, Sallantılı Masa, 15 Ekim 2012.

URL-5 (2012) <http://www.alicoco.com/cp/html/?3.html>, Spiral, 15 Ekim 2012.

URL-6 (2012) <http://www.aeroprobe.com/applications/examples/>, Hidrsiklon, 15 Ekim 2012.

URL-7 (2012) <http://www.metso.com/miningandconstruction/>, Bant Tipi Manyetik Ayırıcı, 15 Ekim 2012.

URL-8 (2012) http://www.metso.com/miningandconstruction/mm_sepa.nsf/WebWID/WTB, Tambur Tipi Yaş Manyetik Ayırıcı, 15 Ekim 2012.

URL-9 (2012) <http://www.magneticsolution.com/>, Rulo Tipi 3 Ürünlü Manyetik Ayırıcı, 15 Ekim 2012.

URL-10 (2012) http://www.metso.com/miningandconstruction/mm_sepa.nsf/, Carousel Tipi Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı, 15 Ekim 2012.

URL-11 (2012) <http://www.outotec.com/Util/login.aspx>, Sıcak Manyetik Ayırıcı, 15 Ekim 2012.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL–12** (2012) <http://www.aksamagnet.com.tr/tr/Plasta-Manyetikler.html>, Plasta Manyetik Makara, 11 Mayıs 1012.
- URL–13** (2012) <http://www.aksamagnet.com.tr/tr/Roll-Manyetik-Separatorler.html>, Roll Manyetik Seperatörler, 11 Mayıs 2012.
- URL–14** (2012) <http://www.etimet.com/default.asp?islem=sayfa&id=6&lang=TR>, Kuruluş Tarihi, 20 Mayıs 2012.
- URL–15** (2012) <http://www.aksamagnet.com.tr/tr/Numune-Alma-Miknatislari.html>, Numune Alma Miknatisları, 11 Mayıs 2012.
- U.S. Environmental Protection Agency** (1984) Locating and Estimating Air Emissions From Sources of Chromium, EPA-450/4-84-007G, U.S.A.
- Yıldırım M M** (1984) Yüksek karbonlu ferrokrom ve teknolojik üretimi, *Metalürji Dergisi*, Sayı 32 s. 17-21.
- Yıldız T** (1994) Ferrokrom Cüruflarının Çeşitli Bağlayıcı Kombinasyonlarında Isı İletim Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitim Ana Bilim Dalı, Elazığ, Türkiye.
- Yılmaz A** (2002) Antalya Ferrokrom işletmesinin Elektrik-Ark Fırını Cüruflarının ve Baca Tozu Atıklarının Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.
- Yılmaz A** (2008) Ferrokrom ve Silikoferrokrom Cürufları ile Silis Dumanının Yol Üst Yağısında Kullanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, Isparta, Türkiye.
- Yılmaz A and Süttaş İ** (2004) Ferrokrom Cürufu Kullanılarak Hazırlanan Asfalt Beton Numunelerinin Mühendislik Özellikleri, Akdeniz Üniv., Müh. Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., Antalya.
- Yiğit E** (1999) Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Ders Notları, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye.
- Yoruç A B** (1994) Fethiye bölgesi kromit cevherinin karbon ile redüksiyonunun mekanizması ve kinetiği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Zhang S, Rem P C, Forssberg E (1999) The Investigation of Separability of Particles Smaller Than 5 mm by Eddy-Current Separation Technology, *Magn. Electr. Sep*, pp 233-254, South Africa.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Utku ÖZTÜRK 1983 yılında Zonguldak'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Zonguldak Yabancı Dil Ağırlıklı Fener Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2002 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne başladı. 2006 yılında mezun olduktan sonra 2007 yılında Bateman Mineral Recovery (Atoll Treatment) firmasında işletme mühendisi olarak 5 yıl çalıştı. 2008 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimi'ni sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Muratpaşa
Yeşilbahçe Mah.
07060 ANTALYA

Tel : (543) 407 6767

E-posta : aliutku7@gmail.com