

**YÜKSEK FIRINDA SCAFFOLD (SKAFFOLD)
ÖNLEME METOTLARININ ANALİZİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa YILDIRIM

**YÜKSEK FIRINDA SCAFFOLD (SKAFFOLD) ÖNLEME METOTLARININ
ANALİZİ**

Mustafa YILDIRIM

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ekim 2012

Mustafa YILDIRIM tarafından hazırlanan “YÜKSEK FIRINLARDA SCAFFOLD (SKAFFOLD) ÖNLEME METOTLARININ ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN

Tez Danışmanı, Kırıkkale Üniversitesi



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/10/ 2012

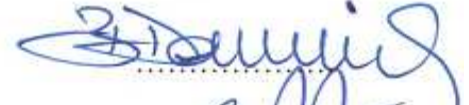
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN (KÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

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.”

Mustafa YILDIRIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK FIRINLARDA SCAFFOLD (SKAFFOLD) ÖNLEME METOTLARININ ANALİZİ

Mustafa YILDIRIM

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanları:

Yrd. Doç.Dr. Fatih HAYAT

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN

Ekim 2012, 171 sayfa

Alkali metallere sodyum ve potasyum yüksek fırına; cevher, pelet, sinter, flaks ve kok ile birlikte girerken, baca gazları ve curuf ile terkederler. Alkali yükünün sirkülasyonu hazne, bosh ve gövde bölgesinde gerçekleşir. Bu bölgelerde sodyum ve potasyumun yoğunluğu giren miktardan çok daha fazladır. Bu metallere yoğunluğunun fazla olması şarj malzemelerinin düzensiz hareketine, çeşitli işletme problemlerine ve fırın duvarına yapışarak oluşan skaffold refrakterin zarar görmesine neden olarak fırının kampanya ömrünü azaltabilir.

Genel şartlar altında şarj malzemeleri ile birlikte giren alkali metallere çok düşük yoğunlukta olsa dahi yüksek curuf bazitesi ve yüksek hazne sıcaklığı fırın içerisinde alkalilerin çok hızlı şekilde birikmesine neden olur.

İşletme şartların da güvenli bir alkali aralığı belirlemek için çok ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Aynı zamanda bir fırın için uygun olan aralık diğer bir fırın için uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Skaffold askılanmaya neden olabilir. Bu durum olduğunda aşağı doğru şarj malzemesinin hareketinde durma olacak kadar büyük bir direnç meydana gelir. Askılanma, altında bir delik oluşunca malzeme aşağı kayacaktır. Kayma meydana geldiğinde genellikle çok büyük miktarda malzeme hareketi olur. Bu kayıntılar fırını düzensiz çalışmasına aynı zamanda gaz dağılımının ve sıcak metal analizinin düzensiz olmasına neden olur. Ayrıca verimin azalmasına, yakıt tüketiminin artmasına ve bazen fırın alt bölgesinde sıcaklık düşmesine neden olur. Bununla birlikte tüyerler zarar görebilir.

Bu çalışmada skaffold oluşumunun önlenmesi için alkalilerin curufla tasfiye metotları ve skaffold oluşumunu tetikleyen diğer faktörler incelenmiştir. Şimdiye kadar skaffold ile ilgili yapılan tüm çalışmalarda genellikle alkali metallerin curufla tasfiyesi üzerinde olmuştur. Bu çalışmada farklı olarak kullanılan hammaddelerin (cevher+metalurjik kok) fiziksel özellikleri ve fırın içindeki malzeme dağılımının (gaz dağılımı) da skaffold oluşumuna etkisi incelenmiştir. Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlarında toplam alkali girdisi ton sıvı metal başına 5-6 kg'dır. Yüksek Fırınlarda kabul edilen toplam alkali girdisinin azami değeri 2 kg'dır. Türkiyede bulunan Yüksek Fırınlardan en çok skaffoldlanmaya maruz kalmış ve hatta çoğu kez oluşmuş skaffoldu dinamit patlatma yöntemiyle temizlenmiş olan Kardemir 3 no'lu yüksek fırında skaffold oluşum nedenleri irdelenmiş ve mücadele yöntemleri ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler : Yüksek fırın, alkali, skaffold.

Bilim Kodu : 915.1.194

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PREVENTION METHODS ANALYSIS OF BLAST FURNACE SCAFFOLD

Mustafa YILDIRIM

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Metaterials Engineering

Thesis Advisors:

Assist. Prof. Dr. Fatih HAYAT

Assist. Prof. Dr. Sadettin ŞAHİN

October 2012, 171 pages

The alkali metals sodium and potassium enter the blast furnace with the charge, which consist of ore, pellets, sinter, flux, and coke, and leave with the flue gases and slag. A circulating load of alkalis is present in the heart, bosh, and stack of the furnace, and the concentration of sodium and potassium in these regions is consequently much higher than would be expected from the amounts introduced. The high concentration of these metals may lead to erratic movement of the burden, causing severe operating problems and reducing the length of a furnace campaign by promoting failure of refractories and formation of scaffolds on the furnace walls.

Under the prevailing conditions, with high slag basicity and high heart temperature, compounds of alkali metals, even existing in charge metaterials in low concentrations, can accumulate in the blast furnace very quickly.

A lot of effort has been made to establish a “safe” range of alkali loading for a set of operational conditions. It has also been noticed that one range found suitable for one blast furnace might not be suitable for another.

Scaffolds can cause hanging that originates when the burden, on its way down, meets a resistance so great that the movement of the burden stops. The hanging can burst, and the material will then fall down, since a hole has been created below the hanging. When slipping occurs, it is usually large quantities of material that falls down. These slips causes the furnace to work irregular, and it also results in a irregular gas distribution and pig iron analysis, as well as lowered productivity, increased coal consumption and sometimes a substantially lowered temperature in the lower parts of the furnace. Further, tuyeres can be damaged.

In this study, preventing methods of the scaffolding by removal of alkalis through the slag are analyzed and the other scaffold inducing factors are studied. Also with this study, the effects of the physical properties of the raw materials (sinter ore, metallurgical coke etc.) and gas distribution in the furnace are investigated. Moreover, a comparison of the Kardemir A.Ş. blast furnaces is made in respect of scaffold formation where No 3. furnace is the worst in suffering scaffolding where sometimes, dynamites are used to remove them. It should be noted that, total alkali entrance to Kardemir A.Ş. is about 5-6 kg which is too high and over the common allowable rate of 2 kg.

Key Word : Blast furnace, alkali, scaffold.

Science Code : 915.1.194

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmalarım sırasında verdikleri destekten dolayı değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Sadettin ŞAHİN'e ve Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Aynı zamanda başta 3 no'lu Yüksek Fırındaki personel olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Anne ve Babama, Sevgili Eşime ve kızlarım Fatma İkbâl ile Emine Nil'e manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	5
YÜKSEK FIRIN	5
2.1. YÜKSEK FIRIN VE ÇALIŞMA PROSESİ.....	5
2.2. YÜKSEK FIRINDAKİ REAKSİYONLAR VE ERGİME.....	8
2.2.1. Ergime Sahası	9
2.2.2. Alt Bölge Reaksiyonları	9
2.2.2.1. Tüyer Seviyesi.	10
2.2.3. Karbon Alma Sahası.....	12
2.2.4. Redüksiyon Sahası.....	12
2.2.5. Orta Bölge Reaksiyonları	12
2.2.6. Isınma Sahası	13
2.2.6.1. Üst Bölge Reaksiyonları	13
2.3. SIVI METALİN BİLEŞİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	14
2.3.1. Demirde Karbon Erirliği (Çözünürlüğü)	14
2.3.2. Demirde Silisyum Dengesi (Silis Dağılımı).....	15
2.3.3. Demirde Manganez Dengesi (Manganez Dağılımı).....	17
2.3.4. Fosfor Dağılımı.....	19

	<u>Sayfa</u>
2.3.5. Kükürt Dağılımı	19
2.4. KARDEMİR A.Ş. YÜKSEK FIRINLARI.....	21
2.4.1. 1 No'lu Yüksek Fırın	21
2.4.2. 2 No'lu Yüksek Fırın	22
2.4.3. 3 No'lu Yüksek Fırın	22
2.4.4. 4 No'lu Yüksek Fırın	24
2.5. YÜKSEK FIRIN YARDIMCI BİRİMLERİ.....	26
2.5.1. Sobalar	26
2.5.2. Şarj Tesisleri	26
2.5.3. Gaz Temizleme	27
2.6. CEVHER HAZIRLAMA VE HARMANLAMA TESİSİ.....	27
2.7. SİNTER TESİSİ.....	28
BÖLÜM 3.	30
HAMMADDELER	30
3.1. CEVHER.....	30
3.2. DEMİR CEVHERLERİN AGLOMERASYON YÖNTEMLERİ.....	31
3.2.1. Sinterleme ve Sinter.....	31
3.2.1.1. Demir Cevherlerin Sinterlenmesi ve Verimliye Olan Etkileri.....	33
3.2.2. Pelet	34
3.2.2.1. Peletlerde Aranılan Özellikler.....	35
3.3. YÜKSEK FIRINLARA ŞARJ EDİLECEK CEVHERLERDE ARANAN ÖZELLİKLER VE VERİME OLAN ETKİSİ	35
3.3.1. Fiziksel Özellikler.....	36
3.3.1.1. Tane Büyüklüğü.....	36
3.3.2. Minerolojik Özellikler.	36
3.3.3. Cevherlerin Porozitesi(Gözenekliği)	37
3.3.4. Şarjdaki Parça Cevherin Mukavemeti ve Isıya Dayanıklılığı.....	37
3.3.5. Cevherlerin Yüksek Fırındaki Şişme Özellikleri ve Fırına Olan Etkisi .	38
3.4. DEMİR CEVHERİ İÇİNDE BULUNAN EMPÜRİTELER	38
3.4.1. Zararlı Empüriteler	39
3.4.1.1. Silisyum Dioksit.....	39

	<u>Sayfa</u>
3.4.1.2. Alüminyum Oksit.....	39
3.4.1.3. Kükürt	40
3.4.1.4. Kurşun.....	40
3.4.1.5. Fosfor.....	41
3.4.1.6. Titanyum	41
3.4.1.7. Bakır.....	42
3.4.1.8. Krom	42
3.4.1.9. Nikel.....	43
3.4.1.10. Arsenik.....	43
3.4.1.11. Kalay.....	43
3.4.2. Faydalı Empüriteler	43
3.4.2.1. Kireçtaşı.....	43
3.4.2.2. Magnezyum Oksit.....	44
3.4.2.3. Manganez Oksitler.....	44
3.5. CURUFLAŞTIRICILAR	45
3.5.1. Kireçtaşı.....	45
3.5.2. Çakmaktaşı.....	45
3.5.3. Dolomit.....	45
3.6. METALURJİK KOK	45
3.6.1. Kömür.....	47
3.6.1.1. Kömürlerin Sınıflandırılması.....	48
3.6.2. Koklaşma	48
3.6.3. Kokta Aranılan Özellikler ve Verimliliğe Olan Etkileri.....	50
3.6.3.1. Kokun Fiziksel özellikleri.....	51
3.6.3.2. Kokun Kimyasal Özellikleri	52
3.7. KARDEMİR A.Ş. KOK FABRİKALARI.....	55
3.7.1. Kömür Hazırlama Tesisi.....	55
3.7.2. Kok Fırınları	55
3.7.3. Kok Kırma Eleme Tesisi	56
BÖLÜM 4.	58
ALKALİLER	58

	<u>Sayfa</u>
4.1. ALKALİLER(K_2O+Na_2O).....	58
4.1.1. Alkali Metaller ve Bileşikleri	59
4.2. ÇİNKO (Zn)	62
4.3. ALKALİ HAREKETİ	64
4.4. ALKALİLERİN YÜKSEK FIRINA OLAN ETKİLERİ.....	67
4.4.1. Kok Sarfiyatındaki Artma Nedenleri	67
4.4.2. Tuğlaların Tahrip Edilmesinin Nedenleri	68
4.4.3. Fırının Çalışma Temposunu Bozma Nedenleri	68
4.4.4. Sintere Etkisi	70
4.4.5. Pelete Etkisi	70
4.5. YÜKSEK FIRINLARA ALKALİ GİRDİSİ VE ALKALİ YÜKÜNÜN AYAR METODLARI.....	70
4.5.1. Yüksek Fırında Alkali Yükünün Ayarlanması	72
BÖLÜM 5.	74
SKAFFOLD OLUŞUMU	74
5.1. SKAFFOLD KONTROLÜ	78
5.1.1. Kontrol Metodları	78
5.2. SKAFFOLD OLUŞUMUNU TETİKLEYEN FAKTÖRLER	80
5.2.1. Malzeme Dağılımı ve Şarj	80
5.2.1.1. Şarj Sırası	84
5.2.1.2. Normal Şarj	84
5.2.1.3. Tersine Şarj.....	85
5.2.1.4. Karışık Şarj.....	85
5.2.1.5. Ayrı Şarj	85
5.2.1.6. Ağırlık Değişimi.....	85
5.2.2. Kok Özelliklerinin Yüksek Fırın Prosesine Etkileri ve Önemi	86
5.2.2.1. Yüksek Fırında Kokun Rolü	87
5.2.2.2. Fiziksel Özellikleri	87
5.2.2.3. Yüksek Fırında Kok Hareketi.....	90
5.2.2.4. Yüksek Fırında Kok Kırılması	91
5.2.2.5. İyi ve Kalitesiz Kok Karşılaştırılması.....	92

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6.	95
FIRIN DÜZENSİZLİKLERİ VE KONTROLLERİ.....	95
6.1. KANALLAMA	95
6.2. KABUK OLUŞUMU	96
6.2.1. Kabuk Oluşum Kontrolü	97
6.3. ASKILANMA	97
6.3.1. Kabuk ve Skaffoldlar	98
6.3.2. Kenardan Fazla Yükleme	98
6.3.3. Sıcak Askılanma	98
6.3.4. Soğuk Askılanma.....	99
6.4. KAYMA	99
6.4.1. Cevher Kayması.....	101
6.5. HAZNENİN TIKANMASI.....	101
6.6. HAZNENİN SOĞUMASI	102
6.7. TÜYERLERİN YANMASI	103
6.8. KOKUN KİRLİLİĞİ	104
BÖLÜM 7.	106
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	106
7.1. YÜKSEK FIRINDA ALKALİ REAKSİYONLARI	106
7.2. ALKALİ DOLAŞIMI	111
7.3. ALKALİ ŞARJ MALZEMELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	115
7.3.1. Alkalilerin Demirli Şarj Malzemeleri Üzerine Etkileri	115
7.3.2. Alkalilerin Kok Üzerine Etkileri	117
7.4. ALKALİLERİN REFRAKTERLER ÜZERİNE ETKİLERİ	120
7.5. ALKALİ BİRİKİMİ VE SKAFFOLD (DUVAR) OLUŞUMU	121
7.6. ALKALİ KONTROL YÖNTEMLERİ	123
7.7. ALKALİLERİN CURUFLA TASFİYESİ	125
BÖLÜM 8.	126
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	126

	<u>Sayfa</u>
8.1. KULLANILAN HAMMADDELER	126
8.1.1. Parça Cevher	126
8.1.2. Sinter	127
8.1.3. Pelet	127
8.1.3.1. Yerli Pelet	127
8.1.3.2. İthal Pelet	127
8.1.4. Kireçtaşı	127
8.1.5. Metalurjik Kok	128
8.2. KULLANILAN CİHAZ, ALET VE MALZEMELER	128
8.2.1. Alkali Girdisi ve Çıktısının Tespitinde Kullanılan Cihaz	129
8.2.2. 3 Nolu YF Tepe Ekipmanları	133
8.2.2.1. Küçük Külâh (Çan)-Büyük Külâh (Çan)	133
8.2.2.2. Distribütör Sistemi	134
8.2.3. Metalurjik Kok Mukavemet Testlerinde Kullanılan Cihazlar	135
8.2.3.1. Micum Tambur Testi	135
8.2.3.2. Kok Reaktivite Tayini	136
8.2.4. Cevherlerin Elenmesinde Kullanılan Ekipmanlar.....	138
8.3. 3 NO'LU YÜKSEK FIRIN VERİLERİ.....	139
8.4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN YAPILIŞI	141
8.4.1. Alkali Girdisini Minimuma İndirmek İçin Uygulanan Metodlar	142
8.4.2. Demirli Malzemelerin ve Kok Kalitesinin İyileştirilmesi	142
8.4.2.1. Parça Cevherlerin Elenmesi.....	143
8.4.2.2. Metalurjik Kok Mukavemetinin Gaz Dağılımına Etkisi	145
8.4.3. Alkali Çıktısının Artırılması	146
8.4.3.1. Alkali Atımına Bazitenin Etkisi.....	147
8.4.3.2. Mn'ın Curuf ve Metale Dağılımı	148
8.4.4. Malzeme Dağılımının Kontrolü.....	151
 BÖLÜM 9.	 154
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	154
9.1. DUVAR SICAKLIKLARIN DEĞİŞİMİ.....	154
9.2. KOK TÜKETİMİNİN DEĞİŞİMİ.....	161

	<u>Sayfa</u>
9.3. FIRIN GEÇİRGENLİĞİNİN DEĞİŞİMİ.....	162
BÖLÜM 10.	165
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	165
KAYNAKLAR	168
ÖZGEÇMİŞ	171

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yüksek fırın kesiti	6
Şekil 2.2. Yüksek fırın yüksekliği boyunca gaz dağılımları ve üç ana bölgede oluşan kimyasal reaksiyonlar	11
Şekil 2.3. Pik demirde karbon çözünürlüğüne diğer maddelerin etkisi	14
Şekil 2.4. % 10 ve % 20 Al ₂ O ₃ içeren CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ curullarında bazikliğin fonksiyonu olarak curuf-metal arasında Si'un dağılımı.....	16
Şekil 2.5. Sıcaklığa ve bazikliğe bağlı olarak CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ -MnO curuflar ve grafitle doymuş demir arasındaki manganez dağılım dengesi	18
Şekil 2.6. Yüksek fırın tipi curuflar ve C'la doymuş demir arasındaki "S" dağılımı...20	
Şekil 2.7. Kardemir yeni 1 no'lu YF genel görünüşü	22
Şekil 2.8. Kardemir yeni 3 no'lu YF genel görünüşü	24
Şekil 2.9. Kardemir yeni 4 no'lu YF genel görünüşü	25
Şekil 3.1. Demir cevheri minarelleri	37
Şekil 3.2. Tüyerden Pb ve Zn'nun akması	41
Şekil 3.3. Plastik bölgenin fırın içindeki davranışı	50
Şekil 3.4. Kardemir kok fırınları	57
Şekil 4.1. Alkali oksitlerin oksijen potansiyel diyagramı	59
Şekil 4.2. Alkali siyanatların oksijen potansiyel diyagramı.....	62
Şekil 4.3. Yüksek fırında potasyum sirkülasyonu	65
Şekil 4.4. Alkali miktarının geçirgenliğe ve üretime etkisi	66
Şekil 4.5. Alkali miktarının kokun fiziksel özelliklerine etkisi	66
Şekil 5.1. Tipik skaffold oluşumu	74
Şekil 5.2. 3 No'lu yüksek fırında oluşmuş skaffold	76
Şekil 5.3. Potasyumun fırın duvarına yapışması.....	77
Şekil 7.1. Sodyum ve potasyum oksit, silikat ve karbonatlarının oluşum serbest enerjileri	107
Şekil 7.2. K ve KCN'nin dengedeki kısmi basınçları	109
Şekil 7.3. Siyanür oluşumunun standart serbest enerjileri	110
Şekil 7.4. Sodyum ve potasyum oksit, karbonat, silikat ve siyanürlerin standart serbest enerji değişimleri.....	111

Sayfa

Şekil 7.5. 1400 ve 1200 °K sıcaklıklarında K-O-C sistemi.....	113
Şekil 7.6. 1600 ve 1200 °K sıcaklıklarında K-O-C-N-SiO ₂ sistemi.....	114
Şekil 7.7. Yüksek fırında alkali dağılımının şematik gösterimi.....	115
Şekil 7.8. Amasaki No:1 yüksek fırın aşınma profili.....	121
Şekil 7.9. Kanada stelco hilton yüksek fırınında oluşan skaffoldun profili.....	123
Şekil 8.1. XRF cihazı	132
Şekil 8.2. 3 No'lu yüksek fırın skip vagoneti.....	134
Şekil 8.3. 3 No'lu yüksek fırın distribütör sistemi.....	135
Şekil 8.4. Kok reaktivite cihazı ve tamburu	137
Şekil 8.5. Cevher kırma-eleme tesisi	138
Şekil 8.6. Kalibre cevherin elenmemiş hali	144
Şekil 8.7. Cevherin elendikten sonraki hali	144
Şekil 8.8. Elenmiş cevherin stok sahasındaki görünüşü	145
Şekil 8.9. 2011 yılı CSR değerleri	146
Şekil 8.10. 2011 yılı M ₄₀ değerleri.....	146
Şekil 8.11. 3 No'lu YF 2010-2011 curuftaki alkali % 'nin curuf bazitesine göre değişimi.....	147
Şekil 8.12. Curuftaki K ₂ O ile Mn dağılımı arasındaki ilişki.....	148
Şekil 8.13. 3 No'lu Yüksek fırında 2011 yılı K ₂ O balansı.....	149
Şekil 8.14. 3 No'lu Yüksek fırında 2011 yılı CaO/SiO ₂	150
Şekil 8.15. 3 No'lu Yüksek fırında 2011 yılı sıvı hamdemirde kükürt oranı.....	150
Şekil 8.16. 3 YF 2011 Ocak-2012 mayıs kok sarfiyatı	150
Şekil 8.17. 3 No'lu Yüksek fırında 2011 yılı curuf hacmi.....	151
Şekil 8.18. 3 no'lu yüksek fırın küçük çanı üzerinde homojen olmayan cevher dağılımı.....	152
Şekil 8.19. 3 no'lu yüksek fırın küçük çanı üzerinde homojen cevher dağılımı.....	153
Şekil 9.1. 3YF 3.kat duvar sıcaklıklarını ölçen termokuplar	154
Şekil 9.2. 3YF 2.kat duvar sıcaklıklarını ölçen termokuplar	154
Şekil 9.3. 3YF 1.kat duvar sıcaklıklarını ölçen termokuplar	155
Şekil 9.4. 2007 yılında 3 No'lu yüksek fırında oluşan skaffold.....	155
Şekil 9.5. Dinamit patlatma öncesi 3.kat duvar sıcaklıkları.....	157
Şekil 9.6. Dinamit patlatma sonrası 3.kat duvar sıcaklıkları.....	158
Şekil 9.7. 2011 yılı 3.kat duvar sıcaklıkları	160

	<u>Sayfa</u>
Şekil 9.8. Kok tüketiminin değişimi162
Şekil 9.9. Distribütör açılarının +120/+120/-120/-120/0/0 olduğu durumdaki hava debisi-hava basıncı ilişkisi.....	.164
Şekil 9.10. Distribütör açılarının +120/-120 olduğu durumdaki hava debisi-hava basıncı ilişkisi164

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Kardemir yüksek fırınlarının teknik özellikleri	25
Çizelge 4.1. Fırına şarj edilen malzeme ile giren alkalilerin yüksek fırındaki dağılımı.....	71
Çizelge 4.2. Alkalilerin yüksek fırın işletmeciliği esnasında biriktiği bölgeler.....	72
Çizelge 5.1. Kardemir 3 no'lu yüksek fırında oluşan skaffoldun analizi	76
Çizelge 8.1. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan parça cevherin ortalama kimyasal analiz değerleri	126
Çizelge 8.2. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan sinterin ortalama kimyasal analiz değerleri.....	127
Çizelge 8.3. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan yerli peletin ortalama kimyasal analiz değerleri.....	127
Çizelge 8.4. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan ithal peletin ortalama kimyasal analiz değerleri.....	127
Çizelge 8.5. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan kireçtaşının ortalama kimyasal analiz değerleri.....	127
Çizelge 8.6. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan metalurjik kokun ortalama kimyasal analiz değerleri.....	128
Çizelge 8.7. Kullanılan programların Kv/Ma değerleri	133
Çizelge 8.8. 2011 hammadde tüketim değerleri	139
Çizelge 8.9. 3 YF baca tozu analizleri	139
Çizelge 8.10. 2010 3 no'lu yüksek fırın verileri	140
Çizelge 8.11. 2011 3 no'lu yüksek fırın verileri	140
Çizelge 8.12. 2011 maden analizleri	140
Çizelge 8.13. 2011 curuf analizleri	141
Çizelge 8.14. 2011 3 no'lu yüksek fırın alkali girdileri	142
Çizelge 8.15. 2011 yılı aylık K ₂ O girdi miktarı	142
Çizelge 9.1. 2007 yılı 3 YF termokupl değerleri	156
Çizelge 9.2. Dinamit öncesi 3.kat duvar sıcaklıkları	157
Çizelge 9.3. Dinamit sonrası 3.kat duvar sıcaklıkları	158
Çizelge 9.4. 2011 yılı 3 YF termokupl değerleri	159
Çizelge 9.5. 2011 yılı 3.kat termokupl değerleri.....	159

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 9.6. Kok tüketiminin değişimi	161
Çizelge 9.7. Hava miktarı-basınç değişimi	163

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Fe	: Demir
C	: Karbon
S	: Kükürt
°C	: Santigrat derece
P	: Fosfor
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
ΔG^0	: Standart serbest enerji değişimi
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m ³	: metreküp
Si	: Silisyum
Mn	: Manganez
K	: Potasyum
Na	: Sodyum
Zn	: Çinko
Pb	: Kurşun
atm	: atmosfer basıncı
P _{co}	: Karbonmonoksit basıncı

KISALTMALAR

- TSM : Ton sıvı metal
CSR : Reaksiyon sonrası kok mukavemeti
CRI : Kok Reaktivite katsayısı
M₄₀ : Kokun mukavemet değeri
M₁₀ : Kok tozlaşma indeksi
C : Cevher
K : Kok
L : Kireçtaşı
F : Curuflaştırıcılar
K.B. : Küçük bazite (CaO/SiO₂)
B.B. : Büyük bazite [(CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃)]
ETA : CO kullanım yüzdesi=CO₂/(CO₂+CO)*100
cal : Kalori
A.B.D : Amerika Birleşik Devletleri
TTK : Türkiye Taşkömürü Kurumu
RDI : İndirgenme indeksi
B/A : Bazik Oksit/Asit Oksit
JIS : Japonya endüstriyel standartları
ASTM: The american society for testing and materials
PLC : Programlanabilir lojik kontrolör
T : Sıcaklık
XRF : XRay Fluorescence
YF : Yüksek fırın
TCP : Termokupl

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir-Çelik sektörü gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin milli gelirlerinde önemli bir paya sahiptir ve kişi başına çelik tüketimi ülkelerin gelişmişliğinin bir göstergesidir. Gelişmiş ülkelerde çelik tüketimi 400-600 kg/kişi-yıl civarında olup, ülkemizde bu rakam 200 kg/kişi/yıl dolayındadır [1].

Dünya çelik üretimi her yıl yaklaşık 700 milyon ton civarında gerçekleşmektedir. Bu üretimin yaklaşık % 60'ı yüksek fırınlar ve çelikhane vasıtası ile geri kalan % 40'ı hurdaların eritilmesi ile elde edilmektedir. Hurda kaynağının da yüksek fırın olduğu göz önüne alınırsa çelik üretiminin %99'u yüksek fırınlardan elde edilmektedir [2].

Demir cevherlerinden demir tenörü yüksek olanları, yüksek fırına doğrudan şarj edilebildiği gibi, tenörü düşük, empürite oranları yüksek olanları ise çeşitli cevher zenginleştirme işlemlerinden sonra, gerekirse aglomera edilerek kullanılırlar. Demir cevheri genel anlamda belirli demir tenörüne sahip, bileşiminde işletmecinin kabul edebileceği oranlarda başka mineraller ve elementleri içeren demir mineralleri bileşiği olarak tanımlanabilir. Yüksek fırında, demir cevherlerinden başlayarak ham demir üretiminin gerçekleştirilmesinde üretim hızı, üretim verimi, ürün kalitesi ve ekonomiklik gibi önemli unsurlar kullanılan hammaddelerle, özellikle de üretimin temel girdisi olan demir cevherlerinin kalitesi ile yakından ilgilidir. Demir cevherlerinin yüksek fırın koşullarında istenen fiziksel özelliklere (boyut, porozite, mukavemet v.s) sahip olması kaydıyla, demir tenörü ne kadar yüksek ve empürite, oranı ne kadar düşükse, yüksek fırından elde edilecek verim ve ekonomi de aynı şekilde yüksek olmaktadır. Bir madenin cevher olarak değerlendirilebilmesi için işletilmesi ve kullanılmasının ekonomik olması gerekmektedir. Demir çelik sektörünün ana hammaddesi demir cevheri olup çelik sanayiinde kullanılan demir cevherlerinin harman tenörünün yaklaşık en az % 57 Fe olması arzu edilmektedir.

Geçmişte, yüksek fırında aranan özelliklere sahip demir cevheri doğrudan maden ocaklarında yapılan üretimle karşılanmaktayken günümüz teknoloji dünyasında demire olan gereksinimin hızla artması ve yüksek fırına doğrudan yüklenebilir özellikteki cevherin giderek azalması, düşük tenörlü cevherlerin de değerlendirilmesi gereğini zorunlu kılmıştır [3].

Üretilen cevherler uygun kimyasal bileşime sahip olması durumunda sadece tane boyu özellikleri ayarlanarak ocaktan üretildiği şekilde yüksek fırınlarda doğrudan kullanılabilirdiği gibi, demir içeriği düşük olan ve empürite içeren cevherler, cevher zenginleştirme işlemleri uygulayıp uygun kimyasal özelliklere getirilerek sinter ya da pelet yapıldıktan sonra da kullanılmaktadır [3].

1985 yılında Türkiye'nin ilk demir cevheri zenginleştirme tesisi, 1986 yılında da pelet tesisi devreye alınmıştır. Bu tesislerde 1985 yılından bu yana yaklaşık %55-57 Fe tenörlü manyetit demir cevheri zenginleştirilerek, sinter tesisleri için % 63 Fe tenörlü sinterlik konsantre, yüksek fırınlar için ise % 67 Fe tenörlü pelet üretilmektedir.

Türkiye'nin işletilebilir demir cevheri rezervi yaklaşık 137 milyon ton civarındadır. Tenörleri %19-54 Fe arasında değişen sorunlu demir cevheri, görünür ve muhtemel rezerv potansiyeli ise yaklaşık 1 milyar tonu bulmaktadır. Ancak bu cevherler entegre tesislerin istemedikleri bazı safsızlıkları içerdiğinden bu yatakların büyük çoğunluğu bugün için atıl olarak bekletilmektedir. Türkiye'nin yıllık ortalama demir cevheri üretim miktarı yaklaşık 5 000 000 ton civarındadır. 1985 yılında yapılan yatırımlardan sonra bu sektörde önemli bir yatırım yapılmaması ve sektörün büyük oranda ithalata yönelmesi sonucu özellikle son yıllarda cevher üretiminde önemli bir azalma izlenmektedir.

Türkiye demir cevheri üretiminde önemli sorunlardan birisi, yüksek tenörlü, doğrudan beslemeye uygun ve işletilebilir demir cevheri rezervinin sınırlı olmasıdır. Bu durumda yüksek tenörlü demir cevheri yataklarında rezerv geliştirme çalışmalarının yanı sıra düşük tenörlü demir cevheri yataklarının zenginleştirilebileceği tesislerin de kurulması gerekmektedir.

Ülkemizdeki işletilebilir demir cevheri rezervinin tüketim hızına paralel olarak önümüzdeki 20 yıl içerisinde tükeneceği bildirilmektedir. Potansiyel rezervler ile sorunlu cevher yataklarının işletilebilmesi zorunlu bir hal almaktadır. Demir cevherleri üzerinde rezerv, kalite, verimlilik ve maliyetler konusunda iyileştirme sağlanmadığı sürece yüksek fırınların hammaddesi olan demir cevherinde dışa bağımlılık artarak devam edecektir. Bu nedenle demir cevheri ile ilgili ülkemiz çıkarları doğrultusunda yerli kaynakların kullanılabilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Demir cevherlerinde bulunan empüriteler, yüksek fırındaki indirgeyici şartlar altında farklı davranışlar gösterirler. Al_2O_3 , CaO, MgO gibi empüritelerin bir kısmı yüksek fırın koşullarında indirgenmedikleri için doğrudan curuf bünyesine geçerler. P, Cu, Ni gibi empüriteler tamamen, Si, Ti, Mn, Cr, V gibi empüriteler ise kısmen indirgenerek sıvı ham demir bünyesinde yer alırlar ve belirli sınırların üzerinde ham demir kalitesini olumsuz yönde etkilerler. Bu gruptaki empüritelerden Cu, Ni, Co, Sn, Pb daha sonraki çelik yapım prosesleri esnasında da giderilememekte ve giderek artan miktarlarda çelik bileşiminde yer almaktadırlar. Alkali (Na, K) bileşikleri yüksek fırın koşullarında kısmen, ZnO ise tamamen indirgenir. Ancak bunların indirgenmesi sonucu açığa çıkan ürünler buharlaşıp yoğunlaşarak fırın içerisinde dolaşırlar ve fırının çalışma düzenini bozarlar.

Alkaliler yüksek fırına başlıca, kompleks silikatlar, kok külü veya cevher içinde gang olarak girer ve refrakterler tarafından absorbe olanların dışında üst kısımdaki gazların içinde asılı taneler olarak ya da cürufa geçerek fırını terk ederler. Redükleme potansiyeli ve sıcaklığı en yüksek tüyer seviyesine yakın yerlerde olup, yüksek fırının üst bölgelerine doğru her ikisi de yavaş yavaş azalır. Alkaliler üretilen pik demir bünyesine geçmez ancak, fırın içinde sirküle ederek, fırın rejiminin bozulmasına neden olurlar.

Mevcut şartlarda Kardemir Yüksek Fırınlarında kullanılan demirli cevherlerin (kalibrelik cevherler ve sinterlik cevherler) neredeyse tamamı yerli cevherlerden temin edilmektedir. Sadece bir miktar pelet yurt dışı kaynaklardan temin edilmektedir. Yerli demir cevherlerinin Yüksek Fırın işletmeciliği açısından en

büyük dezavantajı genellikle yüksek alkali içermeleridir. Yüksek alkali girdisiyle çalışan Kardemir yüksek fırınlarında skaffold oluşumu ile mücadele etme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Yüksek fırında alkali problemleri iki şekilde çözülebilir; Yüksek oranda alkali içeren cevherlerin, düşük alkali içeren cevherlerle harmanlanması, alkalisi yüksek cevherlerin, cevher hazırlama yöntemleri ile alkali oranlarının düşürülmesi, kok oranının düşürülmesi veya alkalilerin konsantreden kimyasal yolla giderilmesi gibi işlemlerle yüksek fırına alkali girdisi en aza indirilebilir.

Yüksek alkali girdisi ile çalışılma durumunda ise yüksek fırın parametreleri değiştirilerek örneğin curuf hacminin artırılması, curuf bazikliğinin düşürülmesi, fırın sıcaklığının ve basıncın kontrol edilmesi ile yüksek fırından curuf ile alkali giderimi artırılabilir [1].

Kardemir, Metalurjik Kokun hammadesi olan koklaşabilir kömürün yaklaşık % 40'ı yurt içi kaynaklardan, % 60'ı ise yurtdışı kaynaklardan temin edilmektedir. Yurt içi kömürlerde, kükürt düşük olmakla birlikte yüksek kül içerdiklerinden yurt dışı koklaşabilir kömürlerle harman yapılmaktadır.

Yüksek Fırınlarda demir cevherlerinden sıvı ham demir eldesi için kullanılan ana enerji kaynağı metalurjik koktur. Metalurjik Kok enerjinin dışında Yüksek Fırın prosesi açısından iki önemli görevi vardır. Birincisi gaz ve sıvı geçirgenliğini sağlar. İkincisi de fırın içerisindeki yükü taşır. Her ikisi ancak uygun ebat ve mukavemetle elde edilir. Düzgün bir fırın rejimi için kok mukavemeti çok önemli bir parametredir. Yeterli mukavemetli kokla çalışılması fırınlarda skaffold oluşumunun önlenmesine ve skaffold oluşmuşsa skaffoldu temizlemeye yardımcı olur. Uygun olmayan metalurjik kokla çalışmak fırın düzensizliklerine yol açar. Bunun sonucunda skaffold oluşumuna katkı sağlanmış olunur.

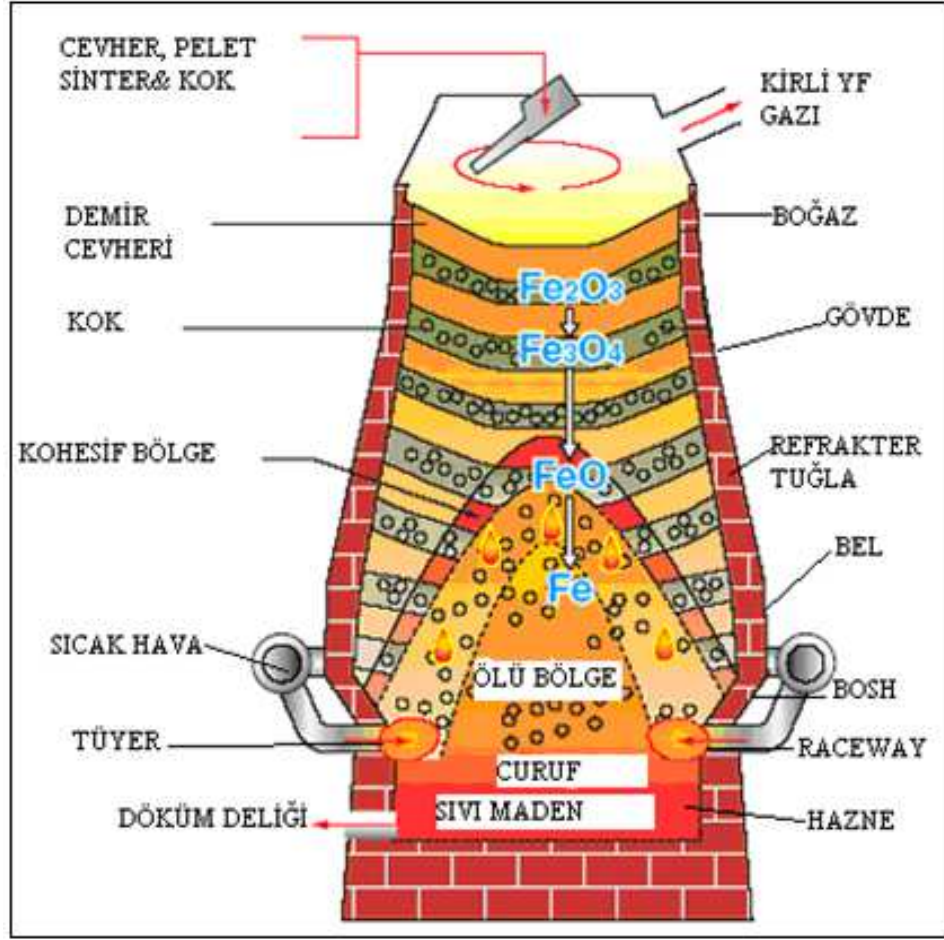
BÖLÜM 2

YÜKSEK FIRIN

2.1. YÜKSEK FIRIN VE ÇALIŞMA PROSESİ

Yüksek fırın, demir cevheri içerisindeki demir oksitlerden çelik üretiminin ilk adımındır. Yüksek fırınlar, demir cevheri, sinter ve pelet gibi demirli malzemelerin cüruf yapıcı katkı malzemeler ile harmanlanarak kok yardımıyla ergitilmesi sonucu sıvı maden elde edildiği tesislerdir. Yüksek Fırın, demir cevherlerinin oksitlerinden çeşitli kimyasal reaksiyonlarla sıvı maden haline getirildiği termo kimyasal bir prosestir. Bu proseste elde edilen sıvı maden kaliteli çelik üretimi için kullanılırken, reaksiyonlar sonucu atık madde olarak açığa çıkan curuf da çimento fabrikalarında hammadde olarak kullanılabilir. Ayrıca reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gaz, temizlenerek kullanılmaktadır. Yüksek fırın gazı temizleme prosesi sırasında yan ürün olarak çıkan, yüksek oranda Fe ve C içeren baca tozları ise sinter prosesinde kullanılmak üzere, sinter tesisi ya da harmanlama tesisine sevk edilir.

Yüksek fırın kesiti şekil 2.1'de gösterilmiştir. Silindirik tepe kısmı boğaz olarak adlandırılır ve hemen altında gövde vardır. Gövde, fırının beline kadar çap ile birlikte genişler. Çap, bosh denilen kısımda azalır ve en alttaki hazne kısmı ile birleşir. Erimiş maden ve curuf bu kısımda toplanır. Üst kısımdaki açıklık, yükselen gazlarla redüklenmek üzere yaklaşık 25 m'lik bir mesafeyi katedecek olan malzemenin şarj edilmesini sağlamak amacıyla çanlı sistem veya diğer yeni sistemler (çansız tepe ekipmanı) ile donatılmıştır. Gövde kısmı ise böylece toplam yüksekliğinin 3/5 oranı kadar genişler. Gövdenin genişleyen kısmı termal olarak genişlemiş gazın atılması ve şarj edilen malzemenin düzgün bir şekilde inmesini sağlar. Fırının en geniş kısmı silindirik olan belidir ve dolayısıyla curufun ve metalin ergimesi ve sıvılaşması bu bölgede başlar. Bosh, ters bir koni şeklindedir. Tabanı bel ile, tepesi ise hazne ile birleşir [4].



Şekil 2.1. Yüksek fırın kesiti [5].

Hava, su soğutmalı tüyerler ile hazne civarından içeri üflenir ve 1,5-2,5 atm basınç ile püskürtülür. Hazne kısmına ise 150-300 m/s hız ile girer.

Fırının profili yani şekli ve boyutları; çalışma metodlarına, üflenen havanın sıcaklığına ve kullanılan hammaddeye bağlıdır. Gövdenin, belly'nin Bosh'un ve açısının genişliği, fırının içindeki malzemenin düzgün bir şekilde inmesine veya üflenen havanın mümkün olduğu kadar düzgün dağılımına yardımcı olacak şekilde seçilmelidir. Modern kapasiteli fırınlarda kısa ve geniş bosh'a doğru eğilim vardır. Sıcak madenin alındığı delik (döküm deliği) hazne tabanının 50-150 cm; curufun alındığı delik döküm deliğinin 1 m yukarısındadır. Günümüzdeki genel uygulamada sıvı curuf, sıvı maden ile birlikte alındığından, fırınlarda curuf deliği bulunmamaktadır ya da kullanılmamaktadır. Körükten gelen soğuk hava sobalarda ısıtılarak, simit boru vasıtasıyla tüyerlere dağıtılır [4].

Fırının tepesinde yüksek fırın gazının atmosfere atılmasını önlemek ve düzgün dağılımı sağlamak amacıyla konulmuş tepe ekipmanı vardır. Küçük ve büyük çanı içerir. Büyük çan dolunca yavaş yavaş fırına yükü döker. Şarj edilen malzeme düzgün bir şekilde dağılmalıdır. Bu, yükselen gazların düzgün dağılımı için gereklidir.

Dağılım modeli, kullanılan malzemenin büyüklüğüne ve diğer fiziksel özelliklerine, çanın çapına ve açısına ve şarj yüksekliğine bağlıdır. Malzeme fırın içerisine şarj edildikten sonra yığın oluşturduğundan malzemenin düzgün şarj edilmesi verimlilik, yakıt tasarrufu ve fırının düzgün çalışması yönünden çok önemlidir.

Fırının tuğla örgüsü ateşe dayanıklı tuğlalardan oluşur. Bosh ve belly gibi alt ve daha sıcak kısımlar zengin alumina ateş tuğlaları ile kaplanmalıdır. Üst bölgelerde ise tuğlaların sadece aşınmaya karşı dayanıklılık göstermeleri yeterlidir. Isıl olarak fırının en hassas kısmı haznedir ve hazne tabanı yüksek alüminyum silikatlı veya karbon tuğlalar ile örülür. Tuğla ömrü, tepeden hazneye kadar döşenmiş soğutma plakaları, hazne soğutma suları ve/veya taban soğutma havası ile artırılır [6].

Şarj malzemelerinin arasında tüyerlerin seviyesine kadar katı kalan tek madde koktur. Proses için gerekli ısıyı sağlaması ve redükleyici olmasının yanı sıra kok; sıcak maden ve curufun sıvı halde olduğu bosh bölgesinde mekanik mukavemet sağlar. Maden ve curuf hazneye doğru kok parçacıklarının boşluklarından akar. Düşük kok oranı bazik sinter ve pellet kullanımı ve yüksek hava sıcaklığı ve düzenli gaz dağılımından elde edilir [5].

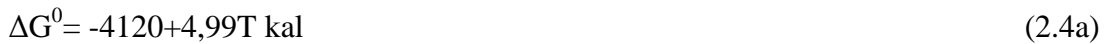
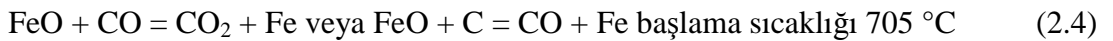
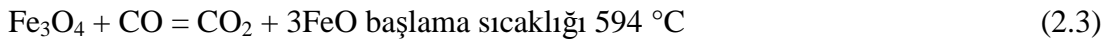
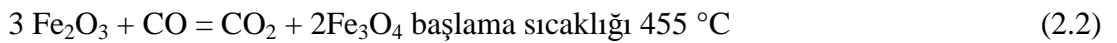
Yüksek Fırın, 20-30 m yüksekliğinde içi ateşe ve ergiyen maddelerin etkilerine dayanabilen, tuğlalarla örülmüş ve tersine kapatılmış iki kesik koni şekline benzeyen fırın olarak tarif edilebileceği gibi, üst kısmında oksitli cevher, flaks malzeme ve kok şarj edilen refrakter tuğlalı basınç odası şeklinde de tanımlanabilir. Fırına yüklenen malzeme yukarıdan aşağıya indikçe ısı nedeniyle genleşeceğinden, fırın gövdesi aşağıya genişleyecek şekilde yapılmıştır [4].

Yüksek fırınların iç hacmi genellikle 250-2500 m³ arasında bulunmaktadır. Ortalama olarak 1 m³ fırın hacmi için 24 saatte 1,5-3 ton ham demir elde edilmektedir. 1 ton ham demir elde etmek için, ortalama 450-650 kg civarında kok ilave etmek gerekmektedir. 1 ton kokun yanması için fırına verilen hava oksijen zenginleştirme oranına bağlı olarak yaklaşık 2000-3000 m³tür [7,8].

2.2. YÜKSEK FIRINDAKİ REAKSİYONLAR VE ERGİME

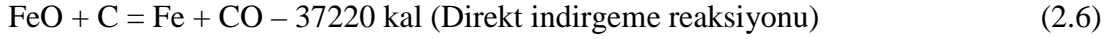
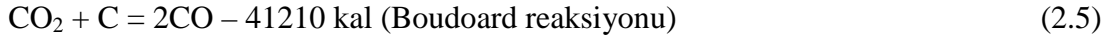
Yüksek fırına demir oksit halinde giren cevher, yüksek ısı karşısında oksijen ve demire ayrılarak oksijeni karbonla birleşip CO ve CO₂ gazı halinde yukarı yükselir. Demir de erimiş olarak altta toplanır. Yüksek fırında redüksiyonun tam olabilmesi, yani cevherdeki oksijenin tamamının ayrılabilmesi için, fırına gerekli olan miktardan fazla karbon ilave edilir. Bu şekilde arta kalan bir kısım karbon da erimiş haldeki madene karışır. Fırına alttan giren hava ve fırın içinde ayrılan gazlar yukarı yükseldikçe reaksiyon değiştiğinden, fırın içindeki reaksiyon sahalarını da alttan yukarı doğru ayırmak daha uygun olacaktır [6].

Yüksek fırınlar ters akımlı bir prosestir. Katılar yukarıdan aşağıya inerken gazlar da aşağıdan yukarıya çıkar. Sıvı maden eldesi kısaca, demir oksitlerden Hematit (Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄) ve wüstit (FeO) seri reaksiyonlar sonucunda oksijenin uzaklaşmasıyla demirin yalnız kalmasıdır. Fırın içerisinde kok, tüylerden üflenen sıcak havanın oksijeni ile reaksiyona girerek demirli malzemeleri indirgeyen karbon monoksit gazını (CO) oluşturur. Oluşan CO demirli malzemeleri redüklemek için gereklidir.



Demir oksit saflaşma reaksiyonlarından geçer, ilk önce malzemelerin bünyesinde bulunan rutubet gider, bu işlem malzemelerin fırına şarj edildikten sonra fırın üst

bölgelerinde fırını terk etmekte olan gazın sıcaklığı ile olur. Sıcaklığın 1000 °C'ı aştığı herhangi bir bölgede redüklenmemiş FeO mevcut ise, reaksiyon sonucu açığa çıkan CO₂ aşağıdaki reaksiyon gereği süratle karbon tarafından indirgenir.



Bu prosesten sonra malzemelerde yumuşama başlar, bu işlemde fırının orta bölgelerinde oluşur ve sıcak maden ve cüruf oluşmaya başlar. En son olarak sıvılaştan demir ve cüruf, koklar arasından süzülerek hazneye iner. Cüruf, fırın içerisindeki sıcaklıkta ergir. Fırının tabanında cüruf, kendinden daha yoğun olan sıvı demirin üzerinde yüzer. Fırının kenarında açılan oluklardan sıvı demir ve cüruf ayrı ayrı alınır [1].

2.2.1. Ergime Sahası

Erimenin olduğu bu kısma, ergime sahası adı verilir. Fırındaki kok kömürü, tüyerlerden giren sıcak havanın oksijeni ile birleşerek bütün karbonu yakarak karbondioksit oluşturur. Biraz yükselen CO₂ gazı tekrar kızgın koka rastlayacağından onun karbonunu alıp karbonmonoksit (CO) haline geçer. Altan yukarı yükselmeye çalışan bu (CO) karbonmonoksit gazı demir cevheri içindeki demir oksidin redüksiyonunu sağlar. Bu kısmın sıcaklığı ortalama 1700 °C' dir [7].

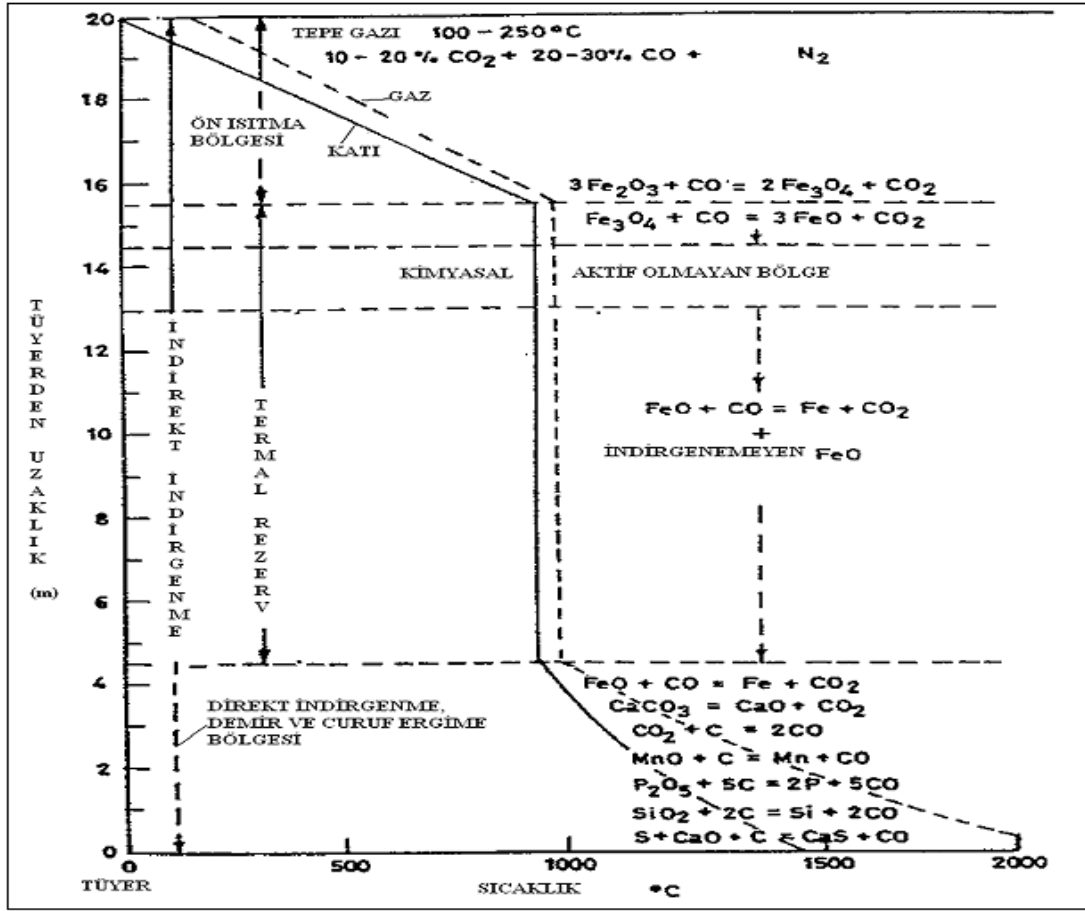
2.2.2. Alt Bölge Reaksiyonları

Alt bölge ve ergime bölgesi tüyer seviyesinden 3.5 metre yukarıya doğru uzanır. Bu bölgede erimiş malzemenin sıcaklığı 1400–1450 °C'ye ulaşır ve gaz sıcaklığı 800–1000 °C'ye kadar düşer. Kokun tüyerler önünde yanması sonucu, haznenin çevresinde (tüyer önlerinde) sürekli olarak hava boşlukları (Raceway) oluşur. Böylece yanan kokun boşalttığı hacim nedeni ile şarj malzemeleri aşağı doğru hareket eder. Yanma bölgesinin şekli ve boyutu düzgün gaz dağılımı ve şarj malzemelerinin inişi için önemlidir. Sıcak havanın kinetik enerjisine bağlı olarak Şekil 2.3'te gösterildiği gibi fırında üç ayrı sıcaklık bölgesi vardır. Alt ve üst sıcaklık

bölgelerindeki toplam ısı ihtiyacı yükselen gazlardan sağlanır. Orta sıcaklık bölgesinde (800–1000 °C) çok az bir ısı transferi gerçekleşir ve bu bölgede sıcaklık yaklaşık sabittir. Bu bölgelerdeki reaksiyonlar aşağıda belirtilmiştir [9].

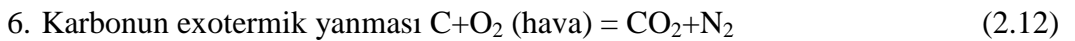
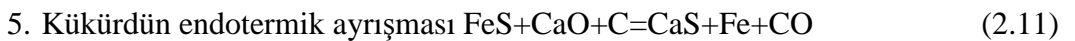
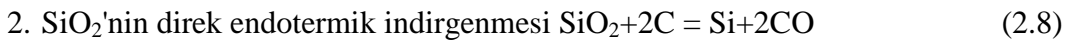
2.2.2.1. Tüyer Seviyesi

Yanma bölgesi derinliği 1-2 metre civarındadır. Böylece gerçek aktif alan haznenin etrafında 1–2 metre derinliğinde bir daire oluşturur ve raceway olarak adlandırılır. Raceway'in önünde Deadman bölgesi olarak adlandırılan sıkı dolgulu kok sütunu vardır. Bu kok sütunu ya haznedeki sıvı pikin üstünde yüzer ya da ulaşabildiği kadarı ile haznenin tabanına ulaşır. Bir miktar cüruf ve demir, kok yığınındaki boşluklara girerler ve döküm açıldığı zaman buradan fırını terk ederler. Flaks ile karışmış demir harici oksit malzemeler fırının bel bölgesinde kısmen erimeye başlarlar. Burada 1200 °C'de birbirine karışmayan iki faz oluşmaya başlar. Daha sonra bu iki sıvı faz birbirlerinden ayrılırlar. Başlangıçta, CaO içeren birincil curuf (bosh curufu) tüyer önündeki kokun yanması sonucu oluşan kok külü ile karışarak hazne curufunu oluştururlar. Bu curufun fırın dışına alınabilmesi için akışkan olması gerekmektedir. Uygun bir kompozisyonundaki curuf 1400 –1450 °C arasında sıvı fazdadır ve 1500 °C'deki akışkanlığı 10 poise olmalıdır. Bunun sonucunda curufun baziklik oranı $(\%CaO + \%MgO)/(\%SiO_2 + \%Al_2O_3) = 0.9-1.2$ dir. Curufun fırından rahatça tahliye edilebilmesi için için gerekli olan en düşük hazne sıcaklığı “Kritik hazne sıcaklığı” olarak adlandırılır ve 1500 –1550 °C arasındadır [4].

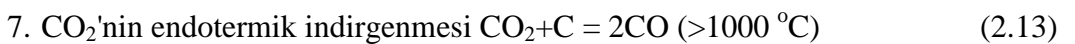


Şekil 2.2. Yüksek fırın yüksekliği boyunca gaz ve katı sıcaklık dağılımları ve üç ana bölgede oluşan kimyasal reaksiyonlar [4].

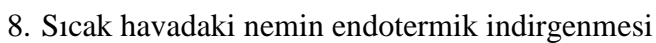
Alt Bölgedeki Diğer Reaksiyonlar



$$\Delta G^0 = -94\,490 - 0,13T \text{ kal}$$



$$\Delta G^0 = 39\,810 - 40,87T \text{ kal}$$



2.2.3. Karbon Alma Sahası

Redüksiyon sahasında cevherin ayrışması ile oluşan demirin bir kısmı bu safhada aşağıdan yukarı yükselen CO gazı ile birleşerek $2CO+3Fe=Fe_3C+CO_2$ demir karbür (Fe_3C) haline geçer ve birleşme denkleminde de görüldüğü gibi CO gazı ayrışır. Demirin karbon ile birleşmesinden dolayı bu sahaya da karbon alma sahası adı verilir. Karbon alma sahasının ortalama ısı derecesi 1200 °C'dir [7].

2.2.4. Redüksiyon Sahası

Yukarıdan aşağı ısınarak redüksiyon sahasına giren cevher, reaksiyona geçer. Isı derecesi 500–900 °C olan bu bölgedeki reaksiyonu şu denklemler ile ifade etmek mümkündür:

Redüksiyon sahasında cevherden CO vasıtası ile ayrışan demir, katı haldedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, karbon alma sahasından geçip erime sahasına girdikten sonra oradaki yüksek ısı derecesi ile akar hale gelir. Yukarıdaki denkleminde ayrışan CO_2 gazları, üst tabakadaki kömürlerin arasından geçerken tekrar C alarak, karbonmonoksit gazı haline geçer.

Fırına verilen kireçtaşı da bu sahanın ısısı ile yanmış kireç (CaO) ve CO_2 karbondioksit gazına ayrışır. Bununla birlikte cevherle beraber bulunan silis (SiO_2), bu sahada ayrışan demirle beraber o da serbest kalıp CaO ile birleşerek aşağı iner.

2.2.5. Orta Bölge Reaksiyonları

Gaz ve katı sıcaklıklarının hemen hemen eşit olduğu (800 – 1000 °C) orta bölgeye izotermal veya termal rezerv bölgesi denir. Çoğu dolaylı (indirek) reaksiyonlar bu bölgede olduğundan bu bölgeye indirek indirgeme bölgesi de denir. İyi çalışan bir fırında bu alan fırın hacminin %50-60'ını kapsar. Bu bölgenin genişliği çok önemlidir. Çünkü FeO mümkün olduğu kadar fazla indirek reaksiyon ile elde edilmelidir. Bu bölgenin başlangıcı, fırın içerisinde yüksek miktarda endotermik reaksiyonların başladığı yerlere, ısı transfer verimliliğine ve fırının farklı

kesitlerindeki homojen gaz dağılımına bağlıdır. Bu bölgede gaz kompozisyonu çok az değişmekte ve hammadde ile gaz arasında çok az oksijen değişimi olmaktadır ve CO/CO₂ oranı 2,3'tür. Bu nedenle bu bölgedeki kok sarfiyatı oldukça azdır. Bu bölgede meydana gelen diğer bir önemli reaksiyon su gazı değişim reaksiyonudur;

Bu reaksiyon sonucu CO'dan daha aktif bir indirgeyici gaz olan hidrojen üretilir. Reaksiyona giren rutubet (H₂O); demir oksitlerin hidrojen ile indirgenmesi sonucu oluşabileceği gibi, sıcak hava, buhar ve/veya hidrokarbon enjeksiyonu ile birlikte de fırına girer.

2.2.6. Isınma Sahası

Isı derecesi 200–500 °C arasında olan bu sahada, aşağıdan sıcak halde yükselen CO, CO₂ ve havanın azot gazı ile ocağa doldurulan cevher, kömür ve katık malzeme ile birlikte ısınma devresi geçirir [7].

2.2.6.1. Üst Bölge Reaksiyonları

Fırın üst bölgesinde, diğer bir deyişle ön ısıtma veya hazırlama bölgesinde orta bölgeden yükselen gazın sıcaklığı süratli bir şekilde 800–1000 °C'den 150–250 °C'ye düşer. Şarj malzemelerinin sıcaklığı ise ortam sıcaklığından 800 °C'ye kadar yükselir. Bu bölgede meydana gelen önemli reaksiyonlar şunlardır;

1. Karbonatların (Kalsiyum hariç) parçalanmaları,
2. Şarj malzemelerinin nem ve hidratının buharlaştırılması,
3. Karbon birikmesi, $2CO = CO_2 + C$
4. Hematit ve magnetitin kısmi ya da bütünüyle oksitlerine indirgenmesi.

Şarj malzemelerinin fırın tepesinden tüyer seviyesine inmesi 6–8 saat sürer. Her üç bölgede şarjların ne kadar süre kaldıkları tam olarak hesaplanamaz. Oluşan gaz ise fırında 10 saniye gibi bir süre kalır [7].

2.3. SIVI METALİN BİLEŞİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.3.1. Demirde Karbon Erirliği (Çözünürlüğü)

Herhangi bir sıcaklıkta pikteki C çözünürlüğü sıcaklık arttıkça C çözünürlüğü artar. Saf sıvı demirin karbon erirliği Fe-C ötektik sıcaklığında 1153 °C'de % 4 ve 1600 °C'de yaklaşık %5,5 dir. Herhangi bir sıcaklıkta saf demirde karbonun çözünürlüğü aşağıdaki bağlantı ile bulunabilir.

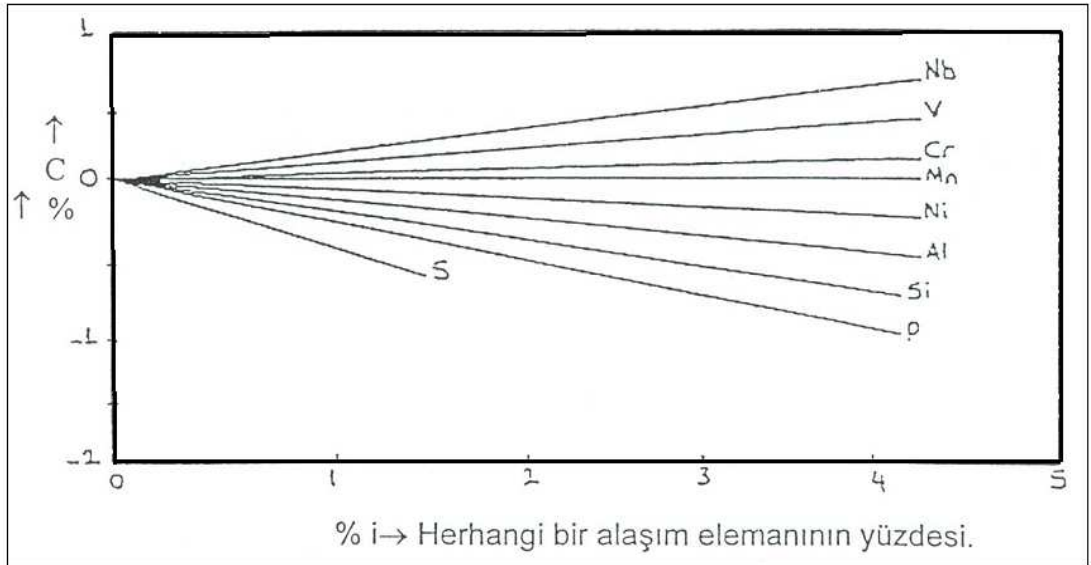
N_c = Karbonun çözünürlüğü (mol fraksiyonu)

T = Sıcaklık

$$\log N_c = -560/T - 0.375 \quad (T \text{ } ^\circ\text{K}) \quad \text{veya} \quad (2.15a)$$

$$\%C = +1,34 + 2,54 \times 10^{-3} T \quad (T \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (2.15b)$$

Demirin curuf tabakasının geçip ergimiş metal banyosuna ulaşmasından önce karbonla hemen hemen doyması mümkündür. Metal fırından boşaltıldığında zamana bağlı olarak karbona doymuş durumdadır. Karbon pikte çözüldüğü zaman çevreye ısı verir.



Şekil 2.3. Pik demirde karbon çözünürlüğüne diğer maddelerin etkisi [10].

Redüklenmiş demir (Fe) aşağı doğru ilerlerken önemli oranlarda karbonu da bünyesine alarak hazneye girer. Tüyer seviyesine gelen sıvı Fe ortamdaki karbonları bünyesine alacaktır ve karbonlar demire doycak ve sıvı halde çözeltiye geçecektir.

Karbon curufta erimez ve curuf metal ara yüzeyinde C transferi yoktur. Fakat C diğer ara yüzey reaksiyonlarında rol oynar ve metaldeki oksijen içeriğini kontrol eder [10].

2.3.2. Demirde Silisyum Dengesi (Silis Dağılımı)

Silisyum denge sabiti K_{Si} giren ve çıkan maddelerin aktiviteleri cinsinden ya da silisyum metal ve curuf arasındaki dağılımını gösteren denge bağıntısı. Bu bağıntılılar yüksek fırına uygulama açısından çok önemlidir.



$$\log K_{Si} = -30,935/T + 20,455 \quad (2.17a)$$

$$K_{Si} = a[Si]_m \cdot P_{CO}^2 / a_{(SiO_2)_c} \cdot a^2c \quad (2.17b)$$

Henry Kanunu; $a_i = \gamma_i \cdot N_i$

γ_i = Aktivite katsayısı

N_i = mol fraksiyonu (oranı)

$$K_{Si} = [f[Si]_m \cdot \%Si]_m / \gamma(SiO_2) \cdot N(SiO_2) \cdot [P_{CO}^2 / a^2c] \quad (2.17c)$$

$$a_i = f_i \cdot N_i \quad (2.18)$$

f_i = Aktivite kat sayısı

N_i = % i alınabilir

Silisin aktivite kat sayısı $Si \leq 2\%$ içeren karbonla doymuş demir için ~15'dir. Yüksek Fırın curufunda 100 gr. curufa oksit bileşenlerinin toplam mol sayısı 1,65'dir. Bu nedenle SiO_2 'in aktivitesi, SiO_2 'in ağırlık yüzdesi ve aktivite kat sayısı olarak gösterilebilir.

$a_c = [\text{Si}] < \% \text{ içeren 1 dir.}$

$$K_{\text{Si}} = [f_{[\text{Si}]}]_m \cdot [\% \text{Si}]_m / (\gamma(\text{SiO}_2)_c \cdot (\% \text{SiO}_2)_c / 60 \times 1,65) \times [P_{\text{CO}}^2 / 1] \quad (2,19a)$$

$$= [f_{[\text{Si}]}]_m \cdot [\% \text{Si}]_m / (\gamma(\text{SiO}_2)_c \cdot (\% \text{SiO}_2)_c) \times P_{\text{CO}}^2 \times 60 \times 1,65 \quad (2,19b)$$

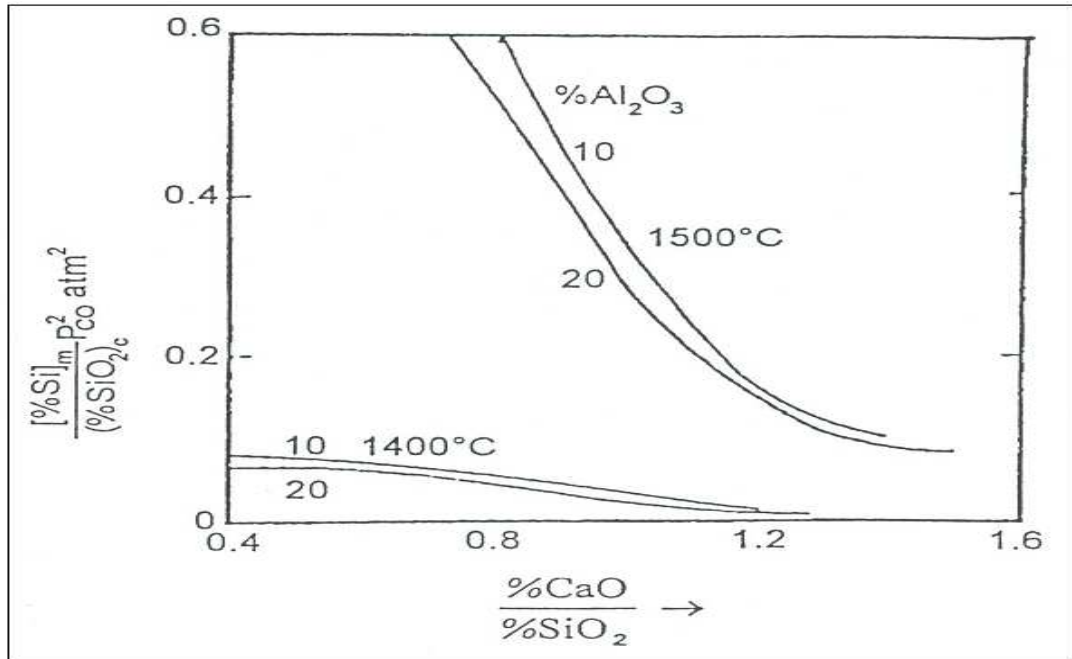
$$[\% \text{Si}]_m / (\% \text{SiO}_2)_c = K_{\text{Si}} \cdot \gamma(\text{SiO}_2)_c / f_{[\text{Si}]}]_m \cdot P_{\text{CO}}^2 \cdot K_{\text{Si}} / 60 \times 1,65 = K_{\text{Si}} \quad (2,19c)$$

$$[\% \text{Si}]_m / (\% \text{SiO}_2)_c = K_{\text{Si}} \cdot \gamma(\text{SiO}_2)_c / f_{[\text{Si}]}]_m \quad (2,19d)$$

γ , f sıcaklığın fonksiyonudur.

K_{Si} (Denge sabiti) sıcaklığın artmasıyla artar.

K_{Si} sıcaklığın artmasıyla artar ve 1400 °C de 92'ye 1500 °C için 1016'ya, 1600 °C ise 8511'e yükselir. Denge sabiti büyük bir sıcaklık katsayısına sahiptir ve metaldeki Si içeriğinin sıcaklıktaki çok küçük değişimlerden bile etkileneceği açıktır. Değerlerden görüldüğü gibi sıcaklığın 200 °C artması K_{Si} 'nin 92 misli artmasına neden olacaktır. Denge sabitindeki bu artışa paralel olarak metaldeki Si, sıcaklığın artmasıyla artacaktır. Curuftaki asitlik azaldıkça ya da (baziklik arttıkça), metaldeki silisyum artacaktır [11].



şekil 2.4. % 10 ve % 20 Al_2O_3 içeren $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ curuflarında bazikliğin fonksiyonu olarak curuf metal arasında Si'un dağılımları [11].

Yukarıdaki verilerden ve şekilden görüldüğü gibi yüksek Si'li pik üretmek için yüksek sıcaklıklara ve yüksek SiO₂ içeren curuflara ihtiyaç vardır.

$$T=1400\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de } K_{Si}=92$$

$$T=1500\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de } K_{Si}=1016$$

$$T=1600\text{ }^{\circ}\text{C}'\text{de } K_{Si}=8511$$

1. $T \uparrow$ $K_{Si} \uparrow$, $K_{Si} \uparrow$, $[\%Si]_m \uparrow$
2. Curuf içindeki % SiO₂
 $\gamma(\text{SiO}_2)_{\text{curuf}} \uparrow$, $[\%Si]_m \uparrow$
3. Baziklik oranı \uparrow , %Si \downarrow

2.3.3. Demirde Manganez Dengesi (Manganez Dağılımı)

Curuf ve metal arasındaki mangan dağılımı aşağıdaki gibi gösterilebilir.



$$\Delta G^{\circ} = 68,700 - 40,65T$$

Bu reaksiyona ait denge sabiti;

$$K_{Mn} = a(\text{Mn}) \times P_{\text{CO}} / a(\text{MnO})_c \times a_c \quad (2.21a)$$

$$K_{Mn} = [f(\text{Mn}) \cdot [\% \text{Mn}]_m / \gamma(\text{MnO}) \cdot N(\text{MnO})_c] \cdot [P_{\text{CO}}/a_c] \quad (2.21b)$$

$$a(\text{MnO})_c = \gamma(\text{MnO})_c \cdot N(\text{MnO})_c \quad (2.21c)$$

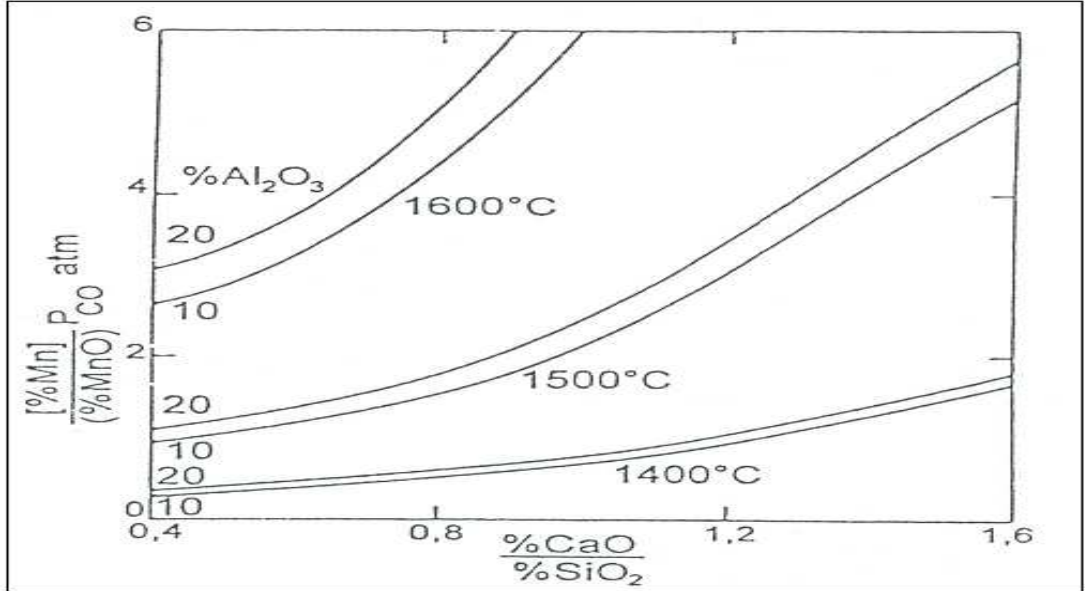
$$= \gamma(\text{MnO})_c \cdot \% \text{MnO} / 71 \times 1,65 \quad (2.21d)$$

$f_{Mn} =$ Çözünen karbona bağlı $f(\text{Mn}) \equiv s_{bt}$

$$(\% \text{Mn})_m / \% (\text{MnO})_c = K_{1Mn} \times \gamma(\text{MnO})_c \rightarrow K_{Mn} / 71 \times 1,65 = K_{1Mn} \quad (2.21f)$$

CO basıncının "1" olması halinde dağılımın oranı 1400 °C'de 89, 1500 °C'de 287 ve 1600 °C'de 812 olmaktadır. Görüldüğü gibi sıcaklığın manganez dağılımındaki etkisi olumludur. Sıcaklığın artması ile metale geçen mangan miktarı artmaktadır. Sıcaklıktaki 200 °C'lik bir artış diğer faktörler aynı kalmak kaydıyla mangan kazanımını yaklaşık 9 kat arttırmaktadır.

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi manganezin curuf-metal arasındaki dağılımı hem sıcaklığa hem de curufun bazikliğine bağlı olarak değişir.



Şekil 2.5. Sıcaklığa ve bazikliğe bağlı olarak CaO-Al₂O₃-SiO₂-MnO curufları ve grafitle doymuş demir arasındaki manganez dağılımı dengesi.

T=1400 °C KMn=89

T=1500 °C KMn=287

T=1600 °C KMn=812

Sıcaklığın etkisi Si’de daha fazladır (K_{Si} ’nin değişimi fazladır.).

Manganezin curuf metal arasındaki dağılımı hem sıcaklığa hem de curufun bazikliğine bağlı olarak değişir.

Sonuç Olarak: Yüksek mangan oksit içeren bir demir cevherinden yüksek manganezli pik üretmek için bazikliği yüksek olan bir curufa ve fırının karın bölgesinde yüksek bir redüksiyon sıcaklığına gereksinim vardır. Yüksek sıcaklık Mn’li pik üretimi için gerekli olduğu gibi Si’li pik üretimi için de gereklidir. Ancak sıcaklığın etkisi SiO₂-Si dengesinde, MnO-Mn dengesinden daha fazladır. Zira K_{Si} ’nin sıcaklığa bağlı olarak değişimi K_{Mn} ’nin değişiminden çok daha fazladır.

Si için: Sıcaklık artarsa; (%Si) artar
Baziklik oranı artarsa; (%Si) azalır.

Mn için: Sıcaklık artarsa; (%Mn) artar
Baziklik oranı artarsa; (Pikteki %Mn) artar.

2.3.4. Fosfor Dağılımı

Yüksek fırın koşullarında P'un hepsi indirgenir ve sıvı metale geçer.

2.3.5. Kükürt Dağılımı

Yüksek fırında kükürt reaksiyonu aşağıdaki gibi gösterilebilir.



CaO ve CaS'ün aktiviteleri % ağırlık ve aktivite katsayısı olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$a_{\text{CaS}} / a_{\text{CaO}} = [56[\% \text{S}]_c / 32(\% \text{CaO})] \times [\gamma_{\text{CaS}} / \gamma_{\text{CaO}}] \quad (2.23)$$

Grafitle doymuş demirde $\gamma_s = 1$ 'dir. Yukardaki eşitliklerden

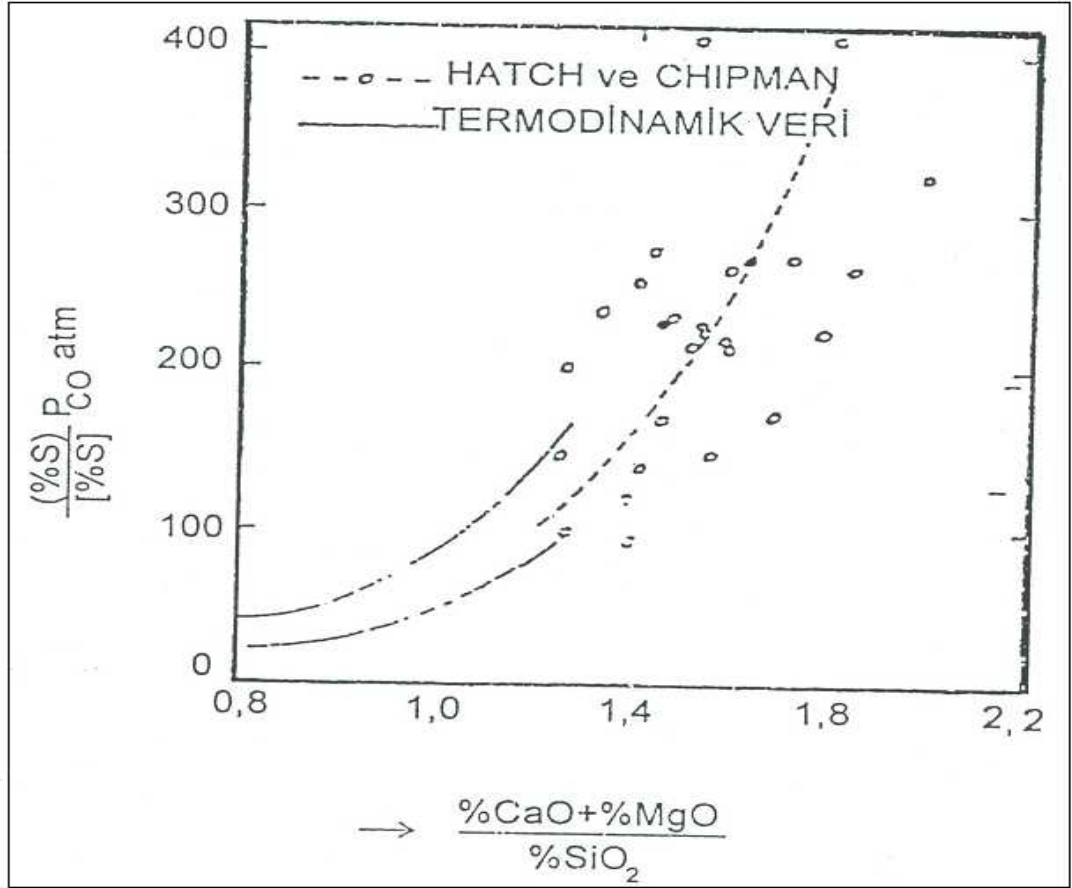
$$[\% \text{S}]_c / [\% \text{S}]_m = P_{\text{CO}} = 4 \gamma_{\text{CaO}} / \gamma_{\text{CaS}} \times (\% \text{CaO}) K_s$$

$$\log K_s = -6010/T + 5.935$$

K_s , sıcaklık arttıkça artmaktadır. 1400 °C'de K_s 'nin değeri 218 iken 1500 °C'de 347 ve 1600 °C'de 532'dir. Görüldüğü gibi sıcaklığın artışı curufa geçen "S" miktarını arttırmaktadır. K_s 'nin artışı sıcaklığın 200 °C'lik artışına karşılık 2 misli olmaktadır.

Şekil 2.6'de %30 ve % 50 CaO içeren curuflar için termodinamik verilerden hesaplanmış kükürt dağılımı oranı ile Hatch ve Cihipman'ın direkt ölçümlerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi S'ün giderilmesi için fazla miktarda

CaO'e ihtiyaç vardır. Yani curufun bazikliği arttıkça S'ün giderilmesi kolaylaşmaktadır [11].



Şekil 2.6. Yüksek fırın tipi curuflar ve C'la doymuş demir arasındaki "S" dağılımı.

1500 °C ve 1 atm CO basınçta Hatch ve Cihipman tarafından ölçülmüş değerler ile 1500 °C için %50 ve %30 CaO için hesaplanmış değerlerin mukayesesi.

Sonuç:

T ↑, (%S)_c ↑

Baziklik Oranı ↑, $\gamma_{CaO} / \gamma_{CaS}$ ↑, (%S) ↑

2.4. KARDEMİR A.Ş. YÜKSEK FIRINLARI

Yüksek Fırın prosesi içerisinde Cevher Hazırlama ve Harmanlama Tesisi, Sinter Tesisleri, Şarj Tesisleri, Fırınlara ve Gaz temizleme Tesisleri yer almaktadır. Kardemir A.Ş.'de 4 adet Yüksek Fırın mevcuttur. Ayrıca 5. Yüksek Fırın yatırım çalışmaları devam etmektedir.

2.4.1. 1 No'lu Yüksek Fırın

Temelleri fabrika ile eş zamanlı atılan yüksek fırınlar başlangıçta 2 adet yapılması planlanarak inşaatına başlanmış olup, 2 Yüksek Fırının montajına aynı zamanda başlanmıştır. Yüksek fırın üretimi için ihtiyaç olan tesislerin, Kuvvet Santrali; 6 Haziran 1939, Kok fabrikası; 27 Temmuz 1939 tarihlerinde devreye alınmıştır. Günün cevher temin potansiyeli göz önüne alınarak sadece 1 adet yüksek fırının işletmeye alınmasına karar verilmiş olup, 9 Eylül 1939 tarihinde Kardemir'in ve Türkiye'nin ilk yüksek fırını olan 1 No'lu Yüksek Fırın (FATMA) devreye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 137 500 ton/yıl ve Kuruluş hacmi 351m³ olan 1 No'lu YF İngiliz H.A. Brassert firması tarafından yapılmıştır. Sonraki yıllarda yapılan yenileme ve modernizasyon çalışmaları sonucu kapasite 250 000 ton/yıl'a çıkarılmıştır. 10 Temmuz 2008 tarihinde 4 No'lu Yüksek Fırının başarı ile devreye alınmasının ardından Kardemir 4 Yüksek Fırını aynı anda çalışmıştır. Ancak kampanya ömrünü tamamlayan Türkiye'nin ilk Yüksek Fırını olan 1 No'lu Yüksek Fırından 20 Ekim 2008 akşamı son döküm alınmıştır. 21 Ekim 2008 gecesi ise salamander alınarak durdurulmuş ve modernizasyonu için sökümüne başlanmıştır. Ateşlendiği 09 Eylül 1939'dan durdurulduğu 20 Ekim 2008 tarihine kadar geçen sürede 1 No'lu Yüksek Fırın (FATMA) toplam 8 542 740 ton sıvı ham demir üretmiştir [12].

Yapımına 08.05.2010 tarihinde başlanan 450 m³'lük yeni 1 No'lu Yüksek Fırın 11 aylık montaj süresinin ardından 14.04.2011 tarihinde ateşlenmiş olup üretim kapasitesi 500 000 ton/yıl'a çıkarılmıştır. Yeni 1 No'lu Yüksek Fırın ile 4 No'lu Yüksek fırın ikiz fırınlardır.



Şekil 2.7. Kardemir A.Ş. yeni 1 no'lu yüksek fırını.

2.4.2. 2 No'lu Yüksek Fırın

1 No'lu YF (Fatma) ile aynı zaman da montajına başlanılan 351 m³'lük *ikiiz fırınlardan* 2 No'lu (Zeynep) Yüksek Fırın 7 Ocak 1950 tarihinde devreye alınmıştır. İngiliz H.A. Brassert firması tarafından yapılmışlardır. Kuruluş kapasiteleri 137 500 ton/yıl olan fırın yapılan yenileme ve modernizasyon çalışmaları sonucu kapasitesi 250 000 ton/yıl çıkarılmıştır [13].

2.4.3. 3 No'lu Yüksek Fırın

3 No'lu Yüksek Fırın Alman Salzgitter firması tarafından yapılmış ve 10 Aralık 1962 tarihinde işletmeye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 325 000 ton/yıl olan fırın (818 m³) yenileme ve modernizasyon çalışmalarından sonra 550 000 ton/yıl kapasiteye çıkarılmıştır. 3 No'lu Yüksek Fırın bir Batı Alman Firması olan SIG Salzgitter Industriebau Gesellschaft) tarafından yapılmıştır ve tipik bir Alman Yüksek Fırınıdır. Yüksek Fırın zırhı kendini taşıyıcı, külâh ve şarj sistemlerinden gelen yükler ayrı bir

çelik konstrüksiyon tarafından taşınır. Zırh ve çelik konstrüksiyon arasında genleşme farkları ise bir irtibat ile dengelenir [14].

Kuruluş kapasitesi aşağıdaki harman için 900 ton/gün çelik pikidir.

Harman

Sinter % 66,7

Divrik % 14,5

Cürek % 10,6

Muhtelif Cevherler % 2,9

SM-Curufu % 3,8

HH-Tufalı % 1

Hurda % 0,5

Harman verimi % 47

(Bu değerler ortalama değerlerdir ve anlaşmada belirli bir tolerans tanınmıştır.)

İlk kuruluşunda 7,00 m olan hazne çapı 1973'te yapılan revartmanda (fırın refrakterini yenilemek için yapılan işlem) 7,4 m'ye çıkarılmıştır. Bu işlem 1100 mm kalınlığında olan hazne yan tuğla kalınlığının düşürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Zırha herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Tabi bu kalınlığın düşürülmesiyle ile karın açısı $78^{\circ}42'$ den $81^{\circ}52'$ ye çıkmıştır.

1973 Revartmanında yüksek fırına şlag panzer (Hareketli boğaz zırhı) adı verilen bir tertibat takılmıştır. Şlag panzer sayesinde malzeme, yüksek fırının istenilen yerine verilebilmekte ve bu sayede yüksek fırının çalışması kontrol edilmektedir. Yüksek fırıncı deyimiyle yüksek fırın içindeki malzemenin üst profiline V veya M şekli verebilmektedir. Ancak şlag panzerle birlikte yüksek fırına gerekli kontrol aletleri takılmadığından maalesef şlag panzerden yeteri kadar faydalanılamamıştır. Şlag panzer batı ülkelerinde, Batı Almanya'da yaygındır. Şlag panzer yardımıyla skaffold dahi indirilebilmektedir.

Yüksek fırına şarj edilen malzemeler büyük külahın açısı (50°) ile yüksek fırın içine düşmektedir. Normal olarak, bilhassa şarj seviyesinin düşük olduğu zamanlar

malzemeler yan duvarlara çarparlar. Bunun tuğlada yapacağı aşınmayı önlemek maksadı ile kuruluştta fırın tuğlalarının üst kısmına aşınma plakaları konmuştur. Şlag panzer takıldığında, külahtan gelen malzeme şlag panzere çarptığında aşınma plakaları sökülmüştür[15]. Şlag panzer 1988 revartmanında amacına uygun kullanılmadığından iptal edilmiştir [16].



Şekil 2.8. Kardemir A.Ş. 3 no'lu yüksek fırını.

2.4.4. 4 No'lu Yüksek Fırın

Çin'li Qinye firması tarafından yapılan fırın 11 Temmuz 2008 tarihinde devreye alınmıştır. Yeni 1 No'lu yüksek fırınla ikiz fırınlardır.



Şekil 2.9. Kardemir A.Ş. 4 no'lu yüksek fırını.

Çizelge 2.1. Kardemir yüksek fırınlarının teknik özellikleri.

PARAMATRE	KARDEMİR 1-4	KARDEMİR 2	KARDEMİR 3
HAZNE ÇAPI (mm)	5.400	4.572	7.404
BEL ÇAPI (mm;)	6.300	5.791	8.357
BOĞAZ ÇAPI (mm)	4.400	4.521	6.540
HAZNE YÜKSEKLİĞİ (mm)	3.790	2.210	3.530
BOSH YÜKSEKLİĞİ (mm)	2.800	3.048	2.972
BEL YÜKSEKLİĞİ (mm)	1.400	1.263	1.702
GÖVDE YÜKSEKLİĞİ (mm)	10.300	12.224	12.626
BOĞAZ YÜKSEKLİĞİ (mm)	1.670	1.835	3.135
FAYDALI YÜKSEKLİK (mm)	19.270	20.580	23.985
TÜYER YÜKSEKLİĞİ (mm)	2.700	-	2.680
SALAMANDER YÜKSEKLİĞİ (mm)	1.035	-	1.170
BOSH AÇISI (°)	80° 52'	-	81
GÖVDE AÇISI (°)	84° 43'	87°	85°30'
DÖKÜM DELİĞİ SAYISI (adet)	1	1	1
TÜYER SAYISI (adet)	14	8	16
TÜYERLER ARASI MESAFE (m)	1,21	-	1,45
HAZNE ALANI (m ²)	22,9	-	43
DÖKÜM DELİĞİ AÇISI (°)	8	-	8,5
ÇALIŞMA HACMİ (m ³)	450	351	818
HAZNE HACMİ (m ³)	-	36	152
BOSH HACMİ (m ³)	-	65	145

2.5. YÜKSEK FIRIN YARDIMCI BİRİMLERİ

1. Hammadde besleme sistemi
2. Fırın üstü şarj sistemi
3. Kömür enjeksiyon sistemi
4. Sobalar
5. Dökümhane
6. Kontrol odası
7. Soğutma sistemi ve refrakterler
8. Hammadde besleme sistemi.

Fırında kullanılacak hammaddelerin stoklandığı, hazırlandığı ve fırına gönderildiği ünitelerdir. Bu ünitelerde;

1. Hammadde siloları
2. Besleyiciler
3. Taşıyıcı bantlar
4. Tartı hazneleri
5. Malzeme kovaları bulunmaktadır.

2.5.1. Sobalar

Yüksek fırın içerisindeki kokun yanmasını sağlayan ve fırın içerisinde malzemelerin havada asılı kalmasına yardımcı olan havanın ısıtıldığı en önemli yardımcı donanım sobalardır. Yakma havasının ön ısıtılması işleminden geçirilerek fırınlara üflenmesi hem proses açısından hem de enerji tasarrufu açısından önemlidir. Sobalar silindirik şekilli olup iç kısımları özel tuğla ile örülüdür. Sobaların fırın devresi (üfleme), gaz devresi (ısınma) ve bekleme devresi olmak üzere üç devresi vardır [13].

2.5.2. Şarj Tesisleri

Yüksek fırınların ihtiyacı olarak primer sahada stoklanan hammadde ve yardımcı hammaddeler ile kokun istenen miktarda ve çeşitte fırınlara tam otomatik olarak şarj

edildiği tesislerdir. Şarjlar, malzeme özelliklerine göre, fırının en iyi şekilde çalışmasını sağlayacak ve gaz geçirgenliğini verecek şekilde belirlenir. Yüksek fırınlara şarj edilecek malzemelerin ayrı ayrı stoklandığı 48(6 kok, 42 cevher) adet bunker, 1 adet 35 tonluk aktarma arabası, primer saha üzerinde 20 tonluk iki adet köprülü vinçten oluşur. Şarj tesislerinde tartım ve şarjlar otomatik olarak yapılır. Katkı ve kireçtaşı bunkerleri hariç diğer bunkerlerde malzemeler elenerek yüksek fırınlara şarj edilir. Elek altı malzeme tekrar harmanlama tesisine bant konveyörler aracılığı ile gönderilir [13].

2.5.3. Gaz Temizleme Tesisi

Yüksek Fırın gazı esas itibarı ile azot, karbondioksit, karbonmonoksit ve su buharından meydana gelmiştir. Yüksek fırın gazı önemli miktarda azot ihtiva ettiği ve uçucu hidrokarbonlardan yoksun olduğu için kalori değeri ($750-800 \text{ kcal/Nm}^3$) düşüktür. 2+3 No'lu Yüksek Fırınlarda Gaz temizleme üniteleri ortak olup; her fırına bir adet toz tutucu, 5 adet yıkama kulesi ve 5 adet Elektrofiltre olmak üzere 3 basamakta tamamlanmaktadır. 1+4 No'lu Yüksek Fırınlarda ise toz tutucudan sonra her fırına ait 8 adet silodan oluşan kuru tip (torbalı sistem) gaz temizleme sistemi mevcuttur.

2.6. CEVHER HAZIRLAMA VE HARMANLAMA

Cevher Hazırlama ve Harmanlama Tesisleri, yüksek fırınların ihtiyacı olan parça cevherlerin uygun ebatlarda hazırlanması, sinter tesisi için gerekli olan demir cevheri, kireçtaşı tozu (0-3 mm) ve kok tozunun (0-3 mm) istenilen fiziksel özelliklerde hazırlanmasını sağlar. Harmanlama sahası, toplam kapasitesi 210 000 ton olan dört adet sahadan oluşmaktadır. Tesis 5 500 ton/gün nakil kapasitesine sahiptir. Cevher Hazırlama; Yüksek fırınlarda çok iri taneli cevherler, redükleyici gaz ile olan temas yüzeyinin küçülmesi ve gazların cevher ile tam reaksiyona girmesinin uzaması ve proses hızını düşürdüğünden yüksek fırınlarda istenmemektedir. Bu yüzden iri taneli cevherler elemeye tabi tutularak sinter harmanlarında kullanılacak malzeme haline getirilmektedir. Sinterlik cevherler de önce kaba kırma elemeye tabi tutularak -50 mm ye sonra ince kırma elemeye

alınarak –10 mm boyutuna indirilerek sinterlik malzeme olarak Harmanlama tesisine gönderilir. Aynı ünite içerisinde kok tozu ve kireçtaşı -3 mm arasına kırılarak istenen fiziksel özelliklerde olması sağlanır [13].

Harmanlama; Cevher Hazırlama tesisinde uygun boyutlarda hazırlanan sinterlik cevherler konveyörler ve stokerler yardımıyla sahaya alınırlar. Sahaya alma sırasında harmanlama işlemi de yapılır. Konveyör bant üzerindeki kantarlar ile sahaya alınan cevherlerin istenen miktarlarda harman oluşturmaları sağlanır veya alınan cevher miktarlarına göre sahada nasıl bir harman olduğu belirlenir. Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde temin edilen sinterlik demir cevherleri harmanlama sahasına 16 adet yığın oluşturacak şekilde serilir. Temin edilen demir cevherleri sinter için uygun boyuta getirildikten sonra çalışılan saha yığına stoklanır. Harmanlanmış malzemelerin geri alma işlemi reklaymer yardımıyla yapılmaktadır. Alınan sinterlik cevherler konveyörler yardımı ile sinter harmanlama bunkerine (5 adet) alınır [13].

2.7. SİNER TESİSİ

Sinter Tesisleri, Yüksek Fırınlarda doğrudan kullanılmayacak özellikteki kükürtlü ve toz cevherlerin ergime derecesi altında bir sıcaklıkta ısıtıp kullanıma uygun ebat ve dayanıklılıkta cevher olarak fırınlara hazırlandığı tesislerdir. Sinter, toz cevherleri değerlendirmek, cevher içerisindeki zararlı gazları yakarak yapıdan uzaklaştırmak, cevherde gözenekli bir yapı oluşturmak, fırının verimli çalışmasını sağlamak ve demirli atıkları değerlendirmek amacı ile kullanılmaktadır [13].

Sinter Tesislerinde, 2 adet sinter makinesi mevcuttur. Yüksek fırınlarda kapasite artırımı ile birlikte 1 340 000 ton/yıl kapasiteli mevcut makinalar yapılan yatırımlarla 2 200 000 ton/yıl üretim kapasitesine sahip her biri 110 m² emiş alanına sahip 2 makine 8 Nisan 2011 yılında devreye alınmıştır [17].

BÖLÜM 3

HAMMADELER

Yüksek fırınlarda kullanılan hammaddeler üç ana başlık içinde incelenebilir. Bunlar;

1. Demirli Cevherler (Ham Parça Cevher, Sinter ve Pelet)
2. Curuf Yapıcılar (Kireçtaşı, Çakmaktaşı, Dolomit)
3. Yüksek Fırın Yakıtları (Metalurjik Kok, İlave Yakıtlar; Katran, Pulvarize Kömür, Doğal Gaz)

Sıvı metal üretimi diğer üretim prosesleri içinde en başta gelenidir. Bunun sebebi yalnızca çok yüksek üretim değil aynı zamanda yüksek fırınlardan yüksek ısı verimliliği elde edilmesidir. Modern ve büyük kapasiteli yüksek fırınlar günde 12000 ton sıcak maden üretebilmektedir.

Yüksek fırınlarda sıcak metal elde etmek için cevher, pelet ve sinter gibi demirli hammaddeler tek başlarına veya üçünün karışımı olarak kullanılmaktadır. Karışım oranları hammaddenin teminine göre değişmektedir. (% 85 sinter+% 15 cevher veya % 40 sinter +% 40 pelet+% 20 cevher veya % 100 sinter veya % 100 pelet gibi). Isı elde etmek için sadece kok veya kok ile birlikte enjeksiyon yakıtı (kömür, fuel oil, katran gibi) kullanılmaktadır. Bu hammaddelere ait kısa bilgiler aşağıda verilmiştir [9].

3.1. CEVHER

Demir cevheri genel olarak hematit (Fe_2O_3) ve magnetit (Fe_3O_4) gibi oksitler ile küçük oranda hidroksitler ve karbonatlardan oluşur. Tüm demirli mineraller içinde hematit en büyük oranı kapsar. Kimyasal olarak saf olduğunda hematit % 70, magnetit ise % 72,4 demir içerir. Fakat ekseriyetle cevherdeki Fe içeriği % 30 ila

% 65 arasında değişir. Cevherin Fe haricinde kalan kısmı (gang) ise çok az miktarda nem ile genellikle silika ve alüminadan oluşur. Cevherin madenden çıkartıldıktan sonra belirli işlemlere tabi tutulması gerekir. Bu işlemlerden sonra cevher yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli hale gelir [9].

3.2. DEMİR CEVHERLERİNİN AGLEMARASYON YÖNTEMLERİ

Toz demir cevherlerini ve çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilmiş demir cevherleri konsantrelerini yüksek fırınlarda kullanılabilir hale getirme işlemlerine genel olarak aglomerasyon adı verilir.

Aglomerasyon genelde toz cevherlerin ve konsantrelerin boyut büyütme işlemi olarak görülsede boyutla beraber demir cevherlerinde aranan diğer özellikler (sertlik, mukavemet, porozite, redüklenebilirlik v.s. gibi) de aglomerasyon yöntem ve işlemlerini yakından ilgilendiren çok önemli koşullardır.

Kimyasal bileşim açısından kullanılabilir demir cevheri tozları veya zenginleştirilmiş konsantrelerin yüksek fırında kullanılabilir hale getirilmesi için iri taneli, ufalanmaya karşı dayanıklı ve gaz ortamındaki redüksiyonun uygun biçimlere getirilmesi aglomerasyon yöntemleri ile mümkün olabilmektedir [1].

3.2.1. Sinterleme ve Sinter

1. Kısmi ergime metodu ile ufak parçaların temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları,
2. Yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların erimeden birbirine yapışmalarını sağlayan hematit ve maganetit kristalinin büyümesi işlemidir [9].

Bütün bu işlemler toz cevherlerle karıştırılmış olan kok tozunun yanması sırasında meydana gelir. Karbonun tamamıyla yanmasından dolayı 1300–1400 °C sıcaklık kolaylıkla elde edilir. Bu proses sabit ya da hareketli sinter makinalarında uygulanabilir. Bu tip makinalarda 40-50 cm kalınlığında sinter karışımı kullanılabilir. Karışımı şarj etmeden önce ızgaraların üzerine 5 cm kalınlığında –10/+8 mm boyutlarında sinter serilir. Bunun amacı sinter karışımının ızgara açıklıklarından dökülmesinin önlenmesidir. Kok tozunun yanması, karışımın üst yüzeyinde başlar. 800-1000 mm su sütunu bir emme ile sinter karışımının geçirgenliğine de bağlı olarak, karışımın alt kısımlarına kadar sinterleşme gerçekleşir. Sinter karışımı yüksek fırın baca tozu, elekaltı malzemeler, kireçtaşı, dolomit gibi malzemeleri de ihtiva eder. Ortalama bir geçirgenlik sağlayabilmek için sinter karışımının ihtiva ettiği su miktarının % 5-20 arasında olması gerekmektedir. Çok yüksek su miktarı, yeniden çökme sonucu topaklanmayı artırarak boşlukların dolmasıyla geçirgenliğin düşmesine sebep olur. Uygun geçirgenlik ve ısı transferini sağlayabilmek için cevher boyutunun 5-6 mm, kok ve kireçtaşı boyutunun 3 mm'yi geçmemesi gerekir. Sabit yakıt oranında eğer kok boyutu çok büyükse bölgesel aşırı ısınma nedeniyle çok fazla sıvı oluşumundan dolayı yüksek fırında çok zor indirgenebilen fayalit ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) oluşur. Aynı zamanda diğer bölgelerde uygun olmayan ısınmadan dolayı sinter bağ mukavemeti olumsuz yönde etkilenir, kireçtaşının kalsinasyonu tamamlanmaz, bu da sinter mukavemetini ters yönde etkiler. Sinter kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ve kalitesinin düzgün olması açısından şarjı yapılmadan önce kireçtaşı ve kok cevher ile düzgün olarak karıştırılmalıdır. Elde edilen sinterin % 65–70'i 12 mm'lik boyutun üzerinde olabilmesi için ortalama kok oranı % 4 ile 8 arasında değişmelidir. Eğer curufun akışkanlığı ve erime sıcaklığı yüksekse yakıt ihtiyacı artar.

Eklenen kireçtaşı miktarı istenen baziteye göre değişir. Kireçtaşının sinterleme sırasındaki kalsinasyonu Y. Fırındaki kalsinasyonuna göre daha az enerji sarfına neden olur. Kireç sinterin indirgenebilirliğini de büyük miktarda artırır.

3.2.1.1. Demir Cevherlerinin Sinterlenmesi ve Verimliliğe Olan Etkileri

Sinterleme sonucunda toz demir cevherleri ısı ve oksidasyon yoluyla termik sertleştirilmeye uğratıldıktan sonra kompakt bir duruma getirilmiş olurlar. Demir cevherlerinin sinterlenmesinde başlıca üç amaç hedeflenir:

1. Fazla tozlu cevherlerin, tozlarının aglomera edilerek yüksek fırında kullanılabilir boyutlara eriştirmek.
2. Demir cevherlerinde mevcut olan kükürtü oksitleyerek gidererek zararsız miktarlara indirmek.
3. Yüksek fırın çalışma şartlarında kullanılacak ve redüklenme kabiliyeti yüksek, mukavemetli, ufalanmaya dayanıklı şarj malzemesi elde etmek yoluyla üretim verimini arttırmak ve işletme arızalarını azaltmak.

Yukarıda sayılan amaçları yerine getirmek için yapılan sinterleme işlemi sayesinde elde edilen malzemenin yüksek fırınlarda şarj malzemesi olarak ham demir üretiminde kullanılması pek çok faydalar sağlar. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Fırınlarda ham demir üretimi için kullanılan kok miktarı azalır.
2. Üretim esnasında elde edilen curuf miktarı azalır.
3. Fırınlarda üretim verimleri artar.
4. Flaks miktarı azalır [7].

Sinterin Kimyasal Özellikler

1. Sinterin demir içeriği % 50-60'ın üzerinde olmalıdır.
2. Kükürt ve diğer istenmeyen maddeler yüksek fırında kullanılacak sınırlarda kalmalıdır.
3. Fayalit gibi redüksiyonu zor olan bileşikler minimum seviyede olmalıdır.
4. Demir cevherlerinde olduğu gibi gang maddeleri de minimum seviyede olmalıdır.

5. Yüksek fırın koşullarında gaz ortamındaki redüklenmesi kolay olan hematiti içermeli buna karşılık manyetit de bulundurmamalı veya az miktarda bulunmalıdır.
6. Düşük empirüte içermelidir.

Sinterin Fiziksel Özellikler

1. Gaz ortamındaki redüklenmeyi başarabilmek için yüksek miktarda mikroporoziteye sahip olmalıdır.
2. Yüksek fırın içerisinde yükün ağırlığına dayanacak şekilde mukavemetli olmalıdır.
3. Kırılma, aşınma ve tozlaşmaya dayanıklı olmalıdır.

3.2.2. Pelet

Cevherlerin madenden çıkarılışı ve cevher hazırlama operasyonu sırasında büyük miktarda 0,05 mm'nin altında toz oluşur. Bu ebattaki toz cevher sinter yatağının geçirgenliğini çok düşüreceği için sinterleme prosesine uygun değildir. Toz cevher içersine bentonit, kireç taşı gibi bir takım ilaveler katarak topaklama işleri yapılır. Sonuçta çapı 8–20 mm arasında, yumuşak (yaş) yapıda hammaddeler elde edilir. Yeşil pelet olarak adlandırılan bu hammaddeler 1200 – 1350 °C arasında pişirilerek sertleştirilir. Topaklama, pelet üretim prosesinin en önemli aşamasıdır ve bu aşamada pelete mukavemet, boyut, çarpma mukavemeti ve diğer özellikleri kazandırılır. Peletleme işlemi; tambur, koni, disk gibi döner ekipmanlar kullanılarak yapılır.

Peletlerin topaklanıp bilya şeklini alması, suyun yüzey gerilim kuvveti ve karışımdaki tozların birbirine çarpması sonucu oluşur. Başlangıçta su eklenerek ufak bir pelet çekirdeği oluşturulur. Bu çekirdek büyür, bilya şeklini alarak pelet olarak adlandırılan hammaddeye dönüşür. Ortalama rutubet (su) miktarını belirlemek çok önemlidir. Çünkü az miktardaki su karışım taneleri arasındaki boşluklara hava girmesine, çok miktardaki su da birleştirici özelliğin bozulmasına sebep olur. Ortalama rutubet miktarı % 5-10 arasındadır. Tane ebadının azalması ile rutubet ihtiyacı artar [1].

Yüksek fırınlarda kullanılmaya elverişli bir pelet şu özelliklerde olmalıdır; Cevherlerin madenden çıkarılışı ve sınıflandırılışı sırasında oluşan ince yapılı kısım (belirli miktar Fe içermesi nedeni ile) değerlendirilerek tekrar yüksek fırınlarda kullanılır. Bu değerlendirmeler sonucu oluşan hammaddeler pelet ve sinter olarak adlandırılırlar. Sinterleme küçük boyutlu cevherlerin (toz cevherlerin) aglomerasyonu (yüzeylerinin erimesi sonucu birbirlerine yapışması) ile magnezyum oksit ve kalsiyum oksit kullanılarak boyutların büyütülmesi işlemidir [9]. Sinter yapmaya müsait olmayan incelikteki cevherler ise pelet yapımında kullanılır. Bu işlemler sırasında cevher tozu içerisindeki kükürdün bir kısmı yandığı için istenmeyen bir element olan kükürt gideriminin bir bölümü yüksek fırın dışında yapılmış olur. Ayrıca CaCO_3 gibi yüksek fırın içerisinde parçalanma reaksiyonuna uğradığı zaman fazlaca ısı alan oksitlerin parçalanma işlemleri sinter ve pelet yapımı sırasında gerçekleşir. Böylece yüksek fırın ısı verimliliği artar.

3.2.2.1. Peletlerde Aranılan Özellikler

Yüksek fırın şarjına uygun peletlerde iki önemli özellik aranmaktadır.

1. Basınç dayanımı
2. Porozite

Yüksek fırında kullanılan peletlerin basınç mukavemeti genelde 250 kg/cm^2 üzerinde olması istenmektedir. Pelet ham cevhere göre daha geçirgen bir yapıya sahiptir. Bu da fırında basınç düşmesine, kanal olayının azalmasına, iyi bir katı/gaz ilişkisi sonucu termal ve kimyasal enerjinin maksimum kullanımına, düşük tepe sıcaklığına, düşük kok oranına ve dolayısıyla yüksek üretime sebep olur [1].

3.3. YÜKSEK FIRINLARA ŞARJ EDİLECEK CEVHERLERDE ARANAN ÖZELLİKLER VE VERİME OLAN ETKİLERİ

Yüksek Fırın işletmeciliğinin geliştirilmesinde üretim hızı, üretim verimi, ürün kalitesi ve ekonomiklik gibi önemli özellikler, kullanılan hammaddelerle yakından

ilgilidir. Demir cevherlerinin yüksek fırınlarda kullanılabilir olmaları cevherlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile saptanmaktadır.

3.3.1. Fiziksel Özellikler

3.3.1.1. Tane Büyüklüğü

Yüksek fırına şarj edilecek malzemelerin boyutları kok kullanım oranının düşürülmesinde ve verimin arttırılmasında önemli rol oynamaktadır. Şarj malzemesinin boyutlarının farklılığı ne kadar az olursa, fırın ısısının artmasında ve şarj malzemesinin içerisindeki gaz geçirgenliğini hızlandırmasında en yüksek verimi sağlar. Şarj malzemesinin içerisindeki ince boyutlu taneciklerin artması yüksek fırın gaz geçirgenliğini düşürmekte, fırın baca gazlarına toz kayıplarını arttırmakta ve üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca ebatların belirli boyuttan daha büyük olması halinde cevher kitesinin tamamı redüklenme imkanı bulmadan curufa geçeceği için curuf içerisindeki demir kayıpları artacaktır.

Belirli limitler içerisinde kalmak kaydı ile parça demir cevherinin ortalama boyutu küçüldükçe, özgül yüzey alanı, dolayısıyla katı/gaz temas yüzeyi artmakta ve indirgenmesi kolaylaşmaktadır. Bu bakımdan her iki etkenin optimal parça demir cevherleri için 20-50 mm üst sınır, 5-10 mm de alt sınır olarak kabul edilmektedir.

Sonuç olarak; homojen olmayan farklı fiziksel boyutlardaki malzeme şarjı sonucunda, gaz akışında düzensizlikler meydana gelir. Bu düzensizlik üretim kayıplarına, kok kullanım oranının yükselmesine ve pik kalitesinin bozulmasına sebep olur [7].

3.3.2. Mineralojik Özellikler

Genel olarak demir cevherlerinin mineral cinslerine göre redüklenme kabiliyetleri en kolay olandan en güç olana doğru sıralanacak olursa limonit, hematit, gotit, pelet, sinter, manyetit olduğu görülmektedir.



a) Manyetit

b) Limonit



c) Hematit

d) Götit

Şekil 3.1. Demir cevherlerinin mineralleri [3].

3.3.3. Cevherin Gözenekliliği

Gözenekli cevherler, gözeneksiz cevherlere göre daha düşük yoğunluktadır. Bu nedenle gerek sinter üretiminde ve gerekse yüksek fırında hacim yönünden daha fazla yer işgal edeceği ve buna karşılık daha az tonajda üretim yapılacağı için üretim düşmesine neden olurken, yüksek fırında gözeneksiz cevherlere göre daha kısa zamanda indirgeneceği için zamandan tasarruf sağlar.

3.3.4. Şarjdaki Parça Cevherin Mukavemeti ve Isıya Dayanıklılığı

Yüksek Fırına şarj edilecek parça cevherlerin şarj edilinceye kadar tozlanmaması gerekmektedir. Yüksek fırın şarj malzemesinin aşınmaya dayanıklı, fazla tozlu olmayan ve yük taşıyabilen özellikte olması istenmektedir. Şarj malzemesinin tozlanması yüksek fırın içerisinde gaz geçirgenliğini, gaz kullanımını ve dolayısıyla

demir kalitesini etkiler. Yapılan denemeler sonucunda % 1 'lik tozlanma Yüksek fırın hacminde % 1,3'lük hacim daralmasına neden olmaktadır [7].

Peletler için yük altında kırılma mukavemeti önemlidir. Kırılma mukavemetinin ortalama olarak 250 kg/cm^2 den yüksek olması istenilir [7].

3.3.5. Cevherlerin Yüksek Fırındaki Şişme Özellikleri ve Fırına Olan Etkileri

Yüksek fırınlardaki indirgenme sırasında meydana gelen büzülme veya şişmenin, belirli oranlardan fazla olması halinde fırın üretimini aksatır ve çalışma düzenini bozar. Şişme özelliği daha çok yüksek fırına yüklenecek peletler için sorun olabilmektedir. Şişme endeksi % 20'yi geçmeyen peletlerin yüksek fırında sorun yaratmadığı, % 20-% 40 arasında olan peletlerin yüksek fırın şarjına ağırlık olarak en çok % 65 oranında katılabileceği, % 40'ın üzerindeki peletler için fırın şarjının % 65'den az pelet içermesi ve yükleme hızının yavaş olması hallerinde bile yüksek fırınların düzensiz çalıştığı görülmüştür.

3.4. DEMİR CEVHERİ İÇİNDE BULUNAN EMPÜRİTELER

Yüksek fırına demir içeren hammaddeler (cevher, sinter ve pelet), curuf yapıcı hammaddeler ve kok şarj edilmektedir. Şarjdaki demir mineralleri yüksek fırın koşullarında indirgenerek sıvı ham demiri, gang minerallerinin büyük bir kısmı ise curuf yapıcılarla birleşerek sıvı curufu oluşturmaktadır. Fırında ısı, kokun tüyerlerden üflenen ön ısıtılmış hava ile yanması sonucu meydana gelmektedir. Şarjda Mn, Si, P, S, Zn, Ti, Pb, Cu, As, Sb, Sn, Cr elementlerinin bileşikleri ve alkali metaller de bulunabilmektedir. Bu elementlerden bazılarının (örneğin çinko ve alkali metaller) fırın içerisinde skaffold oluşumu ve astar ömrünün azalması gibi zararlı etkileri olmaktadır. Bazılarının (örneğin P ve S) sıvı ham demire yüksek miktarlarda geçmesi durumunda üretilen çeliğin mekanik özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Empüriteler, cevher zenginleştirme metotları ile ayıklanabilir olmakla birlikte bazı hallerde empüritelerin ayıklanması ekonomik olarak mümkün olmayabilir. Ön zenginleştirme işlemindeki amaç, empüriteleri minimize etmek ve böylece hem nakliye masraflarını azaltmak hem de ergitmeye girecek malzeme için optimal

kaliteyi elde etmektir. Silis, Alümina ve Kalker gibi bazı empüriteler diğer demir dışı maddeleri (empüriteleri) ergimiş demirden ayırmada faydalı olurlar. Ancak bununla birlikte demir çelik üreticileri yüksek tenörlü ve empüritesi az olan cevherleri kullanmayı ve faydalı empüriteleri gerektiği zaman kontrollü bir şekilde ilave etmeyi veya empüriteli cevherleri şarj harmanına belirli oranlarda karıştırmayı tercih etmektedirler. Cevherler içerisinde bulunan empüritelerin belli başlıcaları SiO_2 , Al_2O_3 , S, Cu, As, Ti, P, Na, R_2O , Pb, Zn gibi bileşiklerdir. Zararlı ve faydalı empüritelerin yüksek fırınlardaki etkileri ayrı ayrı aşağıda açıklanmıştır [7].

3.4.1. Zararlı Empüriteler

3.4.1.1. Silisyum Dioksit (SiO_2)

Demir cevherlerinin en önemli gang malzemelerinden biridir. Yüksek fırında curuf yapıcı malzemenin belirli oranlarda karıştırılmasıyla demir cevherlerinden ayrılır. Cevher içindeki SiO_2 'nin fazlalığı ergitme sırasında fazla miktarda curufun oluşmasına yol açmaktadır. Oluşan cüruf, hem silisler hem de silisi nötralize etmek için ilave edilen kireç taşından ileri gelmektedir. Yüksek fırına şarj edilen cevherler içinde fazla miktarda silis bulunması hallerinde söz konusu silisi curufa çıkarabilmek için silisi nötralize etmek için katılan kireçtaşı ilavesiyle curuf hacmi artacaktır. Fazla curuf, yakıt sarfiyatını artırır. Düşük tenörlü cevherlerin bünyesinde fazla miktarda silis bulunduğundan şarj esnasında fazla kireçtaşı kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle düşük tenörlü cevherlerden meydana getirilen şarj harmanlarını kullanmak çoğunlukla ekonomik olmamaktadır [7].

3.4.1.2. Alüminyum Oksit (Al_2O_3)

Fazla Alümina içeren cevherler, nemli olması halinde yapışma özelliğine sahip olması nedeniyle yüklemelerde ve boşaltma işlemlerinde işletme güçlüklerine neden olmaktadır. Cevher içerisinde serbest halde olduğu için, yıkama işlemi ile giderilebilir özelliktedir. Yüksek fırın işletmeciliği esnasında alümina curufa geçer ve alüminanın anfoterik özelliğine bağlı olarak curufun asit veya bazik özellikte olmasına etki eder. Kok kullanan fırınlarda curuf içindeki alümina miktarı %8-% 15

civarında olmalıdır. Bu takdirde alümina bazik curufun akışkanlığını artıracak için şarj içindeki kükürtün ayrılmasını sağlar [7].

3.4.1.3. Kükürt (S)

Yüksek fırında pik demire geçecek (S) miktarının çok küçük miktarları bile çelik için çok zararlıdır. Kükürlü cevherler, genelde cevher zenginleştirme yöntemleriyle kükürt giderildikten sonra yüksek fırına şarj edilmektedir. Cevher zenginleştirme işlemi yapılmayan cevherler yüksek fırına direkt olarak şarj edilmezler. Sinterleme işlemi yapılarak (S) yakıldıktan sonra yüksek fırına verilirler. İnce taneli cevherlerin (toz cevherler) sinterlenmesi çok etkili bir kükürtten temizleme tekniğidir. Pirit, protin gibi fazla kükürlü cevherlerin kükürt yüzdesi, bu teknikle % 1,01' in altına düşürülebilir. Sinterleme esnasında (S) yakıt görevini de üstlendiği için yakıt harcaması kükürtsüz toz cevhere göre daha azdır. Gerek zenginleştirme ve gerekse sinterleme teknikleri ile her iki şekilde de cevher içindeki (S) giderimi yapılmış olsa bile yüksek fırın içine şarj edilen malzemeden yine de bir miktar (S) girmektedir.

Yüksek fırına giren (S)'ün şarj içine konan kalker, mangan cevherleri ile giderilmesine çalışılır. Bünyedeki (S)'ün bir miktarı yanarak gazlarla havaya karışır (Şarjdaki kükürtün yaklaşık % 4-6 sı kadar). Geriye kalan şarjdaki kükürt miktarı ise curuf ve pik demir arasında dağılır. Şarj içindeki kükürtün sıvı madene geçmeden curufa geçirilebilmesi için, bazik bir curuf, yüksek sıcaklık ve fazla miktarda curuf yapımı tekniği ile yüksek fırının çalıştırılması gerekmektedir. Kükürtün bu şekilde giderilmesini sınırlayan faktörlerden ise ısı ve baziklik dereceleri olmaktadır. Bazik yüksek fırın curufundaki (S) miktarı, azami % 3 civarındadır [7].

3.4.1.4. Kurşun (Pb)

Kurşun demir cevherlerinde nadir olarak bulunur. Pik demire geçmez fakat fırında havuzlar şeklinde birikir. Zn gibi refrakter tuğlalara geçer ve tahribat yapar.



Şekil 3.2. Tüyerden Pb ve Zn 'nun akması.

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi 4 No'lu YF'nın duruşu esnasında akan metalik malzemeden numune alınmış ve analiz sonucu aşağıda belirtildiği gibi olmuştur.

% Pb:72,7, % Bi: 16,7, % Zn: 10,5

3.4.1.5. Fosfor (P)

Demir cevherlerinin bazılarında bir miktar (P) bulunabilir. Demir cevherleri içindeki fosforun hemen hemen hepsi fırın içerisindeki işlemler esnasında doğrudan doğruya sıvı maden içerisine geçer. Bu bakımdan metal içerisinde olabilecek fosforu kontrol etmenin tek yolu, şarj içindeki fosfor miktarının sınırlandırılmasıdır. Düşük fosforlu çelik yapımında kullanılacak pik elde etmek için şarj harmanındaki demir cevherinde % 0.045'den fazla fosfor bulunmamalıdır. Daha yüksek değerlerde kullanılan fosforlu cevherlerden elde edilen sıvı madendeki (P) miktarı yüksek olacağı için çelik nitelikleri dikkate alınarak çelikhanedeki işlemler esnasında defosforizasyon prosesi uygulanması gerekir.

3.4.1.6. Titanyum (Ti)

Titanyum demir cevherlerinde ilmenit (FeTiO_2) ve rutil (TiO_2) olarak bulunur. Yüksek fırında titan oksitlerinin büyük bir kısmı indirgenmeden curuf içinde kalır ve burada silisin yerini kısmen alır. Az miktarda titanyum indirgenir, özellikle yüksek

sıcaklık varsa, pik demire geçer. Titanyum kuvvetli bir karbür yapıcı elemandır ve titanyum karbür ergimiş pik demirde oldukça az çözünür. Eğer pik içerisindeki titanyum belli bir miktarın üzerine çıkacak olursa serbest titanyum karbür kristalleri oluşur. Bunlar curufun ve pik demirin viskozitesini artırır ve pikin alınmasında problemler doğurur. Titanyum karbür yüksek fırın içinde katı aglomeralar oluşumuna ve işletme problemlerinin artmasına yol açar. Eğer cevherde ortalama TiO_2 % 1-2 den az ise, (bu da % 3-8 den az TiO_2 içeren bir curufa karşılık gelir) bu cevher yüksek fırında herhangi bir problem yaratmadan kullanılabilir. Eğer pikteki titanyum miktarı % 0.5'in üzerinde çıkacak olursa viskozite çok artar ve ergimiş pikin akıtılmasında güçlükler ortaya çıkar.

3.4.1.7. Bakır (Cu)

Bakır genellikle demir içinde kalkopirit ($CuFeS_2$) olarak bulunmaktadır. Şarj edilen cevher içindeki bakırın hemen hemen tamamı sıvı madene geçer. Bu bakımdan bakırlı demir cevherleri çelik yapımında kullanılırken kalkoprit önceden flotasyon veya manyetik ayırma ile cevherden ayrılmaktadır. Az miktarlarda bakır çeliğin mekanik özelliklerine zararlı etki yapmaz. Bazen bir miktar bakır, atmosferik korozyona direnci arttırdığı için, tercih dahi edilir. Eğer bakır miktarı % 0,3-0,4'ün üzerine çıkarsa, haddeleme ve şekil vermede yüksek sıcaklıkta çeliğin yüzeyinde bakırca zengin, ergime derecesi düşük bir alaşım yapar ve bu alaşım hadde sınırlarından geçerek yüzeyde küçük çatlaklar meydana getirir. Bu gibi zararlı etkileri azaltmak için çelik, bakırın ergime derecesi altındaki bir sıcaklıkta haddelenerek veya çelik içinde aynı zamanda bakır miktarının yarısı veya kendisi kadar nikel veya kobalt olması ile bunun önüne geçilebilir. Örneğin; Finlandiya'da % 0,6 bakır ve % 0,6 kobalt ihtiva eden pirit curufları iyi sonuçlar alınarak pik elde edilmekte ve bundan da adi çelik yapılmaktadır.

3.4.1.8. Krom (Cr)

Bir çok cevher içinde kromit ($FeCr_2O_4$) olarak, % 1-3 civarında krom bulunur. Çelik yapımında, pik içindeki krom curufa geçer ve curufun akmasında güçlükler doğurur.

3.4.1.9. Nikel (Ni)

Nikel % 1'e kadar lateritlerde bulunur. Doğrudan pik içine geçer ve çelik yapımında oksitleme ile ayrılamaz. Bazı özel hallerde çelik içinde az miktarda nikel bulunması mekanik özelliklerini düzeltici yönden faydalı olabilir. Fakat çok kere bir dezavantajdır.

3.4.1.10. Arsenik (As)

Bazı demir cevherleri minerallerinde arsenik % 1'e kadar varan oranlarda bulunabilir. Arsenik genellikle kahverengi hematitlerde arsenopirit (FeAsS) ve lolinjit (FeAs_2) halinde bulunur. Arsenik yüksek fırın için bir problemdir ve bu bakımdan fosfora çok benzer. Büyük bir kısmı pik demire ve birçok çelik yapımı proseslerinde çeliğe geçer. Arseniğin fazla olması çeliğin soğukta kırılabilirliğini artırır ve kaynak edilme özelliğini azaltır. Adi çelikte % 0,15-0,25 arasında az miktarlarda ve su vermede % 0,05-0,10'a kadar arsenik kabul edilebilir. Cevherde çok fazla arsenik varsa kavurma veya sinterleme ile giderilmelidir.

3.4.1.11. Kalay (Sn)

Eğer demir cevherinde kalay varsa yüksek fırında hepsi pik demire geçer ve çelik yapımında oksidasyonla çelikten ayrılamaz. Kalay demir cevherlerinde o kadar az miktarda bulunur ki ne maden işletme ne de zenginleştirme prosesini etkiler. Nispeten az miktarlarda kalay çelikte zararlıdır. Kırılabilirlik, kötü yüzey oluşumu gibi etkileri vardır. Genellikle adi çelik içinde %0,05'den fazla kalay olmamalıdır.

3.4.2. Faydalı Empüriteler

3.4.2.1. Kireçtaşı (CaCO_3)

Cevherler içerisinde bir miktar bulunmaktadır. Faydalı bir empüritedir. Kireç bazik curufun ana bileşenidir. Cevher içerisinde % 15-20 civarında bulunması halinde ergitme esnasında ilave katkı (kireçtaşı) vermeksizin kendi kendine ergime özelliğini

verir. Cevher bünyesindeki kireç ergitme esnasında curuf yaptığı için istenilen bir unsurdur. Yüksek fırına şarj edilen malzeme içerisindeki kok külleri, cevherlerin gang materyelleri ve diğer empürite girdileri ile birlikte sıvı bir curuf meydana getirmektedir. Ergitme esnasında kireç ihtiyacını sağlamak için şarja kalker ilavesi yapılır.

3.4.2.2. Magnezyum Oksit (MgO)

Curufun önemli bileşenlerinden biri de MgO'tir. Cevherler içerisinde genellikle az miktarda bulunur. Normalin üstünde alüminadan dolayı curuftaki artan viskozite, MgO ilavesi ile giderilebilir. Bu durum $Al_2O_3 / SiO_2 >1$ olduğu durumlarda geçerlidir [7].

3.4.2.3. Manganez Oksitler

Demir cevheri içerisinde belirli oranlarda ve belirli mineral yapılarında bulunabilir. Türkiye'deki cevherlerde genellikle % 1-2 civarında bulunmaktadır. Genellikle fırın harmanına katılan manganez içeriğinin % 65-75'i pik demire geçmektedir. Kalanı oksit halinde ve şarj içindeki (S) 'le birleşerek mangan sülfürler halinde curufa geçmektedir. Bu nedenle ergitmede sıvı çelik içerisinde istenen Mn alaşım miktarına yardımcı olduğu gibi yüksek fırın işlemi içerisinde istenmeyen (S)'le birleşerek curufa geçerek sıvı madenden ayrılmasına yardımcı olduğu için her iki yönlü faydalı bir emprüdedir. Yüksek fırınlardan elde edilen ham demirdeki Mn oranının genelde % 1,0-% 1,2 civarında olması istenir. Bu nedenle yüksek fırın prosesi için bu orana uygun olarak şarj malzemesine manganez cevheri, demirli manganez cevheri veya manganı olan demir cevheri şarj harmanına katılır.

Kullanılan teknoloji ve hammadde özelliklerine bağlı olarak bir ton çelik üretimi için 2-9 kg. arasında manganez cevheri kullanıldığı ifade edilmesine rağmen genel uygulamada 5-7 kg. arasında değişmekte ve bu miktardaki manganez, çeliğe çoğu yönlerden optimum özellikler kazandırmaktadır [1].

3.5. CURUF YAPICILAR (FLUXLAR)

3.5.1. Kireçtaşı (CaCO₃)

Demir Çelik Tesislerinde yüksek fırın için kullanılan kullanılan kireç taşının tane boyut dağılımı 25-40 mm'dir. Curuf bazitesini ayarlamak için kullanılır. Baziteyi artırıcı etkisi vardır.

3.5.2. Çakmaktaşı (SiO₂)

Yüksek oranda SiO₂ içerir. Curufun bazitesini ayarlamak için kullanılır. Asidik karakterlidir. Curufun akışkanlığını düşürür.

3.5.3. Dolomit (CaMg(CO₃)₂)

Yüksek fırınlarda; iyi bir curuf yapmak, curuf akışkanlığını sağlamak ve curuf bazitesi dengesini kurmak amacı ile kullanılmaktadır.

Kimyasal Özellikler:

MgO: % 18 CaO: % 32 SiO₂: % 2 Al₂O₃: % 33 S: % 0,05

Fiziksel Özellikler:

Sinter tesislerinde kullanılan dolomitin tane iriliği 0-3 mm, yüksek fırınlarda kullanılan dolomitin tane iriliği ise 25-40 mm arasındadır.

3.6. METALURJİK KOK

Yüksek fırınlarda hammaddenin eritilmesinde kullanılan ısının ana kaynağı metalurjik koktur. Kok içerisindeki karbonun sıcak hava içerisindeki oksijen ile tüyer önünde reaksiyona girmesi sonucu CO gazı ile birlikte ısı açığa çıkar. Kokun yüksek

fınlara ısı sağlama özeliğinin yanı sıra fırın geğirgenliğin de katkısı önemlidir. Bu nedenle yüksek fırının düzenli çalışması kullanılacak kok kalitesine çok bağlıdır.

Yüksek fırının performansını etkileyen önemli kok özellikleri; kimyasal analiz, kompozisyon, tane ebadı, dayanıklılık ve reaktivitedir. Kokun kimyasal kompozisyonu, genellikle, uçucu madde, kül, kükürt, alkali ve fosfor miktarları vasıtasıyla ölçülür. İyi olarak kabul edilebilecek bir kokta şu özellikler bulunmalıdır.

Uçucu madde : % 1.2 max

Rutubet : % 5 max

Toplam alkali : % 2.4 max

Kül : % 10 max

Kükürt : % 0.6 max

Sabit karbon : % 88 min

Stabilite : % 58 min

+ 75 mm : % 15 max

- 25 mm : % 5 max

Kok mukavemeti, parçalanmanın sebep olduğu bozunma miktarı tesbit edilerek ya da tambur testi ile ölçülür. Tambur testinden elde edilen kok mukavemet indeksleri stabilite ve sertlik faktörleri olarak tanımlanırlar. Stabilite A.B.D.'de en çok kullanılan mukavemet ölçüsüdür ve kokun taşınması asnasındaki çarpmalara karşı bozunma eğilimini gösterir. Sertlik faktörü ise kokun taşınması esnasındaki aşınma eğilimini belirtir. Genel olarak, kok stabilitesinin artması yüksek fırın performansını artırır. Kok reaktivitesi, belli bir gaz akışı ve sıcaklık şartları altında CO₂ gazı ile reaksiyona giren kok karbonunun, karbon monoksite dönüşme oranını belirtir. Yüksek kalitede kok üretmek için gerekli bütün özelliklere sahip olan kömür rezervleri az olduğundan, çok sayıda kömür istenilen kok özellikleri sağlayacak şekilde karıştırılırlar [18].

3.6.1. Kömür

Kömür organik madde içeren ve genellikle sedimanter kayalar içerisinde sıcaklık, basınç ve bozuşma gibi etkiler sebebiyle değişime uğrayan önemli bir hammaddedir. Belirli özelliklerdeki (koklaşabilir) kömürün havasız bir ortamda ısıtılması ile uçucu maddelerini kaybederek sert ve iyi pişmiş katı bir ürün bırakmasıyla oluşan kok, birçok endüstri kolunda ve özellikle demir çelik sektöründeki ham demir üretiminin temel girdisi olarak kullanılmaktadır. Gelişen ülkelerde gelişmeye paralel olarak artan çelik ihtiyacı ve bunu tetikleyen üretim ve sanayileşme sebebiyle kok ve kok üretiminde kullanılan taşkömürü ihtiyacı da o oranda artma göstermektedir. Dünya üzerindeki enerji darboğazı, ihtiyacın artması ve ekonomik krizler sanayicileri yeni hammadde kaynakları aramaya yönlendirmiş ve bunlarla ilgili çalışmaların hızlanmasına sebep olmuştur. Sanayileşmiş ülkelerde kok ihtiyacının artması kaliteli taşkömürü ihtiyacını da artırmaktadır. Ülkemiz gibi taşkömürü kaynakları sınırlı olan ülkeler gereksinimlerinin büyük bir kısmını dış kaynaklardan temin etmektedir. Dış kaynaklardan temin edilen kömürler yerli kömürlere nazaran yüksek fiyatlı olsalar da kaliteli kok eldesi sebebiyle ekonomiktir. Ancak ekonomik sorunların yaşanması, tedarik zincirlerindeki gecikmeler ve kömür üreticilerinde rekabet ortamı oluşturmak için alternatif kömür kaynakları bulma ihtiyacı her zaman söz konusu olmuştur. Alternatif kömür kaynaklarının değerlendirilmesi, kömürün kok kalitesindeki etkilerinin net olarak bilinmemesinden dolayı tereddütle yaklaşılan bir konu olmuştur. Kömürler analizleri ve üretilebilecek kok kalitesi çeşitli hesaplamalar ve pilot test fırını çalışmaları ile tespit edilse de çalışma şartlarındaki farklılıklar aynı kaliteye ulaşılamamasına sebep verebilmektedir. Ancak bu test ve hesaplamaların önemini de hiçbir zaman göz ardı etmemek gerekmektedir. Bu konuda, Simonis ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kömür koklaşma özelliği ve koklaştırma koşullarına bağlı olarak kok sağlamlığının hesaplanması, Gray ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kömürün petrografik kompozisyonundan, kok sağlamlığının hesaplanması, Miyazu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmayla da kömür karışımı refleksiyon oranı (ortalama) ve akışkanlığı yardımı ile optimum kömür karışımının saptanması çalışmaları bulunmaktadır. Kok fabrikalarında kullanılan kömür ve kömür karışımlarının koklaşma özelliğinin tespiti genelde koklaşma test fırınlarında yapılmaktadır. Test fırınlarından elde edilen sonuçlar her

ne kadar asıl değerlere yakın olsa da yetersizdir ve işletme şartlarında koklaşma özelliklerinden sapmalar görülebilmektedir [18].

3.6.1.1. Kömürlerin Sınıflandırılması

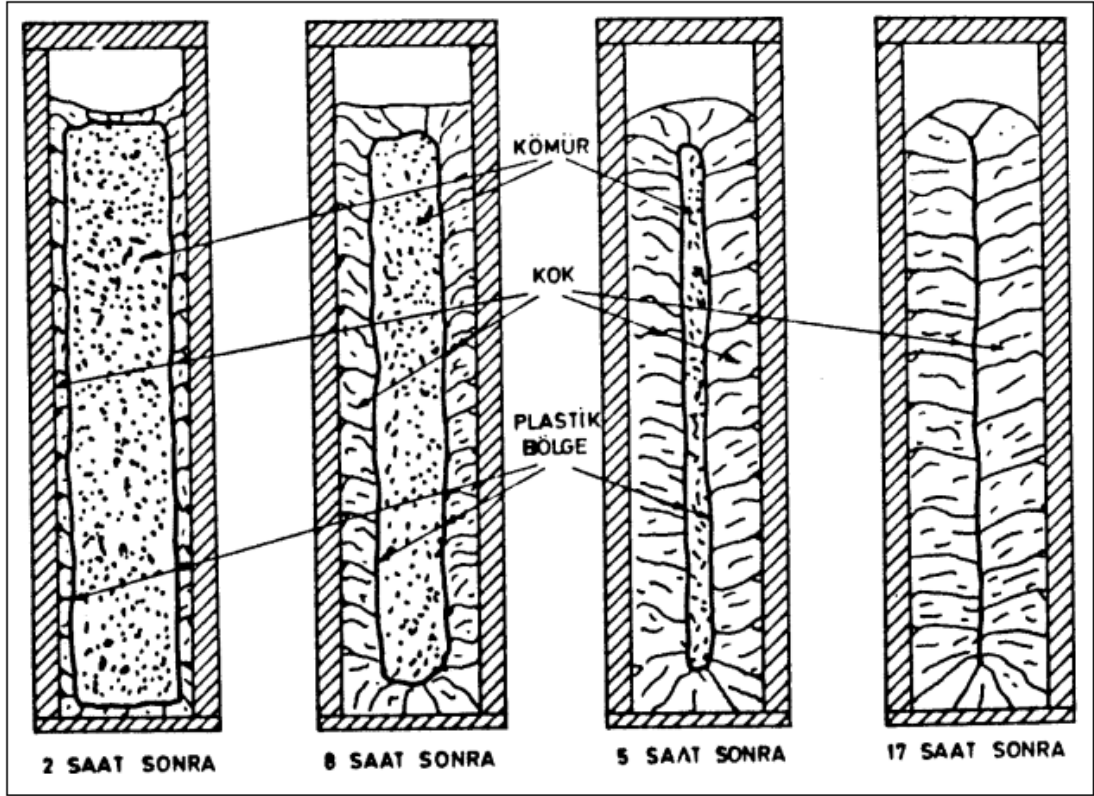
Kararlı bir element olan karbondan oluşan kömür, bünyesinde çeşitli organik maddeler ve inorganik bileşikler ile kükürt, oksijen, hidrojen ve azot bulunduran bitkisel kökenli, fiziksel ve kimyasal olarak farklı yapıya sahip tortul kayaçlardır. Kömürleşme derecesi rank olarak ifade edilir. Sıcaklık kömürleşmeyi hızlandırır ve kömürleşme derecesini artırır. Kömürleşme derecesi artıkça kömürün karbon içeriği artarken, hidrojen ve oksijen içeriği azalır. Kömür belirli miktarda karbon, hidrojen, oksijen ve az miktarlarda azot ile kükürdü belirli oranlarda içeren bir organik maddedir. Bu maddenin karbon iskeleti ve bu iskelete oksijen, hidrojen, azot ve kükürt atomlarının nasıl bağlandığı önemlidir. Kömürdeki varlığı düşünülen molekül tipleri, bunların büyüklükleri, molekül ağırlıkları, ısı, katalizör ve üzücü karşısındaki davranışları çok önemlidir. Kömürleşme derecesine göre kömür türleri düşük kömürleşme olan linyitten başlayarak altbitml kömür, yüksek uçuculu altbitml kömür, orta uçuculu altbitml kömür, düşük uçuculu bitümlü kömür ve antrasit olarak sıralanır [18].

3.6.2. Koklaşma

Kömürün havasız bir ortamda ısıtılmasıyla, uçucu maddelerini kaybederek sert ve iyi pişmiş katı bir ürün bırakması olayına koklaşma denir. Uçucu maddeler kömür bünyesinden çıktıktan sonra kalan sert, gözenekli sünger yapılı ve karbon yüzdesi çok yüksek olan ürüne kok adı verilir. Kok fırınlarına şarj edilen kömür, havasız bir ortamda yan duvarlardan aldığı ısı ile fırın duvarından merkezine doğru koklaşmaya başlar. Havasız bir ortamda ısınan kömür 200 C'ye kadar nemini kaybederek kururken oluşan gazlar (CO₂ ve CH₄) bünyesinden uzaklaşmaya başlar ve termal genişlemeye uğrar. 200–400 C arasında ısınan kömürde bir yumuşama ve ergime görülür. Bu sırada kömürün hacmi küçülür. Fırın merkezine doğru ısı artmaya devam ettiği için merkeze doğru ergime olurken sıcaklığın yükseldiği dışta plastik bir bölge oluşur. 450- 550 C arasında Ham Kok Gazının çıkışına plastik bölgenin direnç

göstermesi sebebiyle kömürde şişme meydana gelmekte ve plastik bölgenin sertleşmesi ve gözenekli yapının oluşması ile yarı koklaşma meydana gelmektedir. Sıcaklık artmaya devam ettikçe (700 - 800 °C) hidrojen ve CO gazları çıkışlarıyla yarı kok bozulması başlar. Ancak hidrojen miktarı hala fazladır. 800 °C üzerinde grafitleşme ve 900 °C üzerinde çatlak yapıli kok oluşmaya başlar. Yaklaşık 1000 °C civarında hidrojen iyice ayrılır, son büzülme meydana gelir. Koklaşma fırın yapısı ve hedeflenen süre dikkate alınarak hesaplanan sıcaklığa (1150–1300 °C) ulaşıldığında tam olarak sağlanır. Koklaşmada en önemli olay, kömürden yarı koka geçişte gerçekleşen plastik bölgedir. Kömürün ısıtılması sırasında genellikle 350–550 °C arasında yumuşaması, ergimesi, hacminin küçülmesi, tekrar artarak şişmesi, taneciklerin yapışarak pişmesi ve sonunda tekrar katılaşmasının gerçekleştiği bu bölgeye plastik bölge denir. Kömürün bu söz konusu bölgedeki dayanımına da kömürün plastik özelliği denir. İyi koklaşabilir bir kömür plastik özelliklerine sahip olmalı ve belirtilen aşamaları tek tek ve sırayla geçirmelidir.

Kok fırınlarında havasız bir ortamda koklaştırılan kömür fırın yan duvarlarından aldığı ısı ile koklaşmaktadır. Koklaşmada kullanılan enerjinin ana kaynaklarından biri koklaşma sırasında açığa çıkan kok gazı veya yüksek fırın gazıdır. Koklaşmada her ne kadar kömür kalitesi çok önemli olsa da işletme şartları da önem arz etmektedir. Dikdörtgen bir prizma şeklinde olan fırınlar yandan ısıtmakta ve koklaşma fırın duvarlarından içe doğru olmakta ve tam orta noktada iki taraftan başlayan plastik bölge birleşmektedir. Bu birleşmede fırın ortasından kayma meydana gelmişse kaymaya sebep olan kısımda ısıtmanın fazla olduğu dolayısıyla koklaşma hızının fazla olduğu belirlenir ve o duvara ait ısıtma gazı azaltılır. Fırın içerisindeki bu dengesizlik koklaşmanın bir tarafta tamamlanmışken diğer tarafta devam etmesi anlamına gelir ki bu durum kok kalitesini fırın içerisinde bozar. Metalurjik kok üreten fırınlarda plastik bölgenin içerele doğru ilerleme hızı ortalama olarak saatte 1,25 cm'dir. Yani duvardan başlayan iki plastik bölgenin toplam hızı saatte 2,5 cm olur ki, 43 cm eninde bir fırın, kömür ile doldurulduktan 17 saat sonra dışarı itilir.



Şekil 3.3. Plastik bölgenin fırın içindeki davranışı [18].

Koklaşma, kömür harmanını oluşturan kömürlerin rankına, bileşimine, plastikleşme derecesine, kömür oksidasyonuna, tane boyutuna, ısıtma hızına ve koklaşma süresine bağlıdır. Kokun, yüksek fırınlarda; demir oksitlerin demire indirgenmesi için gerekli gazları (CO) oluştururken Mn, S, P ve diğer oksitleri indirger. Demiri karbürize ederek ergime sıcaklığını düşürür. Yüksek fırın içerisinde geçirgenlik ve şarja mekanik destek sağlar. Kok, demir ve curufun eritilmesi ve endotermik (ısı alan) kimyasal reaksiyonlar için gerekli olan ısıyı sağlayan çok önemli bir yakıttır. İdeal bir yüksek fırın kokunun maksimum oranda karbon içermesi, düşük küllü ve kükürtlü olması, karbondioksit ve su buharına karşı reaktivitenin belli sınırlar içinde kalması, uygun porozitede, dar bir parça dağılımında ve özellikle mekanik olarak sağlam olması arzu edilir [18].

3.6.3. Kokta Aranılan Özellikler ve Verimliliğe Olan Etkileri

Metalurjik kokun yüksek fırında kullanılması sırasında belirli kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması istenir.

Bu özellikler:

1. Parça büyüklüğü
2. Gözenek durumu
3. Özgül ağırlığı
4. Reaktivitesi
5. Mukavemet [1].

3.6.3.1. Kokun Fiziksel Özellikleri

Yüksek Fırının düzgün ve verimli çalışması için fiziksel özellikleri çok önem arz etmektedir. Özellikle soğuk mukavemet olarak adlandırılan M_{40} ve M_{10} değerleri ile sıcak mukavemet olarak adlandırılan CSR ve CRI değerleri fırın hacmine bağlı olarak uygun aralıkta olmalıdır. Bu konu bölüm 5'te detaylı anlatılacağından burada kısaca değinilmiştir [19].

Özgül Ağırlık

Görünür özgül ağırlık: Min $0,9 \text{ gr/cm}^3$, max 1 gr/cm^3

Gerçek özgül ağırlık: Min $1,87 \text{ gr/cm}^3$ değerindedir.

Gözeneklilik

Min gözeneklilik % 48, max gözeneklilik % 52 değerinde olmalıdır.

Boyut Dağılımı

Uygun kok boyutu 60-80 mm'dir. Üst boyut 100 mm olup, alt boyut ise 25 mm'dir. Ancak bununla beraber fırında kullanılacak kok boyutlarının dar bir aralıkta dağılım göstermesi tercih edilir.

Mukavemet

Kokun yüksek fırında taşıyıcı yüke dayanması şarttır. Stabilitesi iyi olan kok üretimi % 1 arttırır.

3.6.3.2. Kimyasal Özellikler

Kaliteli bir kokta kül, alkaliler, fosfor ve çinko gibi problemlili maddeler az miktarda olmalı ve kükürt gideriminin bir maliyeti olması nedeniyle kok içinde kükürt oranı düşük olmalıdır. Kokun kimyasal özellikleri bu nedenle önemlidir [20].

Rutubet

Kokun rutubet miktarı da verimli yüksek fırın çalışmasını belirleyen önemli bir kalite parametresidir. Kok rutubetindeki % 1 artış eşdeğerinin 10 kg/ton kok veya 5 kg/TSM kok olduğu söylenebilir. Bu ise tepe sıcaklığının yaklaşık 7 °C (500 kg/TSM kok oranında) azalması anlamına gelmektedir. Kok rutubetinin sabit bir değerde olması yakıt girdisi dengesi ve fırının ısıl dengesi bakımından çok önemlidir. Kok rutubetinin çok fazla değişkenlik göstermesi ve bunun zamanında tespit edilerek tedbir alınmaması durumunda fırın çalışması ve sıcak maden kalitesi üzerine etkisi büyük olmaktadır. Yüksek değerlerdeki rutubet fırında aşırı soğumalara neden olmaktadır [20].

Kok Külü

Yüksek fırında düşük curuf oranı istendiğinden kok külü oranının düşük olması çok önemlidir. Kok külünün yüksek fırın ısı balansı üzerine önemli iki negatif etkisi vardır.

1. Yüksek kül miktarı daha düşük karbon miktarı yani daha düşük kalorifik değer demektir. Külün % 1 artışıyla raceway'de 25 kcal/ kg-kok enerji girdisinde azalma meydana gelmektedir.
2. Kül miktarının artmasıyla bu külü ergetmek için ilave enerji gereksinimi ortaya çıkmaktadır.

Kok külü genelde % 50 SiO₂ ve % 30 Al₂O₃'dan (asit bileşenler) oluşmaktadır. Bu nedenle gerekli flaks malzemeleri (CaO veya CaCO₃) eklenmesi gerekebilir. Bu ise sonuçta cüruf hacminin ve kok oranının artmasına neden olmaktadır. Kül miktarının her % 1 kg/ton artışı yaklaşık 6 kg CaO veya 10 kg CaCO₃ gerektirmektedir. Bunun sonucunda ton kok başına curuf hacmi 16 kg artmaktadır. Bu ise her % 1 kok külü artışı için 10 kg/TSM kok oranının artması demektir. Kok külünün artması aynı zamanda sıcak madendeki silisyum ve kükürdün de yükselmesine neden olmaktadır [2].

Kükürt

Yüksek fırına sinter ve kokla giren kükürt, doğrudan doğruya pik demir kalitesini etkilemektedir. Deneylere göre (S)'ün % 70-95'i koktan gelmektedir. Şarj içerisindeki kükürt miktarı, curuf bazikliğini, curuf hacim ve sıcaklığını, oksijen potansiyelini (Fe+MnO) ve demir kalitesini etkilemektedir. Yüksek miktardaki kükürtün uzaklaştırılması için curuf bazikliğinin artırılması gerekmektedir. Bu durumda ise işletme verilerine göre elde edilen pik demir miktarı azalmakta kok tüketimi ise artmaktadır.

Kok kükürdünün her % 0,1 artışı sonucu kok oranı 2,5 - 4,0 kg/TSM artmaktadır. Kokta kükürdün yüksek olması cüruf bazitesinin artmasına veya başka bir deyişle daha fazla kireçtaşı kullanılması anlamına gelmektedir. Bu ise kok oranının artmasına neden olmaktadır. Kükürt çelikte zararlı bir element olduğundan sıcak madende kükürdü % 0,02-0,06 oranlarına düşürmek için mutlaka kükürt giderme işlemi yapılmak zorundadır. Kaliteli ve ekonomik sıcak maden üretmek için düşük kül ve kükürt miktarına sahip kok kullanımı gerekmektedir [18].

Uçucu Madde

Yapılan araştırmalara göre kok içerisindeki uçucu maddenin % 0,3-0,8 oranları arasında olması halinde yüksek fırında herhangi bir problem yaratmamaktadır. Ancak uçucu maddenin % 0,1 artması, kok tüketimini 1,5 kg/ton arttırmaktadır [18].

Kok Alkalileri

Fırın çalışması üzerine negatif etkileri nedeniyle kok alkalileri (K_2O , Na_2O) düzgün bir fırın çalışması için çok önemlidir. Genel politika demirli malzeme ve kömürlerin dikkatli seçimi yoluyla düşük toplam alkali girdisini (2 kg/TSM) sağlamaktır. Yüksek fırın kokları içinde toplam alkali % 0,2 olmalıdır. Alkaliler yüksek fırına cevher gangının veya kok külünün bir kısmını oluşturan kompleks silikatlar şeklinde girerler. Yüksek fırını terk edişleri ise refraktere yapışanları skaffold dışında curuf ve tepe gazı yoluyla olur. Yüksek sıcaklık nedeniyle yüksek fırının alt bölgelerinde alkali oksitleri (K_2O , Na_2O) indirgenerek buharlaşır ve diğer gazlarla birlikte yukarıya doğru çıkar. Fırının üst bölgelerinde sıcaklığın düşmesiyle tekrar yoğuşur. Fırın içindeki bu sirkülasyon tüyer-raceway alanına yakın kısımlarda ağır alkali birikmesine neden olur. Tüyer seviyesinden alınan kok numunelerinde alkali miktarı normalin 10 katı fazla çıkmıştır. Genelde alkaliler fırın çalışmasını üç yolla etkiler:

1. Kok içindeki izotropik karbonun tercihli olarak bozunumunun hızlanması. Bu, kokun fırının alt bölgelerindeki mekanik mukavemetinin azalmasına neden olur.
2. Alkalilerin bir kısmı fırının üst bölgelerinde fırın astarına skafolt veya skab (kabuk) olarak yapışır. Sonuç olarak malzeme hareketini engeller, kayma ve askılanmaya neden olur.
3. Alkaliler silika-aluminyum bazlı refrakterlere nüfuz ederler ve fırın astarının zarar görmesine neden olurlar. Belli durumlarda eğer alkali girdisi çok yüksekse haznedeki karbon tuğlalara ve kenar duvarlarına da zarar verebilir.

Özet Olarak Kokun Özellikleri

1. Ortalama rutubet oranı % 3'tür. Bu oran maksimum % 7,7 ve minimum % 1'dir.
2. Kül içeriği ortalama % 10,5 değerindedir.
3. Ortalama uçucu madde oranı % 1,1 'dir.
4. Toplam kükürt oranı ortalama % 0,8 değerinde olup, % 0,6-1,1 değerleri arasında değişmektedir.
5. Sabit karbon miktarı ortalama % 88'dir [5].

3.7. KARDEMİR A.Ş. KOK FABRİKALARI

Kok fabrikaları prosesi içinde, kömürden kok üretimi gerçekleşirken koklaşma sırasında uçucu maddelerle kömürden ayrılan Ham Kok Gazının temizlenmesi sırasında çeşitli yan ürün (Kok gazı, Ham Katran, Ham Benzol, Naftalin ve Amonyum Sülfat) elde edilmektedir. Kok fabrikaları günümüzde, 1968 yılında devreye alınan 1-2 Bataryada 44, 1986'da devreye alınan 3-4 Bataryada 56 fırın olmak üzere, 4 Batarya 100 fırında üretim gerçekleştirilmektedir. Toplam 129 fırın/gün itme kapasitesine sahip fırınlarda faydalı hacim 24,3 m³ tür. 129 fırın/gün İtme programı, 2450 ton/gün kömür şarjı ve % 77 kok+kok tozu verimi düşünüldüğünde 1900 ton/gün kok + kok tozu elde edilmektedir.

Üretim prosesine Kömür Hazırlama Tesisleri ile başlayan kok fabrikaları; kok fırınları, kok kırma eleme tesisi ve ham kok gazının işlendiği yan ürünler tesislerinden oluşmaktadır [21].

3.7.1. Kömür Hazırlama Tesisleri

1963 yılında Dr. C. Otto tarafından inşa edilen tesis, kokun hammaddesi olarak Zonguldak havzası (TTK) ve ithal (ABD, Kanada, Avustralya, Polonya ve Ukrayna) kaynaklardan temin edilen taşkömürünün stoklanması ve harmanlanmasını sağlamaktadır. Zonguldak havzasından temin edilen yerli (TTK) kömürler ile Erdemir ve Zonguldak limanına gelen ithal kömürler daha sonra demiryolu ile kömür stok sahasına ulaşmaktadır. Fabrika sahası içine gelen kömürler, kalite ve geldikleri kaynaklara göre 150 000 ton kapasiteli stok sahasında stoklanmaktadır. Kömürler kalite değerlerine göre harmanlanmak üzere bant konveyörler aracılığı ile harman siloya alınmaktadır. Harman silo 3 ayrı kömürün harmanlanmasına uygun olarak 400 tonluk üç adet (1200 ton) bunkerden oluşmaktadır.

3.7.2. Kok Fırınları

Kok fırınları 1/2 Bataryada 44, 3/4 Batarya da 56 fırın olmak üzere, 4 Batarya 100 fırından oluşmaktadır. Batarya ortak ısıtma gazı ve ana gaz toplama borusuna sahip

fırın gruplarından oluşur. Kok fırınları, kömür hazırlama tesisinin son noktası olan şarj silo altından şarj arabaları vasıtasıyla alınan harmanlanmış kömürler ile şarj edilir. Şarj arabaları yaklaşık 20 ton kömür alabilmekte ve bunu bir fırına şarj etmektedir. Fırına şarj olan miktar yine fırın üstünde yer alan kantar vasıtasıyla tartılmakta ve fırın numarasına göre raporlanmaktadır. Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları kuruluş kapasitesi 129 fırın/gün olduğu için şarj gün içerisinde 129 kez tekrarlanmakta ve günde yaklaşık 2450 ton kömür şarjı gerçekleştirilmektedir. Kapasite kullanımı kömür stokuna, çalışma şartlarına ve ihtiyaca göre değişme gösterebilmektedir. Günlük 129 fırına göre hesaplanmış itme programı çerçevesinde 1250-1300 °C’de 18-20 saat koklaştırılan kömür itici ve kılavuz arabaları aracılığı ile söndürme vagonetine alınır. Fırın içerisinde oksijensiz bir ortamda koklaşan kömür, fırından itilmesi sırasında havayla temasa geçtiğinde yanmaya başlar. Kokun yanmasını engellemek için söndürme kulesi altında yaklaşık 26 ton su kok üzerine boşaltılarak söndürülür. Söndürülen kok, yüksek fırınların istediği metalurjik kok ebatlarına indirilmek, kok tozundan ayrılmasının sağlanması ve ebatlandırılmak için kok rampasına oradan da konveyörler aracılığı ile Kok Kırma eleme Tesisine alınır.

3.7.3. Kok Kırma Eleme Tesisi

Üretilen kokun ebatlandırılarak yüksek fırınlara sevkini sağlandığı tesistir. İlk kuruluş aşamasında +40 mm kok yüksek fırınlara sevk edilirken 1981 yılında işletmeye alınan kırma eleme tesisi ile iri parçaların kırılması ile kokun ebatlandırılması sağlanmıştır. Kırma eleme tesisinde, 2 adet elek çapı 90 mm olan döküm kok, 2 adette elek çapları 20/45 mm ve 25 mm olan ebatlandırma eleği bulunmaktadır. Döküm kok ihtiyacı olmadığı durumlarda 90 mm elek üstü silindirik kırıcıdan geçirilerek kokun 90 mm altına kırılması sağlanır. Silindirik kırıcı, üst bantlardan gelen kok iki silindir arasında sıkıştırılarak kırılmaktadır. Silindirlerin bir tanesi kılavuz arabası söndürme vagoneti hareketli olup silindirler arası daraltılıp açılarak istenen ebat genişliğine ayarlanarak istenen ölçüde kırılma sağlanmaktadır. Kırıcı kapasitesi 30 ton/s’tir. Fırınlar’da üretilen kok kırma eleme tesisinde döküm kok, metalurjik kok, ceviz kok ve kok tozu olarak ebatlandırılmaktadır. Metalurjik kok yüksek fırınlarda kullanılırken, kok tozu sinter ve çelikhanede kullanılmaktadır. Metalurjik kok ve kok tozuna göre daha az üretilen döküm kok,

döküm firmalarında kullanılırken ceviz kok şeker ve kireç fabrikalarında kullanılmaktadır [21].



Şekil 3.4. Kardemir kok fırınları [18].

BÖLÜM 4

ALKALİLER

4.1. ALKALİLER (Na₂O-K₂O)

Fırın içerisinde indirgenmez ve demir üzerinde hiçbir tesiri olmaz; ancak yüksek fırın işletmeciliğini, önemli bir şekilde etkiler ve işletme problemlerininin olmasına neden olurlar. Genellikle demir cevherlerinde ve bilhassa kok içerisinde bir miktar alkali bulunmaktadır. Yüksek fırın şarjına, bu tür malzemenin veya yardımcı hammaddeler (Kireç taşı, manganez cevheri vs.) den girerler.

Alkaliler, demir cevheri bünyesinde bulunmaz, genellikle yataşlardan maden istihracı esnasında cevher içerisine karışmaktadır. Maden yatağının teşekkülü, hangi şekilde meydana gelirse gelsin genellikle cevher teşekkül alanı içerisinde dağınık bir şekilde az veya çok miktarda ara katmanlar (cevher almayan kayaçlar) bulunur. Bu kayaçlar genelde silikatlar, karbonatlar, şistler veya killer olmaktadır.

Örneğin:

Feldispatlar: $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$

$Na_2O.Al_2O_3.4SiO_2$

Feldipoitler: $Na_2O.Al_2O_3.4SiO_2$

$K_2O.Al_2O_3.4SiO_2$

Tuzlar: Na_2O_2

Karbonatlar: $Na_2O.CO_2$

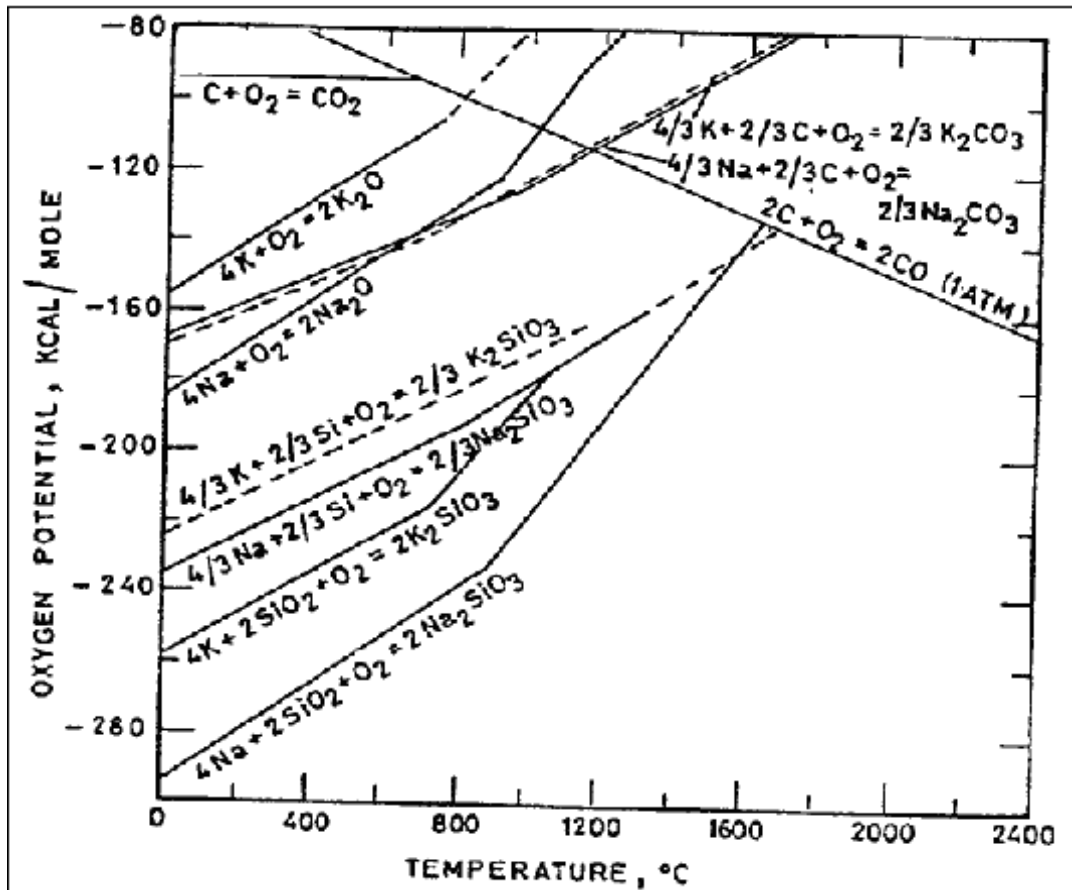
Proksenler: $K_2O.SiO_2$

İşletme esnasında bu tür malzemenin cevher içerisine karışmamasına özen gösterildiği ölçüde alkali girdisi o ölçüde azalacaktır. Cevher içerisine karışmış veya cevher bünyesine yapışmış alkalilerin cevher bünyesinden arındırılması mümkündür.

Şayet alkaliler yantaşlardan kaynaklanıyorsa (genellikle yumuşak karakterli killerden) basit bir yıkama işlemi ile arındırabilir. Cevher bünyesine yapışmış halde ise arındırma işlemi daha zor ancak cevher zenginleştirme metodları ile elimine edilmesi gerekir [7].

4.1.1. Alkali Metaller ve Bileşikleri

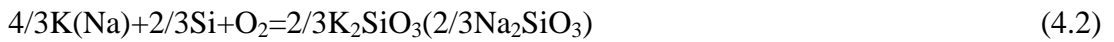
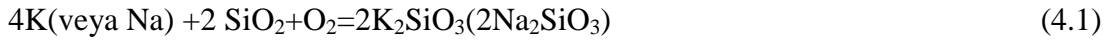
Bunların giriş aralığı yaklaşık 10 kg/TSM'e kadar çıkabilir. Dışarı giden curufta bunların konsantrasyonu çok nadir % 2'yi geçer. Malzeme dengesi, giren alkalilerin curufa geçen alkalilerden çok daha fazla olduğunu göstermiştir. Çok ufak parçalara ayrılmış toz, gazın bir kısmı ile kaçır. Geriye kalan, gövde kısmındaki refrakterler tarafından tutulur.



Şekil 4.1. Alkali oksitlerin oksijen potansiyel diyagramı [4].

Yüksek fırında alkali oksitlerin, silikatların ve karbonatların indirgenme-yükseltgenmelerinin termodinamiği Richardson ve Jeffes'in oksijen potansiyel diyagramından anlaşılabilir. Son kullanılabilir bilgilere göre hazırlanmış diyagram şekil 4.1'de gösterilmiştir. Fakat bu, reaksiyonların temel mekanizmalarını etkilemez. Şekil 4.1 alkali silikatların, oksit ve karbonatlara göre indirgenmeye daha çok dirençli olduğunu göstermektedir [6].

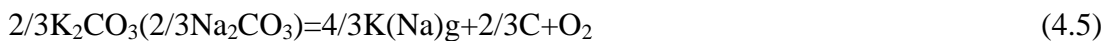
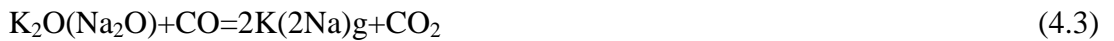
Sıcaklığa ve değişik bileşenlerin aktivasyonlarına bağlı olarak silikatlar C-CO çizgisi üzerinde ve aşağıdaki reaksiyonlar gereğince alkali buharları ve silikaya veya alkali buharı ve silise indirgenebilir.



Fırının alt kısımlarında ve tahminen $P_{\text{CO}} = 1.0 \text{ atm}$ 'de saf sodyum silikat $1650 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde saf silis ve Na buharı'na karbonla indirgenebilir, bunun potasyum için değeri $1550 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Richardson ve Jeffes, tüyerlerde oluşan Na ve K'un buhar basınçlarını, bu silikatların aktivasyon değerini, $1400\text{--}1500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de $0,02$ ve $0,06$ olarak kabul ederek $0,015 \text{ atm}$ ve $0,025 \text{ atm}$ olarak tahmin etmişlerdir.

Böylece bir taraftan silisin demir içindeki erimesi, alkali buharların basıncını artırırken, diğer taraftan hızlı gaz akışı basıncı düşürme eğiliminde olabilir. Richardson ve Jeffes bu basıncı $0,001\text{--}0,002$ atmosfer arasında kabul etmişlerdir.

Alkalice zengin gazlar orta sıcaklıktaki bölgeye ($800\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C}$) inerlerken, (bu bölgede $\text{CO}/\text{CO}_2 = 2,5\text{--}3,0$ 'tür) bunlar yeniden oksidize olabilirler veya alkali karbonatlara dönüşebilirler.



(Şekil 4.1) karbonatlar 1100–1200 °C nin üzerinde CO ile stabil durumdadır. Böylece 0,001–0,002 atmosferik alkali basıncı ile, CO/CO₂= 2,5–3 oranı ile 900–1000 °C üzerinde karbonatların oluşması mümkündür. Bu sıcaklık ve CO/CO₂ oranında oksitler karbonatlardan daha az stabildirler. Denge kısmı basınçları eşitlik 4,3'e göre Na buharı 0,06 atm K buharı için 0,55 atmosferdir.

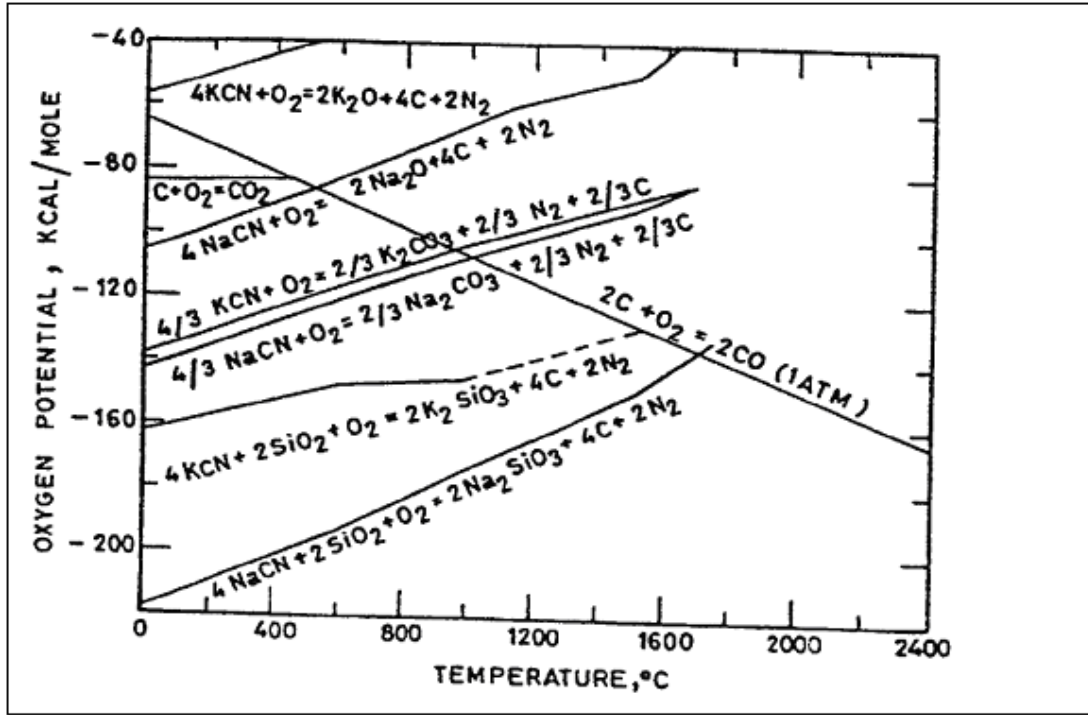
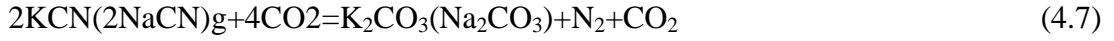
Alkali buharlarının fırının orta bölgelerinde CO₂ tarafından oksidize edildiği düşünülebilir. Buharların bir bölümü tepeden atılırken, bir bölümü refrakter malzeme ile reaksiyon verir, bir bölümü de şarj malzemesi ile birlikte fırının sıcak bölgelerine iner. Burada indirgenirler. Dolayısıyla yüksek alkali metal basıncı ve yoğunluğu (konsatrasyonu) nedeni ile fırının indirgeme ve yeniden oksitlenme zonları arasında yoğunlaşırlar. Sodyum ve Potasyum karbonatların erime sıcaklıkları sırası ile 850 ve 900 °C olduğundan, sıvı karbonatlar 850 °C üzerinde oluşurlar.

Alkali metallerin silikatlara yeniden oksitlenmesi CO ile verilecek reaksiyonla ile mümkün olduğu gibi karbonun olduğu ortamlarda bu reaksiyon metal SiO₂'si veya refrakter içindeki SiO₂ ile de mümkündür. Bu reaksiyonlar alkali buhar basıncının 0,001-0,002 atmosfer olduğu, 700 °C'lik sıcaklığa sahip bölgelerde gerçekleşebilir. Buradan da anlaşıldığı gibi yüksek fırın refrakter örgüsü alkali aşındırmalarına sürekli maruz kalmaktadır.

Karbonat ve silikat oluşumlarından ayrı olarak alkali metaller siyanitler şeklinde de bulunurlar.



Katı karbonun ve P_N=1,5-2 atm bulunduğu ortamda siyanitler bosh ve tüyer bölgelerinde oluşurlar. KCN ve NaCN'nin erime sıcaklıkları 622 ve 562 °C'dir. Kaynama noktaları ise 1625 °C ve 1530 °C'dir. Yani bosh ve alt gövde de sıvı tüyer zonunda gaz halinde bulunurlar. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi siyanitler oksitlerden daha stabildirler. Ancak silikalı ortamda, fırının her bölgesinde kararsız durumdadırlar.



Şekil 4.2. Alkali siyanitlerin oksijen potansiyel diyagramı [4].

Reaksiyon 4.7 CO/CO₂ oranı ve fırının orta bölgelerindeki gaz sıcaklığı, karbonat oluşumuna uygun olduğu zaman gerçekleşir.

Normal olarak siyanitler fırının alt bölgelerinde silikatlar yeniden oksitlenebilirler, ancak ortamda katı ve sıvı fazda silikatların bulunması gerekir. Böylece siyanatlar heterojen yapıdaki şarj malzeme ve hızlı gaz akışı nedeni ile fırının yüksek oksijen potansiyeline sahip bölgelerine doğru inerler ve burada CO₂ ile oksidasyonuna uğrayarak katı karbonatlara parçalanırlar. Bu karbonatların bir bölümü tepe gazı ile atılır. Bu gaz daha sonra soba ısıtmada kullanıldığından, soba refrakter malzemesine zarar vermemesi için iyice temizlenmelidir.

4.2. ÇİNKO (Zn)

Bazı demir cevherlerinde bir miktar Zn bulunur. Eğer Çinko miktarı % 0,2'nin altında ise yüksek fırınlarda kolayca kullanılabilir. Şarj malzemesinde bulunan (Zn),

mayi madene ve curufa geçmez. Çinko bileşikleri fırının alt kısımlarında indirgenerek gaz ile birlikte küçük çinko veya çinko oksit parçaları halinde uçar. Yüksek fırın içinde gaz halinde uçuşan çinko parçacıkları, fırının üst cidarlarında kalın çinko oksit tabakaları oluştururlar.



ZnO, fırının üst cidarlarında tabakalaşma yapacağı gibi, fırındaki ateş tuğlası içindeki alümina ile birleşerek tuğlaların şişmesine sebep olur. Çinko buhar tozunda tuğlaların içine girebilir ve tuğlaların ayrışmasına sebep olurlar($\text{ZnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$).

Çinkonun mevcudiyeti yüksek fırın içerisinde fayalit ve gersenit oluşmasına yardımcı olur. Fayalit ve gersenit ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yüksek fırında indirgenmesi zor ve üretim kayıpları meydana getiren bileşiklerdir. $\text{FeO}(\text{ZnO})$ buharı tuğlalarda çatlaklar meydana getiren katalizör görevi yapar. “C” yardımıyla tuğlalarda açılan çatlaklara alkaliler ve ZnO’leri dolarak tuğlaların, yumuşama sıcaklıklarını düşürür ve daha sonra tuğlalarda hacim genişlemesi (% 20-% 40) olur ve tuğlalar parçalanır. Bunun için Zn ile alkaliler müşterek olarak hareket ederek tuğlalar üzerinde yıkıcı etkilerini artırır.

Japon bilim adamlarının bu gibi parçalanmalarla ilgili olarak yaptığı araştırmalarda, 3,5 yıl zarfında tuğla kalınlığı 1350 mm olan bir yüksek fırının tuğla parçalanma yüzünden 600 mm’ye düştüğü müşahade edilmiştir [5].

Yukardaki izah edilen etkenlerden dolayı cevher içerisindeki çinko miktarı % 0,2’nin üzerinde olması istenmez [22].

Çinko birçok element içinde indirgenebilirliği zor olan ferritler ($\text{Zn,Fe})\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ veya $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, silikat $2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$, sülfat ($\text{Zn,Fe})\text{S}$ veya ZnS olarak bulunur. FeO, çinkonun mevcudiyeti yüksek fırın içerisinde Fayalit ve Gersenit oluşmasına yardımcı olur. Bu bileşikler Yüksek Fırında indirgenmesi zor ve üretim kayıpları yapan fazlardır. Ayrıca bu bileşiklerdeki FeO yapısı, fırın içindeki C ile reaksiyona girerek kok sarfiyatını artırır. Sıcaklığın 1000 °C üzerinde olduğu üst bölgelerde

($Zn+CO_2=ZnO+CO$) metalik çinko buharı (ZnO) olarak indirgenirler ve fırın içerisinde kalın çinko oksit tabakaları oluştururlar. ZnO, fırının üst cidarlarında tabakalaşma yapacağı gibi fırındaki ateş tuğlalarının ek yerlerine nüfuz eder, soğutma plakaları etrafında metal olarak katılaştır ve tuğlaların ayrışmasına sebep olabilir. Ayrıca, fırın boğazında birikintiler meydana getirir ve gövde bölgesinde skaffold oluşturur.

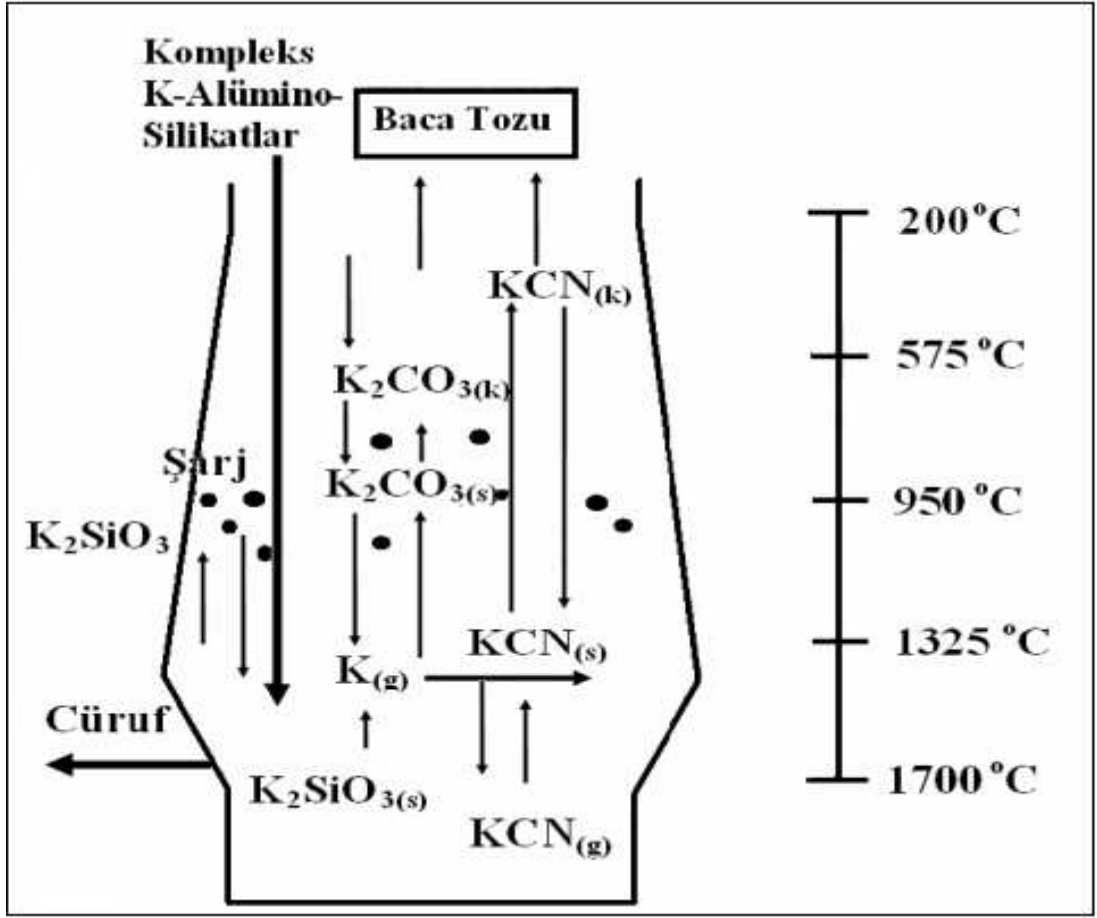
YF'a giren toplam Zn girdisinin max. 250 gr/TSM olması tercih edilir. Aksi takdirde alkali gibi refrakter ve kok üzerinde olumsuz etki yapar, prosesin bozulmasına yol açar.

Şarj malzemeleri ile fırına giren Zn'un yaklaşık % 70'i sinter ile girmektedir. Bu nedenle sinterdeki Zn kontrolü büyük önem taşımaktadır.

4.3. ALKALİ HAREKETİ

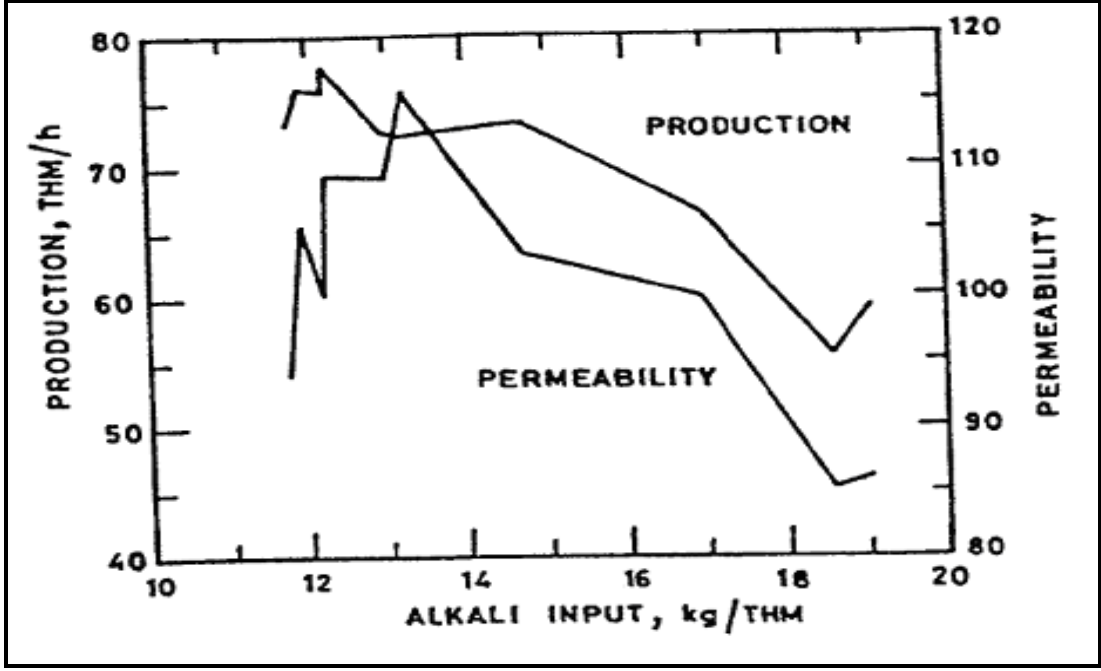
Tüyer ve bosh bölgesinde uçucu olarak bulunan alkali buharları yüksek fırın gazı ile fırının üst bölgelerine taşınırlar. Oksijen potansiyelinin yüksek olduğu soğuk bölgelere ulaştıklarında, alkali buharlarının bir bölümü fırın refrakter örgüsü ile reaksiyon verirler. Bir bölümü de şarj malzemesine yapışır. Şarj malzemesi fırının sıcak olduğu alt bölgelerde hareket ederken indirgenir ve tekrar yukarı doğru yükselirler. Bu hareket sürekli olarak devam eder. Willems, sodyum, potasyum ve çinko konsantrasyonlarının fırın içinde 800–1100 °C'lik bölgede şarj malzemesi ile birlikte giren miktarda fazla olduğunu saptamıştır [1]. Sodyum ve potasyum eşit miktarlarda fırına girdiğinde, curufta da eşit miktarlarda bulunurlar. Ancak gerçekte toplam alkali girdisinin 4/5'ü potasyumdur ancak tepe gazında girdi alkalinin % 5 Na₂O olarak bulunurken %15'i de K₂O olarak bulunur.

Fırın içinde alkali buharlarının hareketi büyük ölçüde yüksek fırın çalışma pratiğine bağlıdır. Alkali girdisi kritik miktara ulaştığında kokun reaktivite ve mukavemetini etkileyerek fırında problem oluşturduğu gibi, demirli malzemelerin mukavemetini de azaltır.



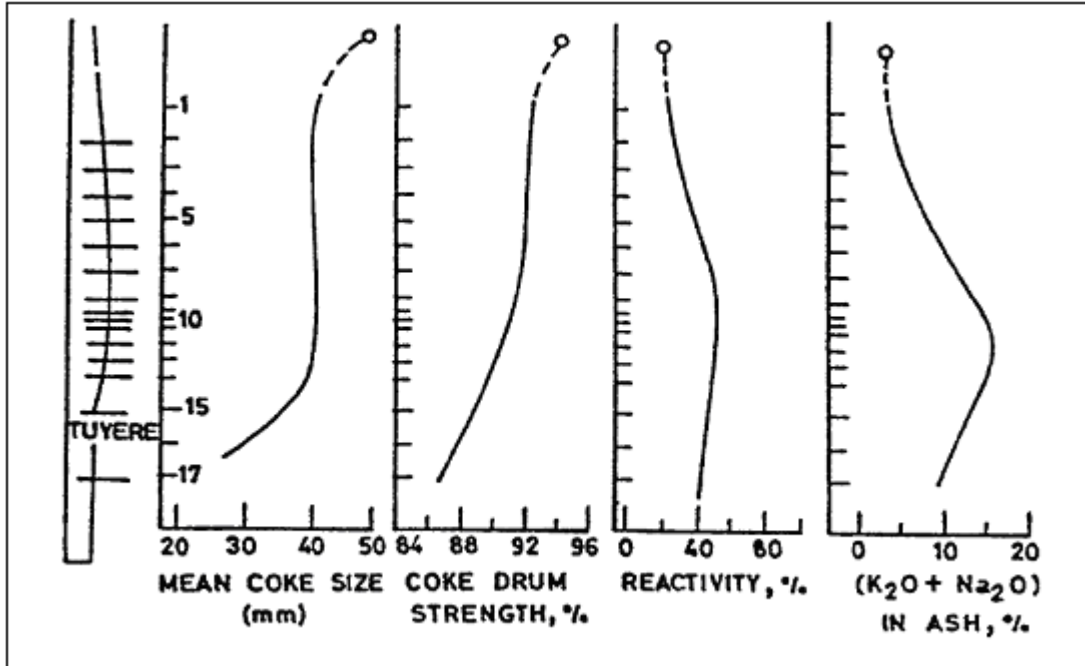
Şekil 4.3. Yüksek fırında potasyum sirkülasyonu [22].

Böylece geçirgenlik problemleri olurken, üretim de azalır. Küçük parçacıklar sıvı karbonat ve siyanitler tarafından birbirlerine yapıştıklarından fırın geçirgenliği bu olaydan ayrıca olumsuz olarak etkilenir. Askılanmalar meydana gelirken hazne soğumaları ve tüyer ve soğutucu yanmaları gündeme gelir.



Şekil 4.4. Alkali miktarının geçirgenlik ve üretime etkisi [4].

Şekil 4.3 geçirgenlik ve üretim alkali girdisinin artması ile nasıl etkilendiği göstermektedir. Şekil 4.4 ise alkali etkisi ile kokun nasıl parçalandığını göstermektedir.



Şekil 4.4. Alkali miktarının kokun fiziksel özelliklerine etkisi [4].

Verilen şarj malzeme içindeki alkali miktarı kontrol edilemediğinden, sadece operasyon bakımından kontrol söz konusu olabilmektedir.

1. Alkali gazlaşması sıcaklıkla arttığından düşük alev sıcaklığı,
2. Alkali gazlaşma reaksiyonunu önlediği için yüksek Pco ile çalışmak bu da oksijen zenginleştirme veya yüksek tepe basıncı ile sağlanır.
3. Curuf bazitesini azaltmak,
4. Alkali oksitlerin aktivitesini azaltmak için curuf hacminin artırılması alkali karakterini kontrol altına tutmaya yardımcı olmaktadır.

4.4. ALKALİLERİN YÜKSEK FIRINA OLAN ETKİLERİ

Fırına şarj malzemesi ile giren alkaliler, fırında, fırın tuğlalarına yapışarak duvar yapar ve askılanır; dolayısıyla yüksek fırın çalışma hacmini azaltır. Yapışmış olduğu tuğlalarını tahrip eder, tüyerlerin yanmasına sebep olur ve kok sarfiyatını artırır.

4.4.1. Kok Sarfiyatındaki Artma Nedenleri

Alkaliler 560 °C sıcaklıkta fırın içerisindeki SiO₂ ile bileşik yaparak bağlayıcı özelliği olan K-Na Silikatları oluştururlar.

1000 °C'de alkaliler KCN ve NaCN şeklinde bulunur.



Sıcaklıklar 1000 °C altında karbonatlar yönünde oluşur ve fırının üst civarlarında sağlam bir yapı gösterilir. Söz konusu karbonatlar, toz şeklinde olduklarından şarj edilen malzemenin üstüne oturup fırının tekrar altına iner ve dolayısıyla yukardaki denklemde görüleceği üzere iki yönlü reaksiyon devam eder. Siyanitler iyi bir redükleyici olduklarından FeO ile reaksiyona girer ve fırının alt tabakalarında ısı alırken üst tabakalarda ısı verirler.

4.4.2. Tuğlaların Tahrip Edilmesinin Nedenleri

Fırın gövdesinin alt ve orta kısımlarında ve tüyer bölgelerinde genellikle alümina silikat tuğlaları kullanıldığından bu bölgedeki tuğla çatlakları içine ve hatta yapısına nüfuz eder (Japonya’da yapılan incelemeler sonucunda yüksek fırın tuğlaların içinde % 15 K₂O’a rastlanmıştır.) [5]. Tuğlaların yapısına intikal eden alkaliler tuğlaların mekanik mukavemetini düşürler. Tuğlalara K₂O, Na₂O de nazaran daha süratle intikal eder [7].

Alkaliler, şarj malzemesi içinden gelebilecek ZnO ile de müşterek hareket ederek tuğlaların tahrip olma hızını artırır (Zn empüritesinin etkileri bölümünde detaylı izah edilmiştir.).

4.4.3. Fırının Çalışma Temposunu Bozma Etkileri

1500 °C fırın sıcaklığında alkali silikatlar $2K(Na)SiO_3+6C=2K(Na)+2Si+6CO$ şeklinde oluşur ve K, Na mineralleri gaz haline dönüşür. Reaksiyona girmeyen silikatların bir kısmı, curufa geçerken gaz halinde Na ve K fırının üst tabakalarına çıkar, üst kısımlarda ısı düşüşü nedeniyle Na ve K gazları K(Na)CO₃’lara (toz) dönüşür, böylece kapalı devre gibi fırın içinde alkali birikimine neden olur. (700 – 1200 °C arasında)

700–1200 °C sıcaklıkta alkaliler yüksek fırın tuğlalarına en fazla etki ederler. Alkaliler demir cevherlerinin fiziksel özelliklerine etki ederek onların parçalanmasına neden olurlar. Parçalanma sonucu gaz geçirgenliği azalacağından fırının çalışma temposu bozular. Alkaliler demir cevherlerinde olduğu gibi kok ve peletler üzerinde de etkili olmaktadır.

Malzeme içerisinde biriken alkaliler kok üretimi esnasında katalizör görevi yapar ve reaksiyonu daha düşük sıcaklıktaki bölgelere taşır. Bunun sonucu olarak kok mukavemeti düşer ve sarfiyat artar.





Ayrıca kok külünde bulunan Al_2O_3 ve SiO_2 ile K ve Na buharları bileşke yaparak ergime sıcaklıkları düşük olan silikatlar oluştururlar. Bu durum koka plastik özellik kazandırır. 1200 °C kok parçalarının hacmi % 40 civarında artırır ve kokun parçalanmasına sebep olur.

Alkalinin pelet üzerindeki etkileri ise düşük sıcaklıkta parçalanmasına sebep olur.

Yüksek fırınlarda skaffold oluşumuna yol açarak aşağıdaki belirtilen sorunlara neden olur;

1. Fırın hacmi daralır.
2. Refrakteri parçalar.
3. Prosesi bozar.
4. Üretim düşer.
5. Curuf hacmi artar, kok tüketimi yükselir.
6. Ani kaymalar olur.
7. Hazne drenajı bozulur (krizlere yol açacak hazne soğumaları bile olur.)
8. Tüyer yanmaları artar.
9. Asidik curufla çalışma gereği Sıvı ham demir kükürdü yükselir.
10. Manganez sarfı artar.
11. Kanallı çalışmalar olur. (Gaz verimi düşer kok tüketimi artar tepe ısınır.)
12. Koku parçalar, fırın geçirgenliğini, prosesini bozar, kok tüketimi artar.
13. Verim düşer.

İsdemir'de alkali: 3,0-3,3 kg/TSM

Erdemir'de alkali: 2,8 kg/TSM (daha önce 2,2 idi)

Kardemir'de alkali : 5,5-6,0 kg/TSM

Avrupa fırınlarında: 2,0-2,5 kg/TSM

4.4.4. Sintere Etkisi

Alkaliler sinterleşme esnasında düşük sıcaklıklarda erirler. Eriyen ve kısmen buharlaşan alkalilerin, şartlara bağlı olarak % 5 ile % 15 kadarı atık gaza geçerler ve toza karışırlar. Yüksek alkali ihtivasi sinterde RDI'ın yüksek olmasına neden olur. Girdi alkali miktarı yüksek olduğunda erime miktarı fazlaştığından dolayı yatak geçirgenliği olumsuz etkilenir. Buna bağlı olarak sinterleşme tamamlanamadığından üretilen sinterin mukavemeti kötüleşir. Sinter mukavemetinin kötüleşmesi nedeniyle aktarma noktalarında kırılma artar, tozlaşma fazlaşır, sinter tane boyutu küçülür, bu nedenle yüksek fırında kaymalar ve kanallanmalar meydana gelir.

4.4.5. Pelete Etkisi

Peletin gazlaşma özellikleri üzerine olumsuz etkileri olmakta ve bundan dolayı fırının geçirgenliğini düşürmektedir. Peletin genişleme özelliğini de olumsuz yönde etkilemektedir [23].

4.5. YÜKSEK FIRINLARA ALKALİ GİRDİSİ VE ALKALİ YÜKÜNÜN AYAR METODLARI

Şarj malzemesi ile yüksek fırına giren alkalilerin büyük bir kısmı gaz temizlemede yakalanır ve tahliye suları ile atılır, bir kısmı curufa geçer. Curuf ile gaz fazı arasında dağılan alkaliler fırının termodinamik çalışma şartlarını belirler.

Bazık curuf ile sıcak çalışan fırında alkali girdisi artar. Şayet fırınlar asidik ve soğuk çalıştırılıyor ise tüyerler bölgesinde alkalilerin ayrışma hızı düşeceğinden curuftaki alkali miktarı artar.

Her işletmeci, deneme çalışmaları ile alkali yükü dengesi seviyesini bulur. Bu denge her fırın için değişiktir [7].

Örneğin;

Japonyada: 2,4-3,1 kg/TSM

İsveçte: 7,5 kg/TSM

Baziklik ne kadar yüksek tutulursa, curufa o kadar az alkali geçer. Zira asidik curuflarda SiO₂ yüksek aktiviteye sahip olduğundan alkali silikatlar oluşturur ve alkaliler dolayısıyla bazik curuflara nisbetle çok daha fazla tutarlar. Onun için CaO artması curufun alkaliyi silikatlara bağlama özelliğini azaltmaktadır.

Baziklikte çalışan bir fırında curuf ile birlikte alkalilerin atılma oranı % 50 civarındadır. Yapılan pratiklerde baziklik oranı 1,12'den 1,1 düşürülmesi curufta alkali miktarını % 0,1 artırmaktadır. Baziklik oranı düştükçe curuftaki alkali miktarı artar, ancak bu durumda pik içindeki (S) oranı ters oranda artış gösterir. Bu nedenle (S) oranı yüksek olan şarj malzemeleri ile çalışılması halinde asit veya bazik curufla çalışma ortamı iyi tesbit edilmelidir. Aksi takdirde yüksek fırın dışında sıvı madeni Desülfirizasyon işlemine tabi tutmak gerekecektir.

Fırına şarj edilen malzeme ile giren alkalilerin Yüksek fırındaki dağılımı ile ilgili olarak Finlandiyanın "TURKU" Demir Çelik fabrikasında yapılan araştırmanın neticeleri çizelge 4.1'de verilmiştir [7].

Çizelge 4.1. Fırına şarj edilen malzeme ile giren alkalilerin yüksek fırındaki dağılımı.

Yüksek fırına giren alkali	K₂O (kg/TSM)	Na₂O (kg/TSM)
Sinter	2,4	3,2
Cevher	0,4	0,2
Kireçtaşı	0,6	0,9
Kok	3,4	0,9
Yüksek fırında çıkan alkali	0,9	2,5
Artık su	0,3	0,3
Çökelti suyu	5	0,5

Görüleceği üzere alkaliler genellikle en çok sinter ve kok malzemelerinden girmektedir. Farklı menşeli cevherlerin sinterlerde kullanıldığından kullanılan cevherler içindeki alkalilerin değişik olması nedeniyle alkali dalgalanması görülür.

Yüksek fırına giren Na₂O çoğunlukla curufa geçer. K, Na göre daha stabildir. Skaffold tahlillerinde K₂O, Na₂O de göre çok olduğu bu görüşün kanıtıdır.

TURKU fabrikasında yapılan bir araştırmada alkalilerin yüksek fırın işletmeciliği esnasında biriktiği bölgeler çizelge 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Alkalilerin yüksek fırın işletmeciliği esnasında biriktiği bölgeler.

	% K ₂ O	% Na ₂ O
Curuf üzerindeki duman	23-39	7-12
Tüyerlerin önünde	35-40	15-17
Skaffold içinde	7-9	0,5-1
Siklon tozu	30	7-8
Suda ergimiş tozda	12-11	4-5
Skruberdeki çökeltide	3-4	1

4.5.1. Yüksek Fırında Alkali Yükünün Ayarlanması

Yazının özünden de anlaşılacağı üzere yüksek fırınlara şarj edilecek malzeme içindeki alkalilerin bulunması hallerinde;

1. Yüksek fırın tuğlalarına yapışarak duvar yapmakta, tuğlaları tahrip etmekte, askılanmakta, çökmelere neden olmakta,
2. Yüksek fırının 700–1200 °C sıcaklıktaki bölgelerinde alkali birikimi olmakta ve bu bölgelerde skaffold bağlayarak yüksek fırın hacmini küçültmekte ve dolayısıyla yüksek fırın veriminin düşmesine neden olmakta,
3. Düşük sıcaklıkta asidik yapıdaki peletleri parçalamakta,
4. Tuğlaların aralarına girerek yumuşama sıcaklıklarını düşürmekte ve tuğlaların tahrip olmasına neden olmakta,
5. Yüksek tepe sıcaklıkların, düşmesine hazne soğumasına ve tüyerlerin çabuk yanmasına neden olmaktadır.

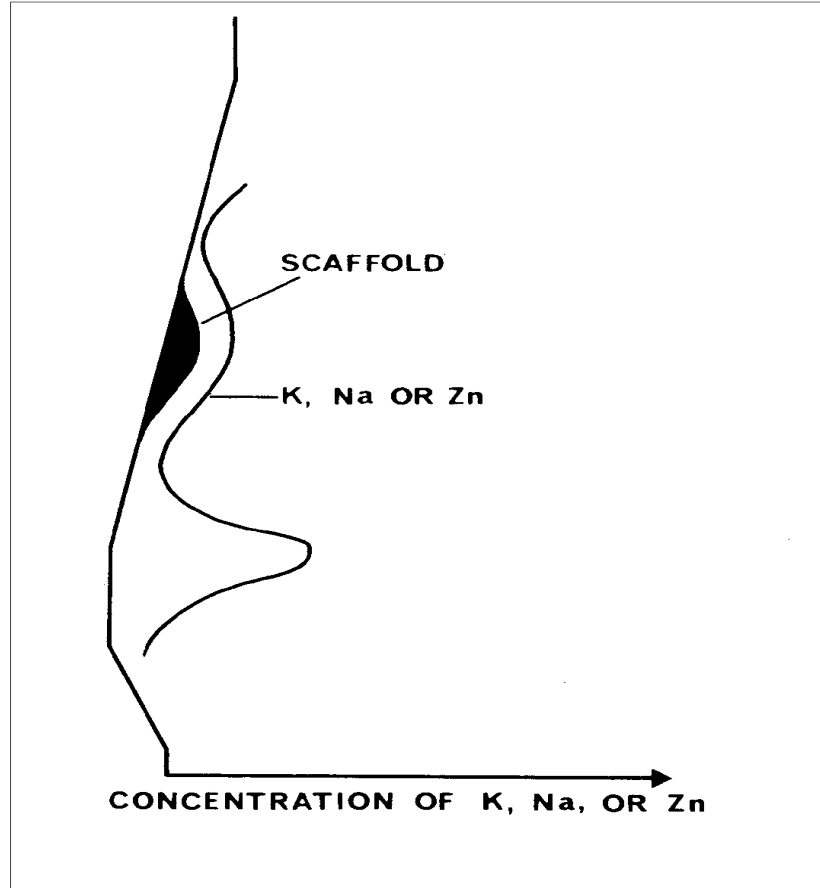
Bu gibi etkileri azaltmak için aşağıdaki tedbirlerde biri veya birkaçı (şartlarına göre) alınmalıdır.

1. Hammaddelerin granülemetrik yapısı iyileştirilmeli,
2. Şarj malzemesinde yüksek alkalili malzemeler çıkartılarak şarjdaki alkali girdisi azaltılmalı,
3. Fırın asidik curufu çalıştırılmalı (kükürt sorunu çözümlenmek şartı ile),
4. Alkali girdisi günlük kontrole tabi tutulmalı,
5. Malzeme yüksek kalitede olmalı (Yüksek kaliteli malzeme alkali etkisini azaltır),
6. Malzemenin ebat yapısı değiştirilmeli (Gaz geçirgenliği artırmak üzere),
7. Şarj malzemesindeki toz miktarının artışı alkalinin yıkıcı etkisini artıracığı için toz oranı düşürülmeli,
8. Yüksek ve düşük alkalili malzemeler karıştırılarak alkali girdisi düşürülmeli,
9. Curuf miktarı artırılmalıdır [7].

BÖLÜM 5

SKAFFOLD OLUŞUMU

Fırının iyi çalışması bazen duvar üzerinde oluşan ve merkeze doğru uzayan skaffoldlar nedeniyle bozulur. Şarj malzemelerinin dikey olarak duvar kenarında olduğu gibi yatay olarak ta askıda kaldığı görülür. Bu katı kütlenin duruşu bosh'tan gövdenin üstüne kadar her yerde olabilir. Tipik bir örnek şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Tipik bir skaffold oluşumu [1].

Bu tür yapılanmalar, oluşum kompozisyon ve pozisyon bakımından ikiye ayrılır. Sıvı oluşmada düşük sıcaklık bölgelerinde alt ve üst gövde bölgelerinde oluşur. Bunlar

skaffold olarak isimlendirilir. Ayrıca belly ve bosh bölgesinde akışkan, yarı akışkan veya sıvı olduğu yüksek sıcaklıklarda kabuk oluşumu vardır.

Skaffoldun olduğu bölgede malzeme inişi yavaşlar veya kesilir ve diğer bölgelerde gaz hızı artar. Sonuç olarak genelde tepe gaz sıcaklığı ve skaffold oluşmayan bölgelerin üstündeki baca sıcaklıkları yüksek görülmüştür.

Gerçek durumda tepe gaz CO₂ miktarı % 13,3 den % 11,9'a CO kullanımı % 33,8 den % 30,1 'e indirek indirgenme % 55,6 dan % 50,8'e düşüp tepe sıcaklığı 25 °C artmıştır. Tüm bunlar kok oranını % 3,5 artırır. Lineer gaz hızının artması toz uçuşmasını % 70-100 artırır.

Skaffold oluşumunun sebeplerini bulmak için genelde söndürülmüş bazı çalışan fırınlarda birçok çalışma yapılmıştır. Sonuçta şu sebepler bulunmuştur.

1. Uçuşkan alkali metaller, çinko, kurşun, kalay ve bunların bileşiklerinin etkileri,
2. Cevherin yumuşama aralığının geniş ve düşük olması,
3. Sinterdeki toz,
4. Karbon birikmesi,
5. Fırın operasyonu (gaz akışı) ve hatta,
6. Soğutma plakaları.

Skaffold parçasının kimyasal analizi skaffoldun içinde şarj malzemeleri ve kok tozuyla birlikte sodyum, potasyum, çinko ve kurşun bileşikleri olduğunu göstermiştir. 2007 yılında Kardemir 3 no'lu yüksek fırında oluşmuş skaffoldtan (Şekil 5.2) alınmış bir parçanın analizi yapılmış ve çizelge 5.1'de kimyasal analizi görülmektedir [24].



Şekil 5.2. 3 No'lu YF'da oluşmuş skaffold [24].

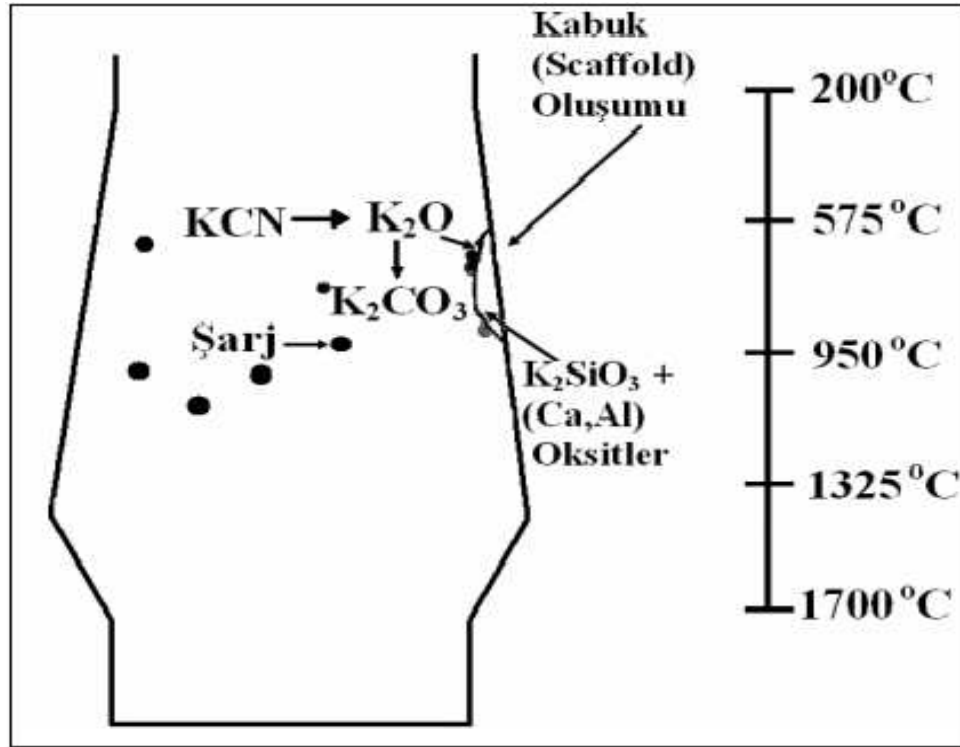
Çizelge 5.1. Kardemir 3 no'lu yüksek fırında oluşan skaffoldun analizi [24].

K₂O (%)	6,87
Na₂O (%)	0,14
SiO₂ (%)	25,94
Al₂O₃ (%)	7,79
Fe₂O₃ (%)	37,64
MnO (%)	2,27
CaO (%)	15,06
MgO (%)	2,59
S (%)	0,141
P₂O₅ (%)	0,3
TiO₂ (%)	0,28
C (%)	0,96
Yoğunluk (gr/cm³)	2,55

800–1100 °C sıcaklık aralığında siyanit, oksit ve karbonat gibi alkali bileşiklerin oluşumu ve birikimi 4. bölümde tartışılmıştır. Birikim, şematik olarak şekil 5.2’de görülmektedir. Çinko da aynı şekilde birikim oluşturur. Metalik çinkoda gövde soğutma plakaları etrafında birikirler. Oksijen potansiyelinin yüksek ve sıcaklığın düşük olduğu yüksek seviyelerde Zn, ZnO’e oksitlenir. Alkali metaller yalnızca tuğla ve şarj malzemelerini curufa ayırmazlar ama bunların birikmesi tuğla hacmini artırır. Tuğlaların dağılmasına neden olur. Kurşun kolayca indirgenir ve bir kısmı metal olarak duvarda birikirken diğer kalanı hazneye iner. Karbon birikimi ($2CO=C+CO_2$) orta sıcaklıklarda 400–600 °C’de oluşur ve demir, demir oksit ve çinko oksit bulunmasıyla oluşumu artar. Aynı zamanda aşağıdaki reaksiyon sonucunda C oluşur.



Chesters’a göre tuğlaların içine ve kenarlarına biriken karbon, tuğlaları iterek bir çukıntı oluşturur. Aşağı hareket eden malzeme burada birikerek cevher ve astar arasında yapışmaya neden olur [1].



Şekil 5.3. Potasyumun fırın duvarına yapışması [22].

Astar tuğlaların alkali metaller ve çinko vasıtasıyla aşınmasına dair farklı mekanizmalarından söz edilmektedir. Mesela tuğlaların içine doğru siyanat, silikat, karbonat ve oksitlerin oluşması. Mekanizma ne olursa olsun tuğlaların yumuşayıp curuflaşmasının sebebi çinko oksit ve alkali metallerdir. Buharlaştan metallerin belly ve gövdede yeniden oksitlenip tuğlaların üzerine gelmesi veya tuğla delik ve aralıklarına dolması skaffold oluşturur. Yumuşayan tuğlaların üzerine yapışan şarj malzemeleri burada bir birikinti oluştururlar ve cürufa ayrılan malzemelerde diğer bir tabaka oluştururlar. Kendi kendine hızlanan bir işlem sonucu oluşan skaffold duvar boyunca gövde eksenini boyunca içeri doğru büyür. Kok taneciklerinin oluşumu karbon birikimi reaksiyonu ve alkaliler nedeniyle zayıflayan kokun dağılması sonucu ortaya çıkar. Birikim maksimum 800–1100 °C’de olduğu için skaffoldun belly’nin üstünde de gövdenin altında bir yerlerde olabileceği varsayılabilir.

5.1. SKAFFOLD KONTROLÜ

Skaffold ilk olarak skaffolda neden olan girdi malzemelerini kontrol ederek veya bu malzemelerin fırından çıkışlarını kolaylaştırarak, ikinci olarak oluşumu azaltmak ve oluşunca mümkün olduğu kadar çabuk atılmasını sağlayarak kontrol altına alınabilir.

Skaffold oluşumunu belirleyici faktörler:

1. Tepeden atılan tozun birkaç günde aniden % 100-200 ve hatta daha fazla artması,
2. Tepe gaz sıcaklığının yüksek olması,
3. Skaffold üstünde gaz sıcaklığının düşük, skaffold etrafında içi duvar sıcaklıklarının düşük olması,
4. Tepe gaz CO/CO₂ oranının yüksek olması,
5. Askılanma, kayma ve şarj malzemesinin sabit inmemesi.

5.1.1. Kontrol Metodları

1. Alkali metallerin curuftaki çıkışlarını artırarak, 800–1100 °C’lik bölgede konsantrasyonlarını azaltmak bu curufun CaO/SiO₂ oranını azaltarak alkali

oksitlerin aktivite katsayılarını düşürmekle başarılıdır. Ama B/A kükürt giderme durumundan dolayı belirli bir limitin altına düşürülemez. Bu durum harici kükürt giderme imkanı varsa geçersizdir.

2. Alev sıcaklığı ile kontrol etme, alev sıcaklığındaki artış ile 800–1100 °C de fırın içinde döner alkali miktarı artar. Yüksek alev sıcaklığı, yüksek Si'li demir üretir. Bu da bosh curufu bazitesini artırır. Düşük alev sıcaklığı alkali oluşumunu düşürür ve curufta atılmasını sağlar ama diğer taraftan kok oranı artar.
3. Cevherin, sinterleme sırasında çinko girdisini azaltmak,
4. Kalın astar tuğlası olmayan soğutma plakaları ile donatılmış bosh, fırında az askılanma sağlar.
5. Alkali ve CO depolanmasına karşı koyacak mümkün olduğu kadar az deliği olan sıkıştırılmış tuğla kullanmak, yüksek sıcaklıkta pişirilmiş yüksek alüminalı tuğlalar düşük alüminalı tuğlalara göre daha az alkali olurlar. Eğer tuğla içinde fayalite ve hercynite ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) gibi reaktif olmayan bileşiklere dönüşebilen demir içeriyorsa ve yapımı süresince yüksek sıcaklıkta ve az indirgeyici bir ortamda bu bileşikler oluşabiliyorsa tuğla üzerinde karbon birikmesi başlayacaktır.
6. Kenar gaz akışı skaffold oluşumunu artırır ve skaffold oluşmuşsa bunun büyümesi kontrol altına alınır. Kenar gaz akışı V tipi profilden ziyade M tipi profil durumunda oluşur. M tipi profil belly/boğaz çap, şarj seviyesi, dağıtıcı ring veya hareketli oluk kullanılarak ayarlanabilir. Şarj sırasını ilki kok olarak mesela KKKCCC veya KKCKK değiştirmekle kenar zayıflatılır. Bu metodla duvar boyunca gaz sıcaklığı artar. Skaffold oluşumu ya engellenir ya da yüksek seviyelere kaydırılarak kırılır.
7. Kenar akışı artırmak için skaffold oluşan tarafa doğru tüyer çapını büyütme,
8. Geniş yumuşama aralığı olan cevher kullanımından kaçınmak,
9. Şarjda ufak taneciklerinin kullanımından kaçınmak, mekanik kırılma ve kimyasal reaksiyonlara karşı yüksek mukavemet gösteren kok kullanmak,
10. Sinter, skaffold oluşumunu destekler. Bu nedenle şarjdan önce sinter elenmelidir.
11. Cevherin alkali girdisini ve yumuşama sıcaklık aralığını azaltmak için iyi bir harmanlama yapılmalı.

12. Skalfoldu, patlayıcı ile dağıtmak. Fırın seviyesi düşürülüp skafold içine delik açılır ve patlayıcı yerleştirilir.
13. Uygun yerlerden astarı deldikten sonra, skafold içine Oil gönderip skaffoldu yok etmek,
14. Temizleyici olarak kalsiyum klorit kullanmak. Kütle balansından fırına giren alkali hesaplanır ve aşağıdaki reaksiyona göre stokiometrik olarak kalsiyum kloride eklenir.



5.2. SKAFFOLD OLUŞUMUNU TETİKLEYEN FAKTÖRLER

Skaffold oluşumunun sebebi (4. bölümde genişçe anlatıldığı gibi) fırına giren alkali metallerin varlığıdır. Bununla birlikte skaffold oluşumuna katkıda bulunan parametreler şunlardır.

1. Kötü malzeme (gaz) dağılımı,
2. Yetersiz kok mukavemeti (Düşük M_{40} -CSR değerleri, Yüksek M_{10} -CRI değerleri),
3. Tozlu demirli cevherlerin fırına şarj edilmesidir (Elemenin yetersizliği).

5.2.1. Malzeme Dağılımı ve Şarj

Yüksek fırın verimliliği birim zamanda üflenen havanın miktarına bağlıdır. Tahmin edilen gazın miktarı boşlukların düzgünlüğüne ve parçacıkların boyutlarına (ki bunlar stok kolonundaki düzgün malzeme dağılımına) bağlıdır. Yükselen gaz en az direncin olduğu yolu bulduğundan, gaz en uygun geçirgenliğin olduğu alana doğru akmayı tercih eder. Diğer bölgelerdeki düzgün olmayan gaz akışı gazın temel ve kimyasal enerjisinin kullanımının yetersizliğine yol açar ve böylece kötü bir yakıt kullanımına sebep olur.

Yüksek fırına değişik boyutlarda kok ve cevher (aynı zamanda sinter, pelet ve kireçtaşı) yüklenir. Bunların aynı zamanda değişik fiziksel özellikleri vardır. Bunları homojen dağılımının sağlanması çok zordur.

Peetz ve Winzer'in model deneyleri gövde kesitinin üç bölüme ayrılacağını gösterir [1].

1. Dış yüzeye ve kenara ait
2. Orta seviyeye ait
3. Merkezi

Orta alan toplam kesit alanının % 50'sini kapsar. Aynı alan bu kısımdan geçen toplam gazın ise % 30-35'ini kapsar. Her bir yüzey ve merkezi alanlar ise yaklaşık, alanın % 25'ini ve bu kısma doğru geçen gazın fırının yarıçapına göre almaksızın % 65-70'ini kapsar.

Önemli miktarda gaz içe ve dışa doğru geçtiğinden, düzenli bir geçirgenlik bu iki alanda istenir duruma gelir. Bu amaca en tepede şarj ekipmanı ve şarj sayısı yardımıyla uygun malzeme sayesinde ulaşılır.

Yüksek fırında sürekli demir üretimine rağmen, şarj etme aralıklı biçimde yapılır. Klasik sistemde, şarj malzemeleri döner oluğa (küçük çanın üzerinde) boşaltılır, küçük çan yükünü büyük çana boşaltır veya fırına atar.

Malzeme, yığının içindeki sabit yatağa boşaltıldığında dağılımda iki kural geçerlidir.

1. Ufak parçacıklar tepeçiklere düşerler. Diğerleri kinetik enerjilerine, boyutlarına göre uzak noktalara giderler.
2. Aynı şartlar altında boşaltılmış iki ayrı yük, yatayda değişik açılarda düşerler. Buna 'repose' açısı denir ve birçok değişik özelliklere bağlıdır. Cevherin ve kok tabakalarının repose açıları sırasıyla 30-35⁰ ve 34-40⁰ arasında değişir. Bu açılar, bunların nem içeriklerine, sürtünme katsayılarına, büyüklüklerine

bağlıdır. Daha düşük parçacıklar, büyüklerden daha büyük açılara sahiptirler.

Büyük çan boşaltıldığında, şarj çan yüzeyinden aşağıya doğru kayar ve düşerken parabolik bir yol izler. Stok seviyesi ve yüzeyini etkileyen faktörler şunlardır.

1. Çan yüzeyindeki malzemelerin sürtünmeleri; daha büyük parçacıkların küçüklere nazaran daha küçük sürtünme katsayıları vardır.
2. Çan açısı: Genellikle 50-550 bu açı malzemenin hızlı kaymasını sağlar ve yüzeye yapıştırmaz.
3. Çan/boğaz çap oranı veya çan kenarı ve boğaz içi duvarı arasındaki uzaklık, yani çan alçalırken şarj malzemelerini duvar içine çarpıp çarpmamaları
4. Şarj mesafesi ve şarj yüksekliği
5. Çanın alçalma zamanı

Boşaltma anında, malzemeler stok seviyesi üstünde düşerlerken, parabolik bir yol alırlar ve parçacıkların iç duvarlara (V şeklinde veya stok yüzeyine M şeklinde) vurup vurmamasına göre boşaltılan kütlenin iki ana profili ortaya çıkar. V şekli genellikle parabolik düşüş olduğunda elde edilir. Bu da çan kenarı duvara yakın olunca, yani çan boğaz oranı düşük olduğunda sağlanır.

Bu profilde, yüksek sürtünme katsayısından ötürü cevher küçük parçacıklar halinde yatağın yüzeyinde oradan da duvar kenarlarına doğru hareket eder. Fakat daha geniş parçalar aşağıya doğru yuvarlanır ve merkeze doğru giderler. Kok parçacıkları cevhere göre boyut olarak daha büyüktürler ve bu sebepten merkeze doğru yayılırlar. Böylece kalın malzemeler merkezde (genellikle kok) ve daha küçük parçacıklar çan çevresinin altındaki halka şeklindeki alana direkt olarak boşalırlar.

Bu sebeple V profilinde çevre biraz daralır (miktarı, demirli malzemenin tane dağılımına bağlıdır) ve gazın büyük kısmı merkezden geçme eğilimini gösterir. Buna bağlı olarak ısı ve indirgeme potansiyeli, kokun bu bölgede fazla olmasından ötürü kısmen kullanılır. Bu bölgeye konulan bir prob yüksek sıcaklık ve CO/CO₂ oranı (veya düşük eta CO) gösterecektir.

Gazın daha düzenli dağılımını sağlamak için çevrenin de merkez gibi olması gerekmektedir. Eğer çevrede çok miktarda tozlu parça varsa, refraktere yapışacağından duvar ısı kayıpları da az olacaktır.

M şekilli bir profille çevresel ve merkezi geçirgenlik elde edilebilir. Bu durumda eğimli kısımda ince taneler toplanıp sivri tepenin her iki tarafına büyük parçalar yuvarlanır. M profil genellikle malzeme stok yüzeyine çarptırılarak elde edilir. Bu da çan/boğaz çapı oranı küçük ise (büyük çanın iç duvarlar arası mesafesi) veya şarj mesafesi kısa ise mümkündür.

Şarj mesafesi artıkça M şeklinin sivri tepesini duvara yakın olacağı açıktır ve sonunda M profil V profile dönüşür.

Çevreden geçen gaz yüzdesi, eğimli kısım merkeze yaklaştıkça artacak, merkezi akış bu oranda aksel sıkışmadan ötürü azalacaktır. Duvarlara doğru büyük parça yoğunluğu, pik aşağıya doğru gittikçe (çevreden akışı artıracak) artacaktır.

Çalışan bir fırında çan çapı, boğaz çapı oranı değiştirmek mümkün değildir. Bu nedenle stok profilini ayarlamak ve optimum gaz dağılımını elde etmek sadece şarj yüksekliği değiştirilerek elde edilir.

Büyük çanla duvar arasına yerleştirilen ve dik olarak aşağıya ve yukarıya hareket eden hareketli ringler vasıtasıyla da fırın içi şarj profilini değiştirmek mümkündür. Herhangi bir şarj seviyesinde bu ringler yükseltilerek veya alçatılarak şarj malzemesini stok seviyesine yerleştirmek ve M veya V profilini elde etmek mümkündür. Daha etkili bir sistem (movable armour hareketli zırh) boğaz kenarlarından içeriye doğru ringleri yatay olarak çalıştırarak kullanılır [25].

Yukarıda tartışılan malzeme dağılımına ilaveten, dağılım modeli hopperinin yükseklik çap oranına da bağlıdır. Powlova'a göre hopper çapı 1,5 metreyi geçmemelidir. Küçük fırınlar için de maksimum 1,3 metre olmalıdır, buna bağlı olarakta yükseklik/çap oranı 3 ile 4 arasında olmalıdır. Hatalı ölçüler daha yüksek kok oranına ve düzensiz fırın çalışmasına sebep olur [6].

1970'lerin önemli bir gelişmesi ise şarj malzemesinin boğaz kesitinin tamamı boyunca, bir döner şut vasıtasıyla istenilen yere dağıtılmasını sağlayan çansız tepe ekipmanı kullanımınıdır [6].

5.2.1.1. Şarj sırası

Şarj dönüşü ya da şarj sırası çalışan bir fırında gaz dağılımını ve malzemenin yukarıdan aşağıya inişini etkileyen bir başka operasyon değişkenidir. Wild tarafından bir model deneyinde büyük çanın üzerine ilk konan malzemenin fırın üzerinde duvara yakın toplandığı gösterilmiştir. Buna bağlı olarak, eğer ilk önce demirli malzeme fırına gönderilirse duvarlara yakın malzeme cevher, kok gönderilince kok olacaktır. Kok yatağı cevher yatağından daha geçirgen olduğundan gaz dağılımı cevher- kok keza kok-cevher şarjıyla değiştirilebilir.

Burada bahsedilecekler düzensiz malzeme dağılımı, kanallı çalışma, skaffold oluşumu, askı, kayma gibi fırındaki düzensizliklerin üstesinden gelmek için gaz dağılım modelini değiştirmek nedeniyle kullanılan bazı şarj modellerinin bir özetidir. Cevher, sinter ve peletli karışık malzeme için stok dağılım modeli, bu malzemelerin her birinin yüzdesine ve büyük çanın üzerindeki konuma göre değişir [26].

Eğer % 50-73 oranında pelet, büyük çanda cevherin üzerine şarj edilirse, fırına döküldüğünde, cevher+pelet/kok oranı, merkezde büyük olacak, eğer tersi yapılırsa çapsal olarak daha düzenli bir dağılım gerçekleşecektir. % 100 sinter veya pelet durumunda, oran ikisinin arasındadır.

5.2.1.2. Normal Şarj

Bu durumda büyük çan üzerine önce cevher onun üzerine de kok gönderilir. Bu şekilde cevher kenarlara ve kok merkeze doğru gönderilmiş olur. Şarj CCFKKK/ veya CCKK/CFKK/ şeklinde ifade edilir. Bu tür şarj, tozların ve küçük parçaların az olduğu, böylece bu tür parçaların fırın iç duvarlarına yakın olmasının duvarlarda biriktirmeye sebep olacağı durumda tercih edilebilir. CO'nun kenarda iyi kullanılması dolayısıyla kok oranında genellikle düşme elde edilir.

5.2.1.3. Tersine Şarj

Kok önce büyük çanın üzerine gönderilir. Örneğin KKKCCF/ gibi. Bu durumda cevher ortaya gelir. Cevher gevşek kalır. Bu durum iç duvarların kokun spesifik ısısından dolayı daha sıcak olmasına sebep olur. CO gazının yetersiz kullanımından ötürü kok oranı yükselir. Buna rağmen bu tür şarj şekli malzemenin bu yerde birikim yapma eğilimi olduğu örneğin flakslı sinter kullanıldığı durumlarda kullanılabilir. Aynı zamanda duvarların temizliğine de yardım eder.

5.2.1.4. Karışık Şarj

Örnek olarak CKCFK/KFKCK şarjı verilebilir. Özellikle yüksek miktarda toz ihtiva eden cevherler ve sinterler için uygundur. Bu şekilde şarj etme malzemenin merkeze olduğu kadar kenarlara da dağılmasına yardımcı olur. Küçük taneciklerin bir kısmı ayrıca yuvarlanan koklar vasıtasıyla merkeze taşınır.

5.2.1.5. Ayrı Şarj

Bu şekilde şarjda, şarjın bir kısmı büyük çana gönderilirse büyük çan açılır CCF/KKK gibi. İki boşaltma sırasındaki süre kısadır. Stok eğimi dik kalır, daha fazla cevher merkeze gider. Çevrenin geçirgen olmasına yardımcı olur. Bu tip doldurma birbirine yakın tasnif edilmiş malzemeler için uygundur.

5.2.1.6. Ağırlık Değişimi

Düzenli çalışan bir fırında, ağırlığa göre cevher kok oranı sabit olduğunda, bir şarjda verilecek cevher miktarı artırılabilecekse, şarjdaki kok miktarı da artırılmalıdır. Eğer merkezde daha fazla cevher arzu edilirse büyük miktarda cevher, daha fazla yayılacağından tercih edilir. Böylece daha fazla kenardan çalışma için cevher miktarı (tabii ki kok miktarı) artırılmalı tersi için azaltılmalıdır.

Şarj ağırlığı; hava miktarı, geçirgenlik ve fırın kesitiyle direk olarak bağlantılıdır. Büyük fırınlarda cevherin veya yığınların merkeze daha yakın olması gerekir.

5.2.2. Kok Özelliklerinin Yüksek Fırın Prosesine Etkileri ve Önemi

Kok, Yüksek Fırın şarj malzemeleri içinde en önemli ve pahalı hammadde girdilerinden biridir. Aynı zamanda kok, fırın çalışması ve üretime etkisi bakımından en önemli malzemedir. Genel olarak yüksek fırın problemlerinin % 75'inin koktan kaynaklandığına inanılmaktadır.

Kokun kimyasal ve fiziksel özellikleri yüksek fırın çalışma şartlarını, sıcak maden kalitesini ve yakıt oranını etkiler. Kok, yüksek fırın toplam hacminin % 55'ini, reaksiyon bölgesinin % 75'ini oluşturmaktadır. Yüksek fırınlar, refrakter ile kaplanmış silindirik yapılardır ve bu silindirik yapı içinde değişik sıcaklıklarda değişik mekanik, ısıl ve kimyasal reaksiyonlar sırasıyla meydana gelmektedir. Reaksiyon boşluğunda demirli malzemelerin ızgara veya benzer şekilde desteklenmesini sağlayan hiçbir mekanizma yoktur. Yüksek Fırın karşılıklı etkileşimli bir prosestir. Demirli malzemeler (pelet, cevher, sinter, vs.) kok tarafından desteklenir, fırın tepesinden tabanına gelinceye kadar ısıtılır ve pik demir olarak ergitilir. Yüksek Fırın dizaynı ne kadar basit olursa olsun çalışması birçok faktöre bağlı karmaşık bir sistemdir. Çalışma parametrelerinde hiç bir değişiklik olmamasına rağmen fırın performansı değişebilir. Bu nedenle fırın operatörlerinin sürekli olarak prosesi kontrol etmeleri gerekmektedir.

Japonya ve Avrupa'da söndürülen Yüksek Fırınların inceleme amaçlı kesilmesi sonucunda nitelik ve nicelik olarak, fırının belirli bölgelerinde kok davranışı açıklanabilmiştir. Verimli bir yüksek fırın prosesi açısından mekanik dayanımın kok kalite parametrelerinden en önemlisi olduğu kabul edilmiştir. Kok, fırında tüyer bölgesinde oksit bir atmosfere tabi tutulmadan önce değişik sıcaklıklarda ağır mekanik yükleri kaldırmak zorundadır. Çok yüksek yakıt enjeksiyonu olduğu durumlarda kokun önemi daha da artar ve daha yüksek kalorifik değere sahip olmak zorundadır. Kok özellikleri, özellikle fırının alt bölgelerindeki mekanik mukavemeti, yüksek fırının maksimum teknik kapasitesini belirleyen etkendir.

Yüksek Fırın prosesi iki temel fonksiyona sahiptir. Bunlardan ilki, demirli hammadde girdisinde demirle birleşik halde bulunan oksijeni ayırmaktır. İlk amaç,

demir oksitlerinin karbon monoksit, karbon dioksit ve metalik demir oluşturacak şekilde, kok içerisinde bulunan karbon ile kimyasal reaksiyonları sonucu gerçekleşir. İkinci olarak proses, kimyasal reaksiyonların ürünü olan metali, cevher gang'ı ve kok külü artıklarının oluşturduğu curuftan ayırmalıdır. Bu amaca hem metali hem curufu ergiterek, yoğunluklarında farklılıklar meydana getirerek; istenmeyen curufun sıvı metal tabakası üzerinde yüzmesinin sağlanmasıyla ulaşılır [9].

5.2.2.1. Yüksek Fırında Kokun Rolü

Temel olarak kok, Yüksek Fırınlarda üç önemli rol oynar:

1. Kimyasal reaksiyonların endotermik ısı gereksinimlerini, cüruf ve metalin erime ve kızdırma sıcaklığını sağlayan yakıttır.
2. Demir oksitlerin indirgenmesi için indirgeyici gazların çoğunu sağlar.
3. Geçirgen bir yatak sağlayarak maden ve cürufun hazneye ve sıcak gazların fırın tepesine geçişini sağlar.

Başka hiç bir malzeme, yüksek fırın prosesinde bu görevleri yerine getiremez. Önceki iki rol için kokun karbon miktarının maksimum olması yani kül, kükürt ve uçucu madde miktarının minimum olması gerekmektedir. Sondaki rol için kok, dar boyut dağılımıyla yeterli boyutta olmalı ve fırın kesiti boyunca geçişi süresince kırılmasını minimuma indirmek için yeterli mekanik mukavemete sahip olmalıdır.

5.2.2.2. Fiziksel Özellikler

Kok; koheziv, tüyer raceway ve hazne bölgelerinde katı halde kalabilen tek malzemedir. Bu nedenle kokun fiziksel özellikleri (boyut, mukavemet, boşluk oranı, yüzey alanı) koheziv ve hazne bölgesinde gaz / sıvı dağılımını ve geçirgenliğini belirleyen en önemli etkidir.

Kok Boyutu

Kok fabrikasında proses yeterliliği varsa büyük boyutlu ve yüksek mukavemetli kok üretimi istenmektedir. Büyük kok parçacıkları arasındaki boşlukları dolduran küçük boyutlu kok ve demirli malzeme tozlarının geçirgenlik üzerine ters etkisi vardır. Bunu önlemek için dar bir boyut aralığının sağlanması önemlidir. Fırın kok boyutu, operatörlerin anlayış ve tecrübelerine göre üç yolla belirlenir.

1. Ortalama kok boyutu: tipik olarak $55 \text{ mm} \pm 2$
2. Kok boyut aralığı: tipik olarak $-75 +19 \text{ mm}$
3. Belirli bir boyuttan daha büyük olanlar: tipik olarak $+ 50 \text{ mm}$ boyut % 35-40

Fırın geçirgenliği önemli bir proses parametresi olduğu için, kok boyutunun en önemli etkisi fırına üflenen hava miktarı üzerine, başka bir deyişle üretim üzerine olmaktadır. Eğer kok boyutu çok ufaksa kok oranı da ters yönde etkilenmektedir.

Küçük boyutlu kokun doğuracağı sonuçlar:

1. Doğrudan sıvı ve gaz geçirgenliğini ve alt bölgelerdeki dağılımlarını etkiler. Haznedeki ısı transferini azaltır ve duvar ısı yükünü artırır. Sıvı seviyesinin etkilenmesi ve sıvı akışının zorlaşması düzgün olmayan gaz akışına ve gaz dağılımının bozulmasına neden olur.
2. Dolaylı olarak gaz geçirgenliğini öyle bir noktaya düşürebilir ki, işletmecinin cevher/kok oranını azaltmaktan (kok oranını artırmak) veya hava sıcaklığını düşürmekten veya hava rutubet oranını artırmaktan başka bir seçeneği kalmayabilir. Bunlar da yine cevher / kok oranının azaltılmasına, yakıt oranının ve maliyetin artmasına neden olacaktır. Kok üretildikten sonraki başlangıç boyutları yüksek fırına ulaşacak kokun durumunu belirleyen en önemli faktördür. Bu aynı zamanda tüyer seviyesindeki kokun boyutuna da doğrudan etki etmektedir. Verimli bir fırın çalışması için büyük boyutlu (ortalama 55 mm) ve dar boyut dağılımına ($\pm 10 \text{ mm}$) sahip koklar tercih edilmektedir. Normal şartlarda kok boyutları 19-75 mm arasında ve ortalama boyut 55 mm civarında tutulmaya çalışılmaktadır.

Kok Mukavemeti

Yüksek fırın kokunun mekanik mukavemetini tesbit etmek için değişik metotlar kullanılmaktadır. ASTM Stabilite İndeksi Kuzey Amerika'da, Micum/Irsid Avrupa'da ve JIS Tambur İndeksi Japonya'da yaygındır. Bu testlerin hepsi kırılma ve aşınmayı, manipulasyon mukavemetinin simulasyonunu ve fırın içinde kok üzerine gelen fiziksel yükleri tespitiye yöneliktir. Fırın performansı üzerine kok mukavemetinin etkisi kok boyutuyla aynıdır. Çünkü kok mukavemetinin düşmesi kokun daha küçük boyutlara kırılması anlamına gelmektedir. Belli bir fırın boyutu ve kullanılan malzeme kompozisyonu için kok mukavemetinin optimum bir değeri vardır. Kok mukavemeti bu optimum değerden daha düşük olursa doğrudan kok oranını ve dolaylı olarak da üretimi ve fırının verimliliğini etkiler. Kok mukavemetinin kok oranı ve üretim üzerine etkisinin dışında fırından sıcak maden ve cürufun alınması üzerine de çok önemli etkileri vardır. Yakın yıllarda yapılan çok önemli çalışmalar sonucu dökümün rahat alınmasının kok boyutu ve boşluk oranı ile doğru orantılı fırın çapı ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kokun fiziksel özellikleri fırın çapı büyüdükçe daha kritik hale gelmektedir. Kuzey Amerika'daki fırın işletmecilerinin tecrübesine göre kok ASTM stabilitesindeki % 1 artış stabilite % 55-59 arasında ise kok oranını 7,5 kg/TSM azaltmaktadır. Eğer stabilite % 59-62 arasında ise stabilitenin kok oranına etkisi 2,3 kg/TSM seviyesine düşmektedir [9].

Reaksiyon Sonrası Kok Mukavemeti (CSR)

Yakın yıllarda soğuk tambur indeksleri, boyut ve kimyasal özelliklerin yanında reaksiyon sonrası kok mukavemeti de yüksek fırın işletmecileri tarafından kritik bir parametre olarak kabul edilmiştir. Bu test 1970'li yıllarda fırın prosesini daha iyi simule etmek için Nippon Steel tarafından geliştirilmiştir. Reaksiyon sonrası mukavemetin temeli kok bozunum reaksiyonu (solution loss reaction) sonrasında oluşan mekanik yüklere karşı kokun mukavemetini ölçmektir. CSR/CRI testi fırının tüyer (raceway) bölgesine girmeden önce kok bozunum reaksiyonu sebebiyle kokun kısmi gazlaşmasının simulasyonuna dayanmaktadır. Bu test, bütün dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu değerlerin kok oranı ve yüksek fırın performansı

üzerine etkilerinin ölçülmesi konusunda uluslararası ortak karara varılamamıştır. Japon yüksek fırın işletmecileri CSR/CRI değerlerinin fırınlardaki etkilerini belirlemişlerdir. Nippon Steel tarafından bildirilen eşik CSR değeri % 57,5'dir Bu değer altındaki her birim için kok oranı 1,45 kg/TSM artmakta ve eşik değeri üzerindeki her birim için kok oranı 0,3 kg/TSM azalmaktadır. CSR değerinin yakıt oranı, fırın geçirgenliği, raceway boyutu, üretim üzerine etkisi vardır [9].

5.2.2.3. Yüksek Fırında Kok Hareketi

Yüksek fırına kok şarjı yapıldığında şarj kolonunun yüzeyinde belirli bir boyut segregasyonu meydana gelmektedir. Daha büyük parçalar fırın merkezine doğru küçük parçalar ise fırın kenarlarına doğru hareket etmektedir. Başlangıç aşamasında, şarj kolonunun tepesindeki kok yükselen gazlarla ısıtılıp kurutulmaktadır. Bu alan içindeki kok hareketi 60 mm/dakika mertebesindedir. Isıl korunum bölgesinde (thermal reserve zone) kokun çok az bir bölümü yükselen indirgeyici gazların içindeki CO gazıyla gazlaşır.

Daha sonrasında kok, 60 mm/dakika hızla kohesiv bölge içinde kok katmanları oluşturacak şekilde aşağıya doğru iner. Temel olarak kohesiv bölge katmanları gaz akışı için geçirgen değildir. Bu nedenle 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda gazların tümü kok katmanları içinden yukarılara çıkar. Daha sonra 1200 °C üzerindeki sıcaklıklarda kok "aktif kok bölgesinin" üst bölümüne iner ve burada damlayan ergimiş malzemelerle (sıcak maden ve curuf) temasa geçer. Kokun aktif kok bölgesi içindeki aşağıya yatay hareketinin hızı yaklaşık 100 mm/dakikadır. Kokun önemli bölümü tüyer önündeki hava boşluğuna (raceway) doğru hareket eder. Burada kok tüyerlerden üflenen havanın kinetik enerjisi tarafından oluşturulan türbülans nedeniyle (yaklaşık 50 m/saniye) yanar. Sadece kokun çok az bir bölümü fırın haznesine ulaşabilir. Fırın haznesine ulaşan kok ergimiş sıcak maden banyosu içinde yavaşça erir. Deadman bölgesinden hazneye kokun hareketi çok yavaştır ve 0,1 mm/dakika hızla hareket etmektedir.

Kok, ergimiş curuf ve sıcak maden aşağıya doğru hareket ederken indirgeyici gazlar yukarıya doğru hareket etmektedir. Normalde demirli malzemelerin fırın içindeki

hareketi 5 saat kadar sürerken kokun tüyer bölgesine ulaşması daha uzun zaman alır. Genel olarak haznedeki kokun 2-3 hafta kalabildiğine inanılmaktadır. Bunun yanında raceway'den ayrılan indirgeyici gazlar fırını yaklaşık 10 saniye içinde terk etmektedir [9].

5.2.2.4. Yüksek Fırında Kok Kırılması

Maniplasyon sisteminden başlayarak tüyer bölgesine kadar yüksek fırında kok boyutundaki azalma iki ayrı kırılma aşaması sonucudur.

1. Kok fabrikası ile yüksek fırında malzeme seviyesi arasındaki kokun mekanik etkileşimler nedeniyle kırılması. (Malzeme seviyesine kadar olan mekanik kırılmanın simülasyon neticesinde 1,2-12,5 mm arasında değiştiği ve bunun toplam kırılmanın % 30'unu oluşturduğu tespit edilmiştir.)
2. Fırın malzeme seviyesi ile tüyerler arasında meydana gelen kimyasal, ısıl ve mekanik değişimler sonucunda kokun kırılması. Malzeme seviyesi ile tüyerler arasındaki kırılma malzeme seviyesine kadar olan kırılmadan çok daha değişkendir ve önemli seviyededir. Bu kırılma 3,3-24,0 mm arasında değişmektedir ve toplam boyut değişiminin ortalama % 70'ini oluşturmaktadır. Yüksek fırındaki kok kırılma bölgeleri ve kırılma nedenleri şu şekildedir [9].

Kırılma

Malzeme seviyesine ulaşıncaya kadar mekanik etkiler nedeniyle toplam boyut küçülmesi yaklaşık 5 mm'dir. Bu toplam kırılmanın % 9'unu oluşturmaktadır.

Aşınma

Aşınma demir içeren malzemelerin kok üzerine yüklenmesi, daha ağır ve yoğun malzemeler arasında sandviç katmanlar şeklindeki kokun aşağıya hareketi sebebiyle oluşmaktadır. Bu kırılma malzeme seviyesinde (<200 °C) başlamakta ve sıcaklıkların 1300 °C'lere ulaştığı gövde, koheziv bölge ve aktif kok bölgeleri boyunca devam etmektedir. Aşınma nedeniyle kok boyutu yaklaşık 2 mm düşmektedir.

Kok Bozunum Reaksiyonu (Solution Loss Reaction) 800-850 °C civarında alkali karbonatlar kok yüzeyine birikirler. Alkali karbonatlar kok reaktivitesini artırır fakat boyut ve mukavemete etki etmezler. Karbon çözünümü 900-950 °C sıcaklıklarda başlar. Alkalilerin zararlı etkilerinin başlaması kok reaktivitesi ve yüksek fırın çalışma şartları tarafından kontrol edilir. Bu reaksiyon sonucu 900-1300 °C arasındaki sıcaklıklarda kok boyutu 2-3 mm (toplam kırılmanın % 3,6'sı) azalmaktadır.

Alkali Etkisi

1100-1450 °C arasındaki sıcaklıklarda aktif kok bölgesinde alkali buharları kok karbonu ile reaksiyona girerler. Kokun aşınma mukavemetini (ASTM Sertlik/Micum 10 vs.) düşürür ve mekanik etki nedeniyle boyut küçülmesine karşı hassas hale getirirler. Alkali etkisi nedeniyle kok boyutu 15-20 mm azalır ve bu toplam boyut küçülmesinin % 36'sına karşılık gelmektedir.

Isıl Şok ve Yüksek Hızlı Sıcak Hava

1100-1500 °C arasında oluşan yüksek sıcaklık etkisi direkt olarak kok boyutunu 1-3 mm düşürmektedir. Bu ısıl şok nedeniyle kok aşınma mukavemetini kaybetmekte, mekanik etki nedeniyle boyut azalmasından çabuk etkilenir hale gelmektedir. Kok boyutu, bu etki nedeniyle 5-7 mm azalmaktadır. Isıl şok ve yüksek hızda sıcak hava toplam olarak 7-10 mm'lik kok boyutu azalmasına sebep olmaktadır bu ise toplam kok kırılmasının % 18'i demektir.

5.2.2.5. İyi ve Kalitesiz Kok Karşılaştırması

Kokun kalitesinin bozulması durumunda yüksek fırında yaşanacak ana işletme problemleri şu şekildedir:

1. Gazla birlikte taşınan baca tozu miktarı artacaktır.
2. Gaz geçirgenliği azalacak ve fırında basınç yükselecektir. Bu nedenle üretim azalacaktır.

3. Raceway şekli ve racewayden çıkan gazların yönü değişecektir.
4. Fırın duvarlarında ısı yükü artacaktır.
5. Isıl denge bozulacak ve fırında dengesiz çalışma görülecektir.
6. Sıvı geçirgenliği bozulduğu için tüyer üzerlerine maden ve curuf gelme olasılığı artacak ve tüyer yanmaları artacaktır.
7. Deadman koku içinden sıvı geçişi zorlaşacağından curuf ve maden hazneye sadece çevresel olarak ulaşabilecek, bu ise haznede türbülans nedeniyle aşınma hızını artıracaktır. Fil ayağı oluşumu olasılığı artacak ve hazne delinmeleri meydana gelebilecektir.

Kok yüksek fırında üç temel rol oynamaktadır:

1. Fiziksel rol (gaz ve sıvı geçirgenliği),
2. Kimyasal rol (indirgeyici gaz),
3. Termal rol (ısı girdisi).

Bu fonksiyonların yerine getirebilmesi için kok özelliklerinin belirli standartlar içinde olması zorunludur.

1. Yüksek Fırında indirgenme ve ergime proseslerinde demirli malzemeler kok tarafından desteklenmektedir. Şarj malzemelerini desteklemek için kokun yerini alabilecek malzeme yoktur.
2. Tüyer önünde (raceway'de) kok indirgeyici gazlar ve yüksek ısıyı sağlamaktadır.
3. Fırının alt bölgelerinde parçalar arasında boşluk bulunması yüksek fırının stabil çalışması açısından çok önemlidir. Kokun en önemli özelliği fırın içindeki değişen atmosfer ve sıcaklığa karşı mekanik dayanımıdır. Boyut, oda sıcaklığındaki mukavemet ve yüksek sıcaklık mukavemeti, kokun en önemli üç kalite özelliğidir.
4. Kimyasal analizin istikrarlı olması ve düşük rutubet miktarları da önemli kalite parametrelerindedir.
5. Kokun kimyasal ve fiziksel özellikleri fırın gövdesindeki geçirgenliği, ısı kayıplarını, haznenin boşalması ve döküm şartlarını, sıcak maden silisyum

miktarını (% Si), ısı tüketimini ve indirgenme verimliliğini doğrudan etkilemektedir.

6. Kokun tüyer bölgesindeki davranışı, şarj malzemeleri ile gazların etkileşimini ve fırının normal boşalmasını etkiler. Sonuç olarak kok özellikleri yüksek fırın prosesinin teknik sınırlarını belirler. Özellikle kömür enjeksiyon miktarının yüksek olduğu durumlarda, kok çok daha uzun süre haznede kalmak zorundadır. Bu ise, kok mukavemetinin yüksek olması zorunluluğunu doğurmaktadır [9].

BÖLÜM 6

FIRIN DÜZENSİZLİKLERİ VE KONTROLLERİ

6.1. KANALLAMA

Karıştırılmış değişik ebattaki malzeme, gaz geçirgenliğini azaltır. Bu nedenle değişik gaz akışı ve değişik gaz hızları görülür. Küçük parçalar birikir ve asılı kalır, dolayısıyla tıkanma olur. Bu asılı kalan tabaka derinleşebilir. Böylece gaz bu tabakaların yanlarında çıkmak için kendisine ayrı ayrı bölgeler bulur (kolon halinde), buna kanallama denir.

Parçacıkların yükselmesi kanallamanın başlangıcıdır. Shur'a göre kanallama gazın düzensiz dağılımıyla olabileceği gibi, karakteristik durumlarda aerodinamik transferden dolayı da olur. Kanallama aşağıdaki bir veya birkaç şık ile fark edilir [1].

1. Tepe gaz sıcaklığının yükselmesi ve birbirine yaklaşması,
2. Kanal çevresi etrafında çevresel gaz sıcaklığın artışı,
3. Tepe gazın CO₂ oranının keskin artışı,
4. Kanal bölgesine yakın yerlerden daha çok hava girişi,
5. Yüksek toz kaybı,
6. Sert ve büyük gaz basıncı yükselmelerinin büyük çanın inişi esnasında olması,
7. Hava basıncında düşme (Özellikle kanallama büyük olduğu durumda).

Düzensiz gaz dağılımı şöyle anlaşılır.

1. Tüyerlerde düzensiz hava dağılımı,
2. Şarj seviyesinde ani değişimler,
3. Sıcaklık farkı ve tepe gazının CO₂ oranı örnekleri.

Düzensizlik, şarj tekniklerini ayarlıyarak giderebilecekken, kanalaşmadaki durum hava basıncı 0,2 atm'e kadar düşürerek giderilir. Bu da Blöf valfini açarak veya bazen yapay kaymalar yaparak elde edilerek giderilebilir.

Genel inanişta zıt olarak kanala toz parçası şarj etmek idekanallamayı yok etmez. Aksine kanalın kendisini korumasına yardım eder. Çünkü gaz tarafından uçuşan tozlar az geçirgen bölgelerde birikir. Eğer kanala girmeyen toz parçacıklar var ise sıcak gaz tarafından eritilirler. Erimiş kütleler kanalın duvarını kuvvetlendirir. Cevherin bir yerden diğere transferinden dolayı birkaç kanalı tek bir kanal içine birleştirmek mümkündür [1].

6.2. KABUK OLUŞUMU

Kabuk, bosh bölgesinde, harmanın (demirli cevher, kok) bozukluğundan ve operasyonun düzensizliğı nedeniyle birincil curuf ve bosh curufunun fiziksel özelliklerindeki değışme sonucu oluşur. İlk sebep, curuf erime bölgesinin aniden düşmesi, curuf akışkanlığının düşmesi ve curufun yeniden donmasıdır. Sonuç olarak macunumsu bir kitle kabuk şeklinde bosh eğimine yapışır ve fırın içinde gazın yükselmesi ve malzemenin inmesine engel teşkil eder. Ek olarak hava kanal yamak ister, eğer kabuk ayrılmazsa gaz tek yönden gitmeye başlar ve astar aşınır. Curufun sıcaklığı, akışkanlığı ve katılaşıma bölgesindeki değışiklere sebep olarak;

1. Alev sıcaklığının artması (curuf erime bölgesinin aşağı inmesi.)
2. Hava rutubetindeki düşüş
3. Curuf kimyasal kompozisyonundaki değışme (Cevher ve/veya kokun kompozisyonundaki farklılıklar)
4. Kötü gaz dağılımı mesela, direk indirgenmenin sabit olmayışı bunun sonucu bosh'a çok miktarda wüstite gelir. Wüstitin bosh'u indirgenme sonucu çabuk terk etmesi bosh curufunun yeniden donmasına sebep olur.

Kısacası, birincil ve bosh curufu kalınlaştıran her işlem kabuk oluşumuna neden olur. Bu durumda yüksek bazik curuflar asit curuflara nazaran daha tehlikelidir. Çünkü asit curuflar sıcaklık düşürüldükten sonra bile sıvı kalırlar. Birincil curufun

akışkanlığı FeO miktarı ile kontrol edilir. FeO miktarı derece derece azaltılırsa curuf erime sıcaklığı artar curuf bazitesi artar. Herhangi bir sebepten dolayı mesela endotermal direk indirgenme miktarının artması sonucu sıcaklıktaki ani düşüş curufun donmasına neden olabilir [12].

6.2.1. Kabuk Oluşumunun Kontrolü

Kabuk oluşumu şu metodlarla önlenir veya oluşan kabuk düşürülür.

1. Kabuğu eritmek için ekstra kok şarjı
2. Aynı amaç için geçici olarak hava sıcaklığını düşürerek, curuf erime bölgesi yukarı çekilir.
3. Eğer fırın merkezine doğru kemer oluşumundan dolayı askılanma kötü ise fırına blöf çekmek (hava basıncını düşürmek) gerekir. Bu, havanın şamandıra etkisini azaltır ve malzemenin ağırlığı kabuğu kırar.
4. Kenardan uzağa kireçtaşı şarjı ederek duvarda kireçli curuf oluşumunu engellemek. Bu da CCKKLK veya KKLKCC şarj sırası ile olur.
5. Kenarı gevşetmek ve kabuğu temizlemek için KKKCC şarjı kısa bir süre için kullanılabilir. Koku takip eden cevher ile yapılan şarj sonucu eksende bir depresyon (huni) oluşur. Cevher, merkeze eğim yapmış huninin içine yuvarlanır.
6. Fırının üretimi iyi ve düzenli olmadığı zaman kabuk duvardan temizlenmelidir. Bu iş çok miktarda fayalit içeren zor yanan sinter kullanmakla olur. 1100–1500 °C'de indirgenen bu gibi sinter fırın altında belirli bir bölgeye kadar yeterince sıvı curuf sağlarlar, kireç yapılı kabuğu çözer fırını iyi çalışmasını destekler.
7. Kabuk oluşumunu azaltan yüksek erime sıcaklığı ve dar yumuşama sıcaklık aralığı olan curuf kullanmak [12].

6.3. ASKILANMA

Askılanma, malzemenin aşağı veya gazın yukarı akışı sırasında bir karşı koyma ile karşılaşılabilir. Askılanma şu sebeplerden olur.

1. Skaffold, kabuk ve yapışkan bosh curufu oluşum nedeniyle malzeme inişi engellenir.
2. Tozun çok olması sonucu gazın verdiği destek artar.
3. Kok tabakasında sıvı metalin birikmesi.
4. Bosh bölgesinde yüksek akışkan veya yeniden donmuş curuf veya donmuş demirin gaz geçişini bloke etmesi.

Bunların tümü aşağıdaki alt bölümlerde tartışılmıştır.

6.3.1. Kabuk ve Skaffoldlar

Kabuk, skaffold köprü ve benzerlerinin duvar üzerinde oluşumu malzemenin aşağı doğru akışına fiziksel olarak karşı koyar ve engel oluşturular. Hatta malzeme hareketini durdururlar. Bosh ve belly'de sert kabukların oluştuğu durumlarda ekstra kok şarj etmek gerekir ve miktarı azaltılmış soğuk hava üflenmelidir. Bu parçalar kopunca bosh kayması diye bilinen ani bir malzeme çökmesi olur.

6.3.2. Kenardan Fazla Yükleme

Kenar, fazla miktarda tozlu cevherle yüklenerek geçirgenliği düşürülür. Böyle fırınlar zor çalışırlar. Malzeme iniş hızı yavaşlar. Hava basıncı aniden yükselir. Aşırı durumlarda fırın askılanır. Kenar gazın CO₂ miktarı yükselir. Bu tür askılanma ilk şarj malzemesi olarak kok kullanarak veya tozları eleyerek önlenir.

6.3.3. Sıcak Askılanma

Alev sıcaklığındaki artış malzeme hareketini bozar ve askılanmaya neden olur. Bütün askılanma hava sıcaklığını düşürerek veya soğutucu enjekte ederek giderilebilir. Alev sıcaklığı, hava sıcaklığının artması, hava rutubetinin azalması veya kokun karbon miktarının artmasıyla doğru orantılıdır.

6.3.4. Soğuk Askılanma

Soğuk askılanma, donmuş curufun kok arasındaki boşlukları doldurması sonucu oluşur. Curufun yüksek viskoziteli olması ve bosh ile hazne sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır. Bunların sebepleride;

1. Bosh ve hazne soğutma plakalarının delinmesi,
2. Kok 'C' miktarının aniden düşmesi,
3. Hava rutubetinin aniden yükselmesi.

Çareler;

1. Delik plakaları izole etmek ve mümkün olunca değiştirmek.
2. Şarjdaki cevher/kok oranını azaltmak; bunun etkisi 6-8 saat sonra görülür. Mümkünse hava sıcaklığını artırmak veya geçici olarak hava miktarını azaltmak.

Ek olarak indirek redüklenmedeki düşüş de soğuk askılanmaya sebep olur. Yükselen wüstite direk indirgenmesinin endotermik ısı ihtiyacı, boşluklarda demirin donmasına neden olur. Gaz akışını engeller. Eğer donma duvarda olursa kabuk oluşur. Çare olarak hava sıcaklığını artırmak ve/veya cevher/kok oranını azaltmak ve şarj kontrolü ile gaz dağılımını geliştirmektir [12].

6.4. KAYMA

Kayma, malzemenin ani ve hızlıca aşağı çarpma hareketidir. Başlangıçta fırın içinde köprü oluşması ile olur. Veya fırın üstünde malzeme askıda kalırken askının altının eriyip aşağı doğru hareket etmesiyle oluşur. Askı malzemesi harmanın çarpması sonucu aniden aşağı düşene kadar askının altında bir boşluk oluşur ve büyür. Ani çarpma bir patlama oluşturur. Tepe dışlisine zarar verebilir.

Askılanma ve kayma sebepleri;

1. Alkali oksit ve çinko buharının yoğunlaşp (gövde bölgesinde) duvarlarda sert kütleler oluşturmaları.
2. Büyük kütledeki malzemenin boşluklarına kok tozu ve ufak cevher taneciklerin dolması veya kok depolanması sonucu gaz ve malzeme akışının engellenmesi yatak malzemesinin sertleşmesi.
3. Operasyondaki değişikler sonucu önceden eriyen curufun yeniden katılaşması, malzeme hareketini engelleyici katı bir kütle oluşturmaları.

Kayma aynı zamanda kanal sonucu malzemenin farklı hareket hızı sonucu oluşur. Sıkıştırılmış ve yoğun bölgeler geri kalan bölgelerden daha yavaş hareket eder. Bu da çarpışmaya sebep olan boşluklar oluşturur. Bu gibi çarpışmalar gaz akışını kolaylaştıran ve malzemeyi gevşettiği için kanallanmayı yok ettiğinden dolayı kârlı olabilirler. Malzemelerin gevşemesi malzemeler altındaki boşluklarda sıkışmış gazların yukarı çıkması sonucu olur. Kayma sonucu çarpışan malzemeler geçirgenliğin artırmaksızın kanalları doldurursa belirli bir periyoddan sonra askılanma yeniden başlar.

Bölgesel askılanma ve kayma fırındaki yumuşama-erime bölgesinin tipine bağlıdır. Wokoyama'ya göre kayma W (veya V) tip bölgelerde sık olurken ters V tipi bölgelerde arasıra olur. İlk kısmı katı bölge merkez kok kolonu ve duvar arasında oluşur. Kolay sapma olmadığı için askıya sebep olur. Ters V tipi bölgelerde sıvılaşma fırın merkezi ve orta bölgelerde oluşur. Küçük miktardadır. Kolayca yok olur. Bu yüzden sabit ve optimum fırın üretimi için ters V tipi yumuşama erime bölgesi iyidir [1].

Kayma tepe gaz sıcaklık ve basıncını artırır. CO ve CO₂ miktarı düşüş gösterir. Sebebi boşluklardan aniden çıkan azot ile karışmalarıdır.

Körber ve Meyer'e göre kayma sonucu çok yüksek basınçlarda (6-12 atm) gaz çıkışı, malzemelerin gevşemesi sonucu olabilir. Demir oksit yüksek sıcaklık bölgesine çarpınca demir oksitle karbon arasında veya oksit ile ilgili akışlı cyonitler arasında patlatıcı bir reaksiyon oluşur. Bu da gaz çıkışına sebep olur [12].





Kayma, sabit fırın hareketini engeller, gaz dağılımını bozar. Üretim oranını azaltır, kok oranını artırır. Metal kalitesini ve haznenin termal durumuda etkiler. Çok miktarda kok tozu içeren tozun uçuşması, termal olarak hazırlanmamış ve indirgenmemiş cevherin fırın altı bölgesine düşmesi metal kalitesini etkiler (Mn ve Si düşer, S yükselir) ve haznede sert tabaka oluşturur.

6.4.1. Cevher Kayması

Cevher tozlarının, geçirgenliği yüksek bölgeden düşük bölgeye kayması bölüm 5’de bahsedilmiştir. Bunun sebebi farklı radyal kesitlerdeki farklı geçirgen bölgeye gaz buradaki tanecikleri merkeze veya gaz hızı az olan bölgelere atar. Cevherin bu gibi kayması kanallanma ve blokaj oluşturur. Bu gaz ve malzemenin kötü hareketine sebep olur, gazın termal ve kimyasal enerjisi yeterince kullanılamaz ve kok oranı artar. Tüm gazın dar bir geçirgen bölgeden akmasından dolayı tepe gazı sıcaklığı ve basıncı artar. Stok seviyesi artar (en azından azalmaz). Bunun seviyesi stok hareketinin kötü olması nedeniyle kayma sonucu tepe sıcaklık ve basıncının artmasıdır. Her iki durumda da direk indirgeme ve dolayısı ile (CO+CO₂) miktarı artar, ama cevher durumunda bu artış gazın kenardan akması ve CO’in iyi kullanılmasından, kayma durumunda ise indirgenmemiş oksitin fırının sıcak alt bölgesine çarpması sonucudur.

Farklı gaz hızı ve basıncından dolayı toz taneciklerinin yüksek geçirgen bölgeden düşük geçirgen bölgeye transfer olmasını engellemek için hava miktarını azaltmak, şarj derinliğini değiştirmek veya tepe gaz ve sıcaklığını dikkatlice izleyerek şarj sırasını değiştirmek, toz uçuşmasını ve duvar sıcaklıklarını izlemekle olur.

6.5. HAZNENİN TIKANMASI

Tıkanma, sıvının kok katmanlarından sızmasını engeller, hazne duvarında metal donmasına sebep olur ve fırının çalışma dağılımını bozar.

Tıkanmanın sebepleri;

1. Yüksek hava oranı ile gaz hızının aşılması sonucu akma sınırına ulaşmak ve kok katmanlarından fazla sıvı akması.
2. Yüksek erime noktasında akışkan curuf kullanmak
3. Küçük boyutlu ve/veya zayıf kok kullanmak. Alkali resirkilasyonu sonucu kokun kırılması.
4. Fazla miktarda ham kireçtaşı ve ufak ebatlı sinter kullanmak
5. Yüksek silikalı demir yapımı sırasında grafit birikmesi

Tıkanma, şarjı ve malzeme hareketini bozar. Metal alındıktan sonra çabucak tüyerlerde curuf görülür. Demir curuf içine karışabilir. Tüyer ve curuf deliği yanar. Demir sıcaklığı genelde düşük olur. Kükürt yükselir. Kok tabakalarının tıkanmasından dolayı daha çok demir tüyerler civarından akar ve tüyer yanar. Hazne duvarında katı birikimi olduğu için hazne çapı daralır. Metal alımından sonra haznede metal seviyesi yükselir.

Tıkanmayı önlemek için şunlar uygulanmalıdır.

1. Kokun mekanik mukavemetini artırmak. Kokun parçalanması tıkanma ve tüyer yanması için çok önemlidir.
2. Eğer kokun parçalanması alkaliden dolayı ise alkali girdisini azaltılmalı, mümkünse düşük alev sıcaklığı ile çalışılmalı veya fırınlarda alkali oluşmasını önlemek için düşük baziteli curufla çalışılmalı.
3. Cevher/kok oranını azaltmak için hava sıcaklığını düşürmek.
4. Sinteri duvara şarj etmek. SSKKK/şarj
5. Her 5-7 şarjda blok kok şarj etmek.

6.6. HAZNENİN SOĞUMASI

Haznenin soğuması, metal sıcaklığının düşmesi ile olur. Aşağıdaki sebeplerden dolayı soğuma olabilir.

1. Ani ve fazlaca bir kayma sonucu hazneye soğuk malzemenin inmesi,
2. Kenardan malzeme inişinin artması,
3. Bir veya daha fazla tüyer sektöründeki cevher/gaz oranının değişmesi,
4. Büyük kanallara soğuk malzemenin çarpması,
5. Bosh ve hazne soğutma plakalarının delinmesi,
6. Sabit kok karbonundaki ani düşüş.

Bir malzeme köprüsü ve altında bir boşluk oluşunca köprü üzerindeki ağır yükten dolayı kırılır. Eğer kayma yoğunsa soğuk malzemenin hazneye inmesi hazneyi soğutur. Fırına sık sık blöf çekmek yoğun kaymaları önler.

Eğer büyük geçirgenlikteki malzeme bir bölgede birikirse burada cevher/gaz oranı ve bu özel bölge ısınır ama diğer bölgelerdeki oran artar ve bu bölgeler soğur sonuçta hazne soğur. Belirli tüyerlerde hava ihtiyacının artmasıyla aynı sebeplerden dolayı soğur. Çünkü fırın içinde farklı operasyonlar olmaktadır. Tüyer çapını artırmakda fazla kenar akışa neden olacağı için aynı etkiye neden olurlar ve aksel bölüm kanal oluşumu olayında büyük, hazırlanmamış malzemeler askıdaki malzeme yatağına doğru çarpabilir. Eğer bölgeye inen malzemenin hızı artarsa, bölgeden büyük miktarda gaz geçmesine rağmen bu malzemeler iyi ısıtılamazlar. Ek olarak, gazın az gelmesinden dolayı diğer bölümler de soğur. Bunların tümü haznenin soğumasına neden olur.

6.7. TÜYERLERİN YANMASI

Tüyerlerin ve curuf deliğinin yanmasının sebepleri şunlar olabilir.

1. Yüksek akışkanlıktaki bosh curufunun bosh'u tıkanması ve içine demir karışmış curufun tüyerler üzerinden alınması.
2. Kok tozu nedeniyle hazne ve boshun tıkanması grafit ve kok tozu tarafından akışkanlığı artan curufun tüyerler altında birikmesi.
3. Fırının alt kısmını kenar akış: curuf akışkanlaşır. FeO miktarı artar, hazne kenarında sıcaklık düşer tüyerler altında ve arasında metal donar ve tüyerleri

yakar. Kenar gaz sıcaklığındaki 50–100 °C'lik düşüş ve farklı tüyerler arasındaki 100–150 °C'lik sıcaklık farkı tüyerlerin yanacağına dair bir uyarıdır.

Çareler;

1. Sıvı, az akışkan bosh ve hazne curufu yapmak,
2. Kokun kalitesini artırmak özellikle yüksek sıcaklıkta kimyasal etkiye ve mekaniksel kırılmaya mukavemetli olmalıdır.
3. Düşük alkali malzeme kullanılmalı, eğer malzemenin alkalisi yüksekse curuf asidik olmalı,
4. Kanallar ve kenar akışı engellenmeli,
5. Mümkün olduğu kadar uzun süre devamlı hava üflenmelidir.

6.8. KOKUN KİRLİLİĞİ

Temelde pik dökümü sırasında ve hatta curuf alımı sırasında haznedeki metal ve curufla birlikte çok miktar da kok gelir. Bu durum kok kirliliği olarak isimlendirilir ve operasyonda sorunlara neden olur. Çünkü döküm deliği tıkanır ve temizleyene kadar çamur topu tarafından doldurulamaz.

Kok kirliliğinin sebepleri;

1. Curuf akışkanlığından dolayı curufa karışmış olan kok parçacıklarının, kokun zayıfları ve/veya elenmemesi sonucu oluşan kok tozlarının birleşmesi. Bu kok parçacıkları curufla birlikte curuf deliğine enjekte olurlar metal veya curufla birlikte döküm deliğine gelirler.
2. Eğer operasyon sürekli değilse, kok kirliliği mukavemeti iyi olan koklarda bile görülür. Normal durumlarda büyük kok parçacıkları yanarken küçülürler ve tüyer raceway'ın yıkılmasına neden olur. Küçük parçacıklar hazneye inerler ve hava yeniden verilince racewaye dönmezler.

Kok kirliliği şu yollarla engellenir veya azaltılır.

1. Aşınma, basıncı, çarpma, CO₂'le reaksiyon ve alkali metal etkilerine dayanacak mekaniksel ve kimyasal mukavemetli kok kullanmak,
2. Mümkün olduğu kadar havayı kesmemek, dökümü hava basıncını düşürmeden yapmak,
3. 20-25 mm altındaki koku elemek,
4. Uygun çamur ile döküm deliğinin kuvvetli olduğundan emin olmak [12].

BÖLÜM 7

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

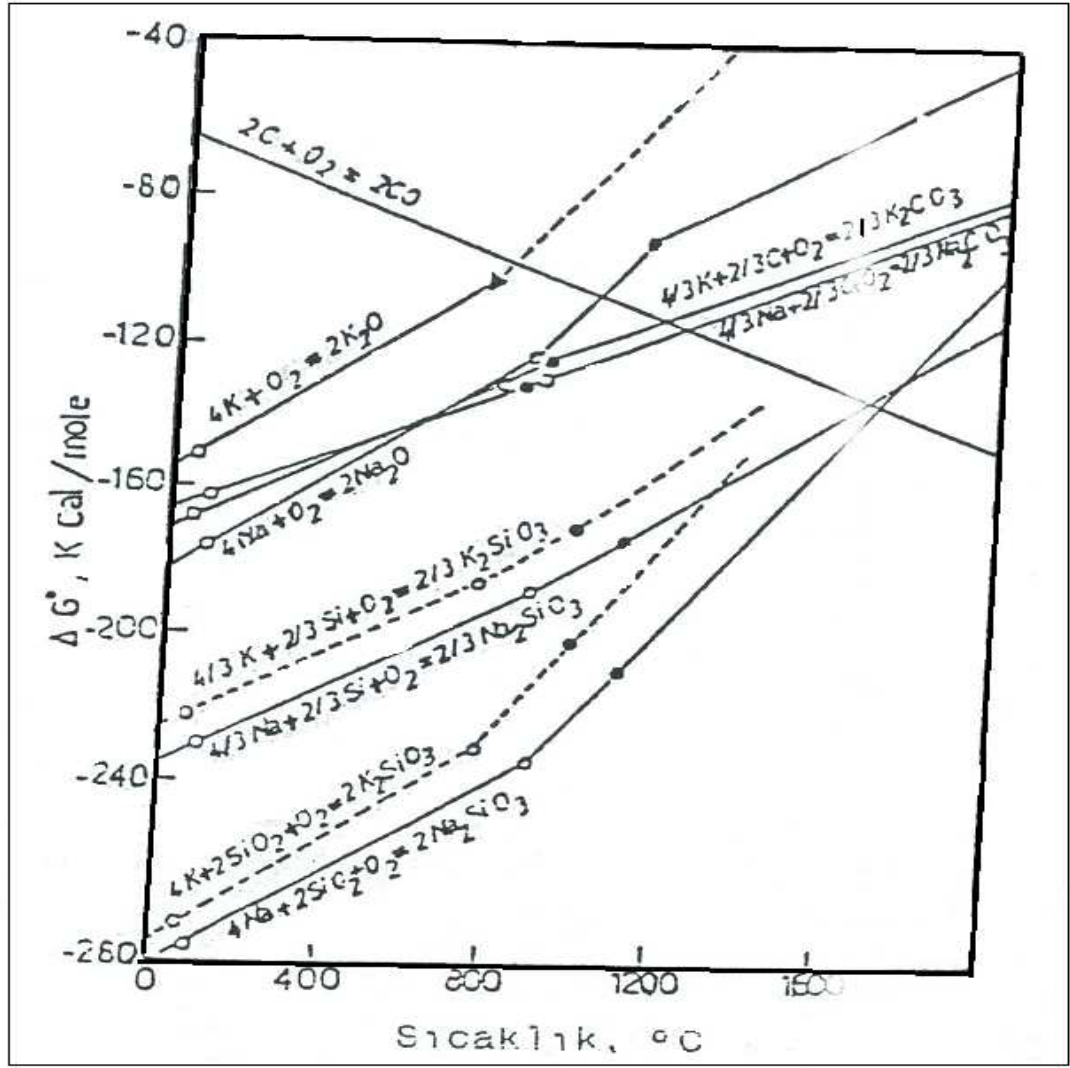
7.1. YÜKSEK FIRINDA ALKALİ REAKSİYONLARI

Yüksek fırında alkalilerin meydana getirdiği problemleri anlayabilmek için, öncelikle alkali bileşiklerin termodinamik davranışlarını ortaya koymak gerekmektedir.

Abraham ve Staffanson tarafından yapılan araştırmada yüksek fırında alkali problemleri incelenmiş ve alkali bileşiklerini termodinamik stabilitesi tartışılmıştır [27].

Aynı konu El-Geassy ve arkadaşları tarafından da incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada alkalilerin Mısır, Helwan Demir Çelik Fabrikalarındaki yüksek fırınlara etkileri bu fırınlardan toplanan veriler incelenerek bulunmaya çalışılmıştır. Termodinamik verilerden, fırın içinde oluşan alkali bileşiklerinin kararlılığı (stabilitesi) hesaplanmıştır. Fırın içindeki değişik bölgelerdeki alkali sirkülasyonun sıcaklığa bağlı olarak değişimi, bir model olarak çıkarılmaya çalışılmıştır. ilaveten, girdi ve çıktı malzemelerin içerisindeki alkaliler istatistiksel olarak hesaplanmış ve sonuçları tartışılmıştır [28].

Her iki çalışmadan anlaşıldığı gibi, alkali oksitleri, ya da silikatları metalik hale indirgemek için en uygun şartlar bosh ve hazne bölgesinde bulunmaktadır. Sodyum bileşiklerinin, potasyum karbonat ve katı potasyum oksitlerin oluşum serbest enerjileri bilinmektedir. Şekil 7.1’de düz çizgi halinde gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Sodyum ve potasyum oksit, silikat ve karbonatlarının oluşum serbest enerjileri [28].

Katı potasyum oksit yaklaşık 881 °C'de potasyum gazı ve oksijen olarak parçalanmaktadır. Bundan dolayı Şekil 7.1'de K_2O çizgisinin 881 °C'nin üzerindeki kısmı kesik çizgiler halinde gösterilmiştir.

Belirli alkali bileşiklerinin karalılığı fırın şartlarında bileşiklerin parçalanmasıyla ortaya çıkan potasyum ve sodyum gazlarının basınçları cinsinden hesaplanabilir. Alkali metalin gaz basıncı ne kadar düşüğe bileşik o kadar kararlı demektir. Bu stratejiye dayanan Lu, potasyum bileşiklerinin göreceli karalılıkları üzerine bazı hesaplamalar yapmıştır. Lu'nun hesaplamalarında potasyum içeren çeşitli bileşiklerin karalılıkları denge potasyum gaz basıncı cinsinden (belli şartlarda) karşılaştırılmıştır.

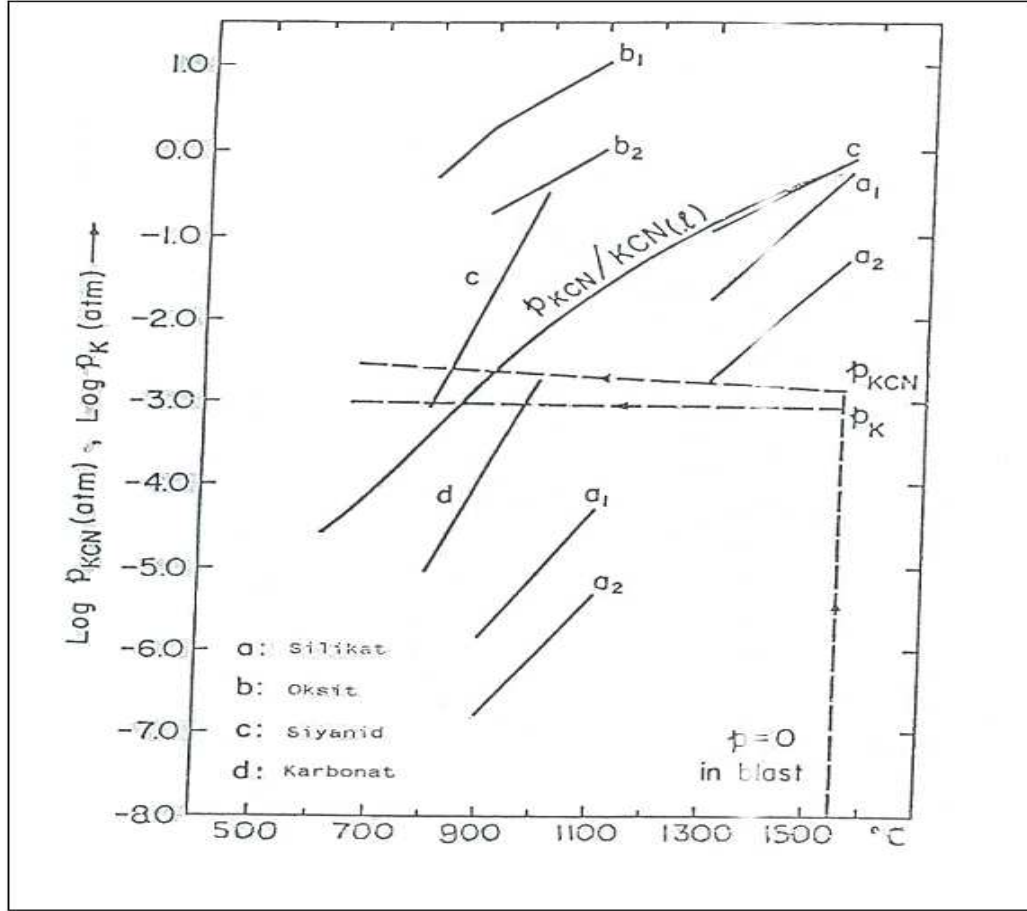
Alkalilerin dolaşım ve birikimi sırasında meydana gelen bu reaksiyonların kinetik davranışları dikkate alınmıştır [29].

Lu'nun hesaplama sonuçları Şekil 7.2'de özetlenmiştir. A1 ve a2 olarak işaretlenmiş çizgiler potasyumun, potasyum silikat ile aktivitesinin 1 ve 0,01 (saf malzemeye göre) olduğu durumlardaki gaz basınçlarını göstermektedir. Pk gibi özel bir değeri olan bir gaz için belli bir sıcaklıkta şekil 7.2 üzerinde bir nokta bu durumu göstermek üzere bulunabilir. Termodinamik olarak gazın içindeki gerçek Pk değerinden daha büyük bir (Pk) eq'ya sahip olan bir bileşik çözülmeye ve potasyumu gazlaştırmaya eğilimlidir. (Pk eq<Pk) durumunda ise reaksiyon potasyum gazını tüketerek bu birleşigi yoğunlaştırır.

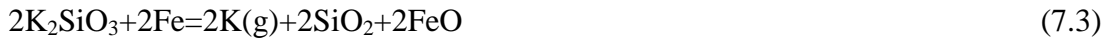
$P_{KCN}/KCN(s)$ şeklinde belirtilmiş olan eğri KCN'ün sıvı ve saf siyanür üzerine gaz basıncıdır. Alkali silikatların reaksiyonu aşağıdaki gibi oluşabilir.



Bu reaksiyonların gerçekleşmesi karbonmonoksit basıncına ve sıcaklığa bağlıdır. Öte yandan yeni oluşmuş demir alkali silikatları yüksek sıcaklıktaki bölgelerde şu reaksiyona göre indirgenebilir.

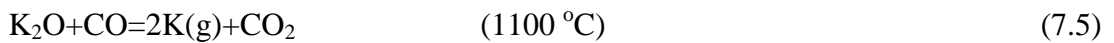


Şekil 7.2. K ve KCN' nin dengedeki kısmi basınçları [29].

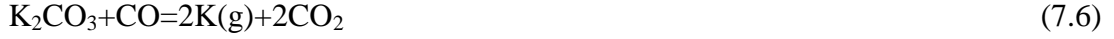


Bu reaksiyonların (7.1, 7.2, 7.3) sonunda oluşan alkali gazları gaz akışı ile fırının yukarı bölgelerine doğru taşınırlar.

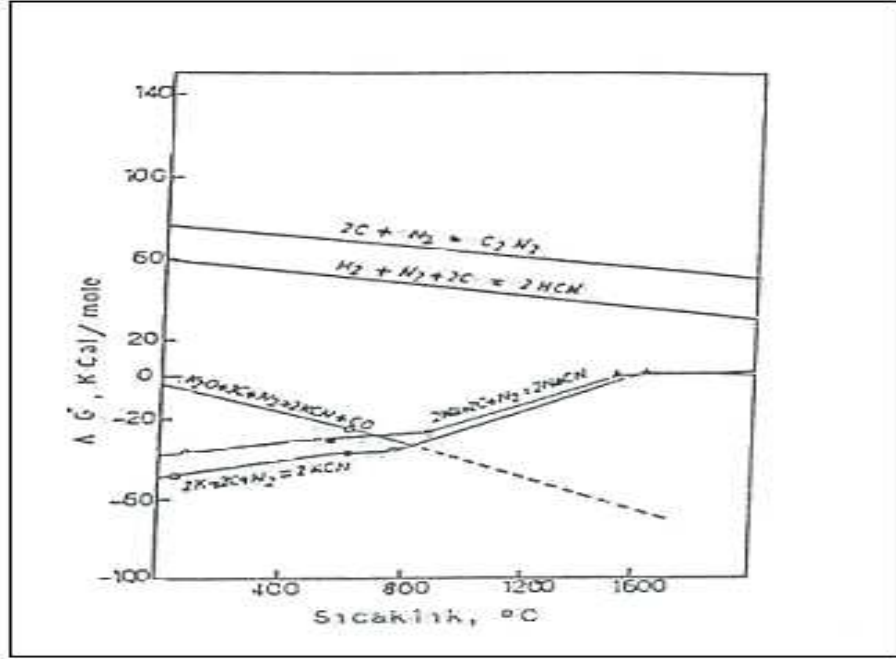
815-1100 $^{\circ}\text{C}$ 'leri arasında alkali oksitler katı karbon veya gaz karbonmonoksit tarafından şu reaksiyonlarla indirgenebilirler.



Şekil 7.1'de belirtildiği gibi yüksek fırında 1 atm basınç altında 1200 $^{\circ}\text{C}$ 'den düşük sıcaklıklarda karbon, alkali karbonatları indirgeyemez. Fakat karbonmonoksit, düşük sıcaklıktaki bölgede bunu yapabilirler.



(7.4, 7.5, 7.6) no'lu reaksiyonlarda potasyum gaz halinde açığa çıkar çünkü kaynama noktası 766 °C olup reaksiyon sıcaklığının altındadır. Alkali siyanürlerin aşağıdaki reaksiyonla oluştukları söylenebilir.



Şekil 7.3. Siyanür oluşumunun standart serbest enerjileri [29].

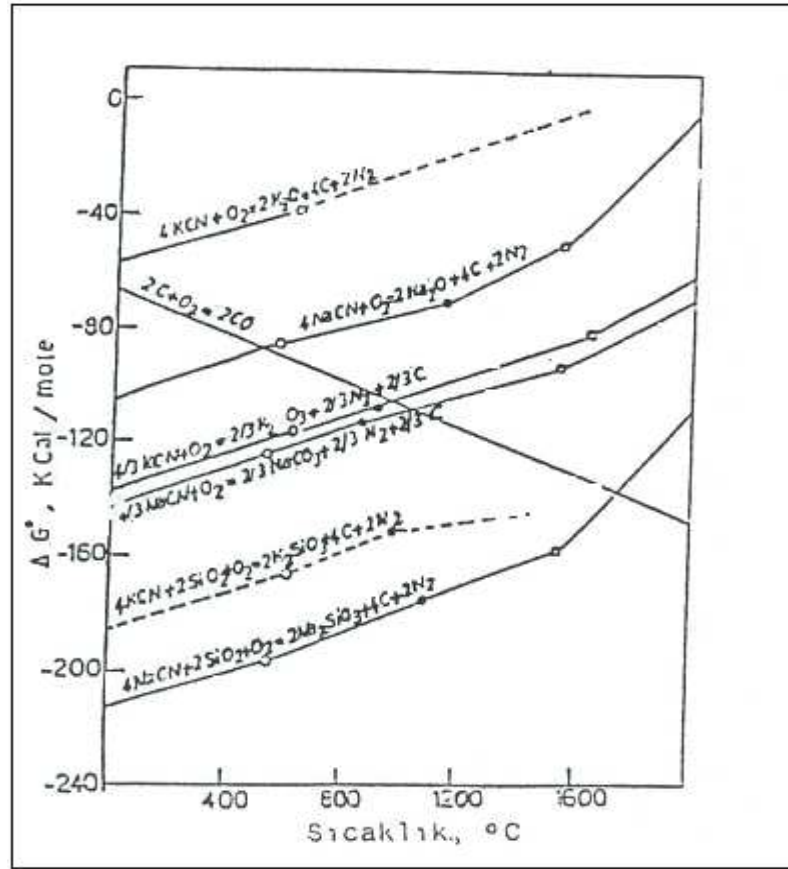


Şekil 7.3'te görüldüğü gibi alkali siyanürler yüksek fırın şartlarında kararludur ve fazları (durumu) sıcaklığa bağlıdır. Potasyum siyanür 622 °C'de erir ve 1625 °C'de kaynar. Sodyum siyanür için bu sıcaklıklar sırasıyla 652 ve 1530 °C'dir. Bu durumda, fırının bosh ve gövde alt bölgelerinde alkali siyanürler sıvı olarak, tüyer bölgesinde ise gaz olarak bulunurlar. Hazneden çıkan gazların bir miktar siyanür ile serbest potasyum ve sodyum gazları içerdikleri söylenebilir. Siyanürlerin çoğu yoğunlaşmış durumdadır ve yoğunlaşmadan önce bir kısım siyanür gazı fırın

refrakterine işleyebilir. Siyanürlerde metal gazları gibi gövde bölgesinde daha karalı karbonatları oluşturmaya yetecek kadar oksitlenebilirler.



Alkali oksitler ile CO₂ arasındaki reaksiyonda alkali karbonatlar da oluşabilir (Şekil 7.4) [29].



Şekil 7.4. Sodyum ve potasyum oksit, karbonat, silikat ve siyanürlerin standart serbest enerji değişimleri [29].

7.2. ALKALİ DOLAŞIMI

K.P. Abraham ve L.I. Staffansson tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi, alkaliler yüksek fırına soğuk bölgelerde termodinamikçe kararlı olan karmaşık silikatlar halinde girerler ve sıcak bölgelere ininceye kadar parçalanmazlar. Buralarda da dengeye ulaşmak için yeterli zamanı bulamadıklarından sadece bir

kısmı parçalanır. Parçalanmadan sonra potasyum gaz halinde ortaya çıkar. Alkalilerin bir kısmı indirgenemeyerek curufa geçerler [27].

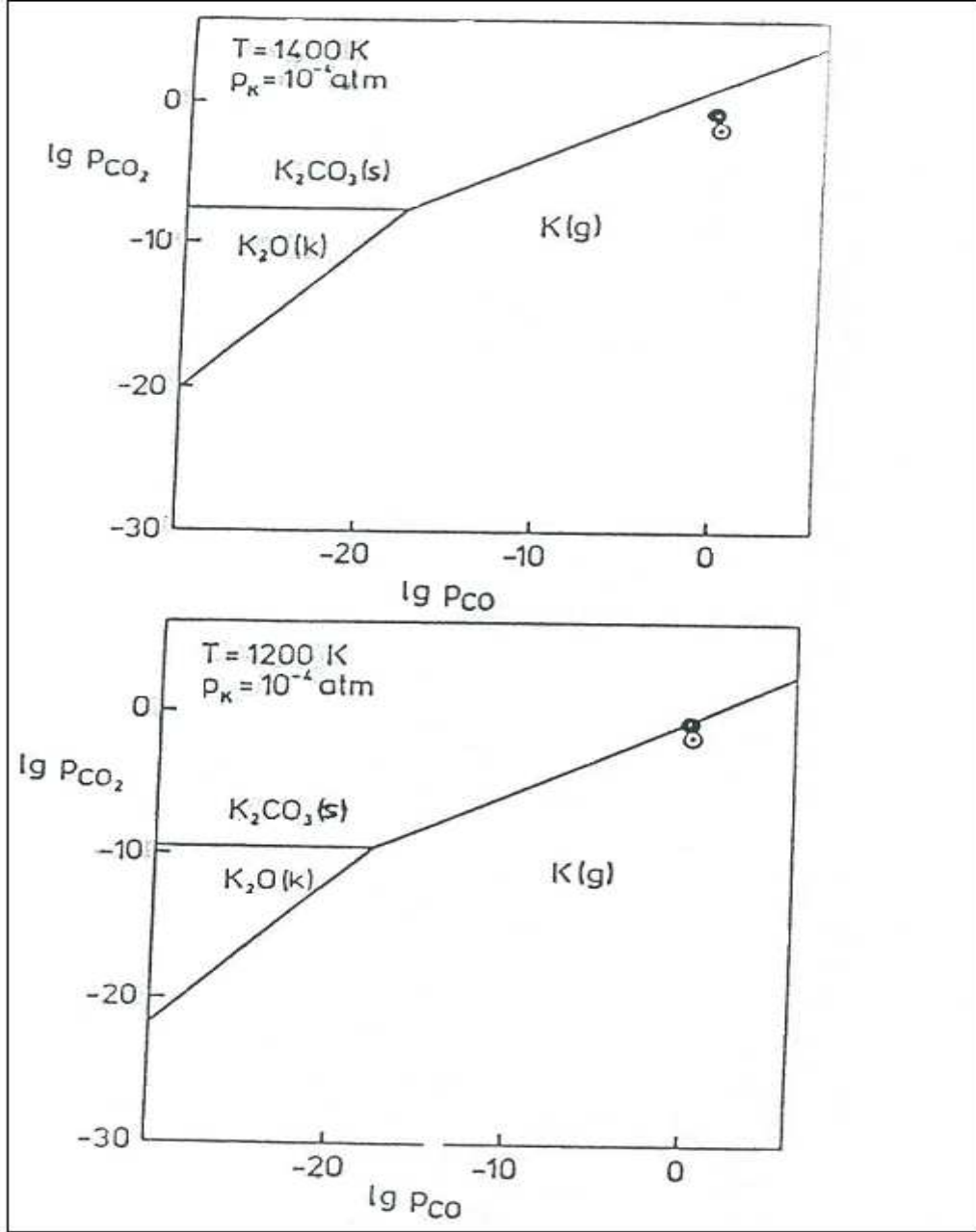
Stephenson'nun yaptığı çalışmada belirtildiği gibi, gaz halindeki alkali gövde bölgesinde ilerleyerek yükseldikçe gazın sıcaklığı düşer ve gaz halindeki alkali oksitlenerek küçük katı parçacıkları halinde yoğunlaşırlar [30].



Yoğunlaşan bu alkali oksitlerin bir kısmı fırın duvarlarının iç yüzeyine, bir kısmıda şarj malzemelerinin üzerine yapışırlar. Aşağıya indikçe bunların sıcaklıkları artar ve $(K_2O)_2.Fe_2O_3$, $(K_2O)_4.Fe_2O_3$ ve K_2FeO_2 bileşiklerini oluştururlar.

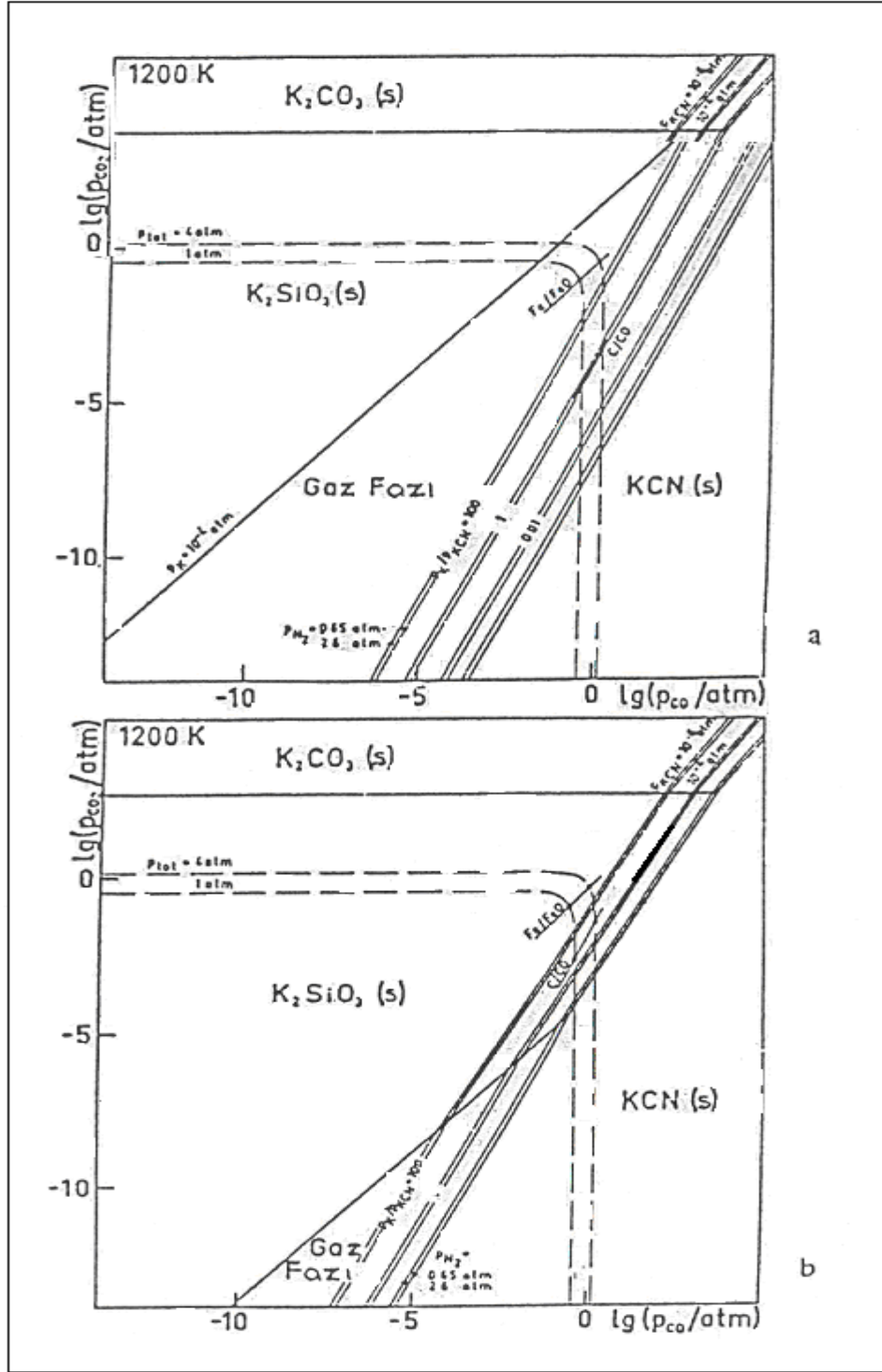
Lilius'a ait bir çalışmada alkalilerin yüksek fırındaki davranışı ve alkali dolaşımı incelenmiştir. Dolaşımın kısmi olarak ayrı olan iki bölgesine dikkat çekilerek 1100 °C'nin altındaki sıcaklık bölgelerinde daha az kararlı alkali bileşiklerinin reaksiyonundan oluşan alkalilerin dolaşımında olduğu belirtilmiştir. Yüksek sıcaklık bölgelerinde kok külü alkali dolaşımını artıran bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Lilius'un bahsettiği gibi, klasik bazı araştırmacılar yüksek dolaşımını termodinamik temele dayanarak incelemişlerdir. Fakat bunların çalışmaları kararlılık grafiklerine dayanan bir yaklaşımla ulaşılabilecek berraklıktan yoksun bir şekilde yalnızca oksijen potansiyeli ve gaz basıncı grafiklerine dayalıdır [31].

Şekil 7.5'te gösterildiği gibi, Lilius iki farklı sıcaklıkta ve $P_k=10^{-4}$ barlık bir potansiyel basınç altında basit bir sistemde K-O-C kararlılık grafiğini çizmiştir. Bu kararlılık grafiği yoğunlaşmış fazların saf ve potasyum içeren gaz bileşiklerin tek molekülü (K,KCN) olduğu farzedilerek çizilmiştir. Şekil 7.5'te gösterilen o Boudouard dengesini ve o noktada Fe/FeO dengesini göstermektedir.



Şekil 7.5. 1400 ve 1200⁰K sıcaklıklarında K-O-C sistemi [31].

Kararlılık grafiği 1200⁰K'de potasyum boudard dengesinde gaz haldeki metalik buhar olarak bulunmakta olduğunu fakat Fe/FeO dengesinde K_2CO_3 kararlılık bölgesi aşağıya ve sola doğru kayar. Belirtilen şartlarda K_2CO_3 oksitlenmesi yalnızca 1200⁰K'nın altındaki sıcaklıklarda mümkün olur. Gene Lilius'a ait olan K-O-C-N-SiO₂ kararlılık grafiği iki değişik sıcaklıkta şekil 7.6'da görülmektedir. KCN(k,s), $K_2SiO_3(k,s)$, $K_2CO_3(k,s)$ ve potasyum içeren diğer faz gruplarından K(g) ve KCN(g) oluşmaktadır. Kesik çizgiler ise toplam basıncı göstermektedir.

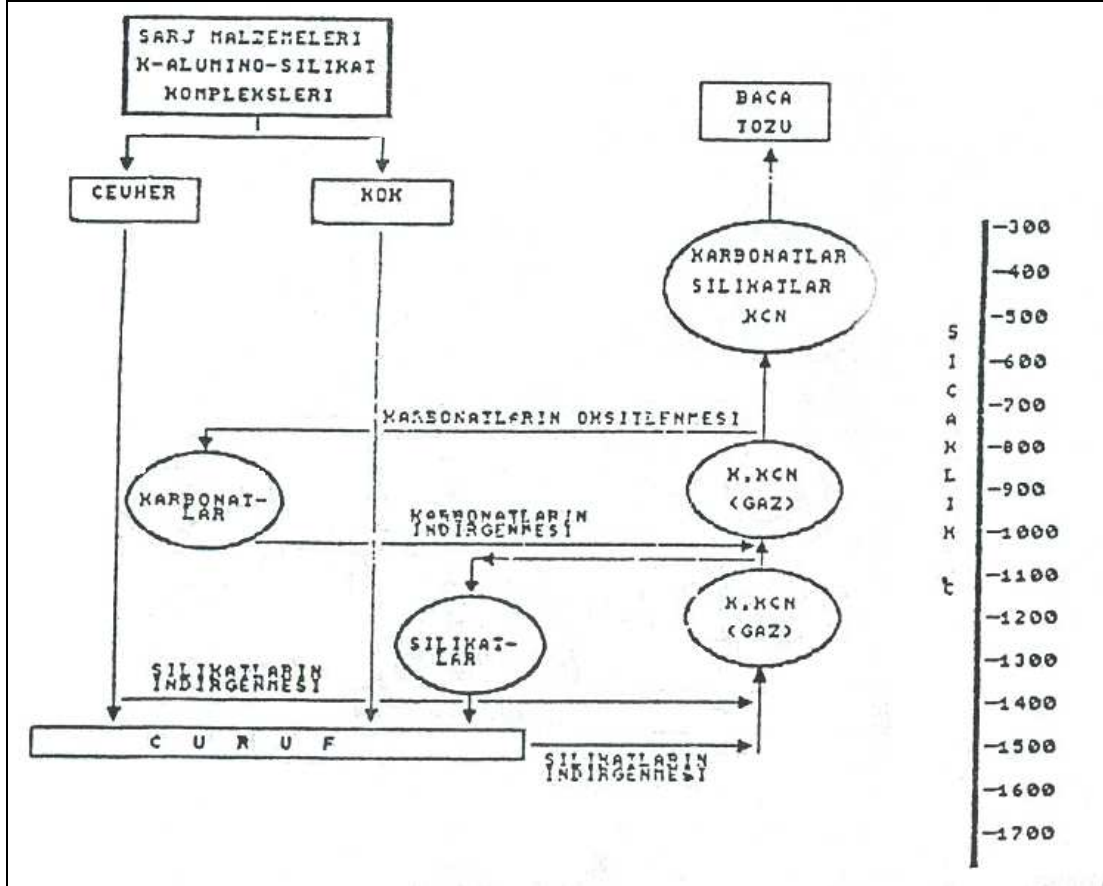


Şekil 7.6. 1600 ve 1200 °K sıcaklıklarında K-O-C-N-SiO₂ sistemi [31].

Şekil 7.6'daki grafikten çıkarılabilecek sonuçların bazıları şöyledir:

1. Yüksek sıcaklıkta potasyum, K ve KCN buharı şeklinde gaz fazındadır.
2. Düşük sıcaklıklarda (1300 °C altında) K₂CO₃ yerine K₂SiO₃ kararlıdır.

Lilius'un belirttiği gibi yüksek sıcaklıktaki bölgelerde dolaşımdaki alkali yükünün ana taşıyıcısı kok külüdür (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. Yüksek fırında alkali dağılımının şematik gösterimi [31].

7.3. ALKALİLERİN ŞARJ MALZEMELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

7.3.1. Alkalilerin Demirli Şarj Malzemeleri Üzerine Etkileri

J.Davies, J.T. Moon ve F.B. Traice'in çalışmasında yüksek fırında alkali dolaşımının basit mekanizmasından bahsedilmiş ve dolaşan alkali bileşiklerinin pelet ve sinter indirgeme ayrıca kokun gazlaşma ve kırılma özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırmalar alkalilerin sinter ve peletin gazlaşma özellikleri üzerine büyük etkileri olduğunu ve bundan dolayı fırının geçirgenliğinin düştüğünü göstermiştir [32].

Belçika'nın Quaree çelik fabrikalarında, fırına % 1,2 alkali ihtiva eden sinter şarj edilerek deneyler yapılmıştır. Şarjdan 8 saat sonra fırında geçirgenlik hemen hemen sifıra düşmüş ve fırın durdurulmak zorunda kalınmıştır.

Sinterde yapılan kalite testinden sonra şu sonuçlar elde edilmiştir.

1. Düşük sıcaklıkta kırılma özelliği olumsuz yönde etkilenmektedir.
2. Büyük bir hacim genişlemesi görülmüştür.
3. Yük altında indirgeme testinde büyük basınç düşmeleri gözlemlenmiştir.

İndirgeyici olarak CO kullanılan laboratuvar teslerinde George ve Pearth alkali emdirilmiş peletlerin normal peletlerden daha hızlı indirgendiklerini bulmuştur. Sonuç olarak şişme ve yarılmaların peletleri zayıflattığına ve üst gövde bölgede indirgenmeye sebep oldukları için, alkalilerin pelet üzerine etkisinin zararlı olduğu ortaya çıkmıştır [33].

Rankin W.J. ve See J.B.'nin alkalilerin demir oksit üzerinde etkileri hakkında yaptıkları araştırmanın sonucunda normal ve katastrofik olmak üzere iki tip genişleme meydana geldiği tespit edilmiştir. Normal genişleme, Fe_2O_3 'den Fe_3O_4 'e geçiş aşamasında olmaktadır. Katastrofik genişleme ise daha çok kendinden flakslı sinterlerde görülmektedir. Ayrıca alkali ihtiva etmeyen şarj malzemeleri gaz halindeki alkali ile karşılaştığında bu tür genişleme bu malzemelerde de görülmektedir. Alkali içermeyen malzemelerde fırın içinde dolaşan gaz halindeki alkali ile karşılaştığında katastrofik genişlemeye maruz kalabilirler. Budan dolayı alkali girdisi sadece sinter, pelet ve cevherden değil kok ve flaks malzemelerinden de kontrol altında tutulmalıdır [34].

Alkali dolaşımının fazla olduğu fırınlardaki asidik peletlerin davranışları Elkasabgy tarafından laboratuvar şartlarında incelenmiştir. Alkaliler sisteme üç değişik yoldan girmişlerdir; pelet gang fazının bir parçası olarak, pelet yüzeyinin yanında ufak alkali karbonat kristalleri halinde ve indirgeyici gazla karışık metal buharı halinde. Deney sonucunda alkalilerin peletin parçalanma hızını arttırdığı, demir oksitlerde

reaksiyona girerek düşük erime sıcaklığına sahip curuf oluşumuna neden olduğu tespit edilmiştir [35].

Karabasov ve arkadaşları alkali karbonatların yüksek fırın şarjı içindeki CaO miktarı tarafından nasıl etkilediği incelemiştir. Araştırmalarda karbonatların oluşumunun nasıl engellenebileceği incelenmiş, şarj malzemelerinin bazitesinin artırılmasının pirometalurjik işlem sırasındaki etkileri araştırılmıştır [36].

7.3.2. Alkalilerin Kok Üzerine Etkisi

Davies, J., Moon J.T. ve Traice F.B.'in çalışmasında belirtildiğine göre alkalilerin kok yüzeyine yapışmaları sonucu "solution loss" reaksiyonu hızlanmakta ve kokun ufalanması ve kırılabilirliği artmaktadır [32].



Kok çözülmesinin iki safhada gerçekleştiği varsayılabilir:

1. Çözülme hızını belirlemede zayıf difüzyonun sınırlayıcı faktör olduğu 1000 °C civarındaki çözümler.
2. Reaksiyon hızının oksijen ve karbonmonoksit miktarıyla sınırlandığı daha yüksek sıcaklıktaki çözümler.

Birinci safhada, K₂CO₃'ün termodinamik kararlılıkta ve sıvı durumda bulunduğu gaz hale geçme gerçekleşir. Sodyum ve potasyum, yüksek fırındaki kokun gazlaşması ve ufalanmasında katalizör etkisi olduğunu gösteren pek çok kanıt vardır. Katalizörün bouadard reaksiyonuna etkisi aktivasyon enerjisini düşürmektedir. İngiliz Çelik Fabrikaları (BSC) tarafından sodyum ve potasyum karbonatların değişik kokların reaktivitesi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri geliştirilmiştir.

Sonuçlar, dinamik test sırasında ufalanmalara yol açan, gaz haline geçen kok yüzdesinde ¾ oranında artış olduğunu göstermektedir. Maalesef bu deneylerin hiç biri de, gaz basınçlarının etkisi belirlenmediğinden yüksek fırın şartlarına tam olarak yansıtılamamaktadır. Yine de deneylerde ölçüldüğü gibi, kok reaktivitesindeki artışlar fırın kok oranlarını önemli ölçüde etkileyebilir.

Yüksek sıcaklıkların etkili olduğu safhada mevcut tüm oksijen veya karbondioksit kok ile reaksiyona girer. Birim karbondaki karbon çözülmesi cevher/kok oranına bağlıdır. Buna ilaveten, çok ufak yarıklardan içeri gelen alkalilerde aşağıdaki reaksiyona göre kok matrisinin zayıflamasına neden olur.



George ve Pearth'ın İngiliz Çelik Fabrikaları Laboratuvarlarında yaptıkları deneyler şunları göstermiştir:

1 cm³ kokun 980 °C'de karbondioksitle reaktivitesi test edilmiştir. % 1,17 alkali emdirilmiş kokun 10 dakika sonunda parçalanmaya başladığı 60 dakika sonunda da küle dönüştüğü tespit edilmiştir. Alkali emdirilmemiş kokun ise 180 dakika sonunda karbonunun ancak % 45-50'sinin kaybolduğu görülmüştür.

George ve Pearth yaptıkları deneyler sonucunda kokun üzerine yapışan alkalilerin kokun reaktivitesini arttırarak hücre duvarlarını zayıflattığı ve sıkıştırma kuvvetleri karşısında kokun parçalanmasını hızlandırdığını dolayısıyla fırın geçirgenliğini azaltıp fırın iç basıncını arttırıp askılanmaya sebep olduğu tespit etmişlerdir [33].

Hatano, Mayazaki ve Iwanaga tarafından yapılan çalışmada alkali dolaşımının kokun parçalanmasına ve yüksek fırın prosesine etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kok ve sinterin sıcaklığa bağlı olarak alkali hızları formülize edilmiştir [37].

$$V_{n,k}=9.07-16900/RT.P_k \quad (\text{Kok}) \quad (7.14)$$

$$V_{n,s}=0.68-13800/RT.P_k \quad (\text{Sinter}) \quad (7.15)$$

$V_{n,c}$: kokun emme hızı

$V_{c,s}$: sinterin emme hızı

P_k : alkalinin kısmi basıncı

R : gaz sabiti ($\text{atm}^0\text{K/mol}$)

T : emme sıcaklığı (^0K)

Bu sonuçlar kullanılarak bir matematik model geliştirilmiş ve bu model kullanılarak alkali dolaşımının yüksek fırın prosesine etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda çıkarılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

1. Curuf bazitesi arttıkça alkali miktarının artmasıyla reaksiyon başlangıç sıcaklığının düşmesinden dolayı, solution loss reaksiyonu daha üst bölgelerde başlar.
2. Kokun gazlaşma miktarı artar ve solution loss reaksiyonunun endotermik bir özellik taşımasından dolayı ısı kaybı dolayısıyla, kok oranı artar.

Olayı yakıt oranını artması açısından incelediğimizde durum curuf bazitesinin değiştirilmesinde başka, curuf hacminin değiştirilmesinde ise daha başkadır. Curuf bazitesinin artmasıyla yakıt oranı artacaktır. Diğer taraftan curuf hacmini değiştirildiğinde minimum yakıt oranını sağlayacak optimum bir curuf oranı bulunabilir.

Kok külünün alkali miktarı artığında endotermik ısı reaksiyonlarının artmasından dolayı ısı kayıpları artacak. Diğer taraftan, curuf hacminin düşmesi ile curufu ısıtmak ve eritmek için gerekli olan ısı miktarı azalarak aynı zamanda tüketilen yakıt miktarı da azalacaktır. Fakat curuf hacminin azalması solution loss reaksiyonunun artmasına neden olacağından dolayı, curuf hacmi belirli bir değer altına düşerse ısı kaybı kazancından daha fazla olacaktır. Aynı eğilim curuf hacminin fırın geçirgenliği üzerine etkisinde de görülür.

Kok külü içindeki alkali miktarı arttığında fırın içinde biriken alkali miktarı artacak, kokun parçalanma hızı artacağından dolayı kok oranı ve fırın geçirgenliği de olumsuz yönde etkilenecektir.

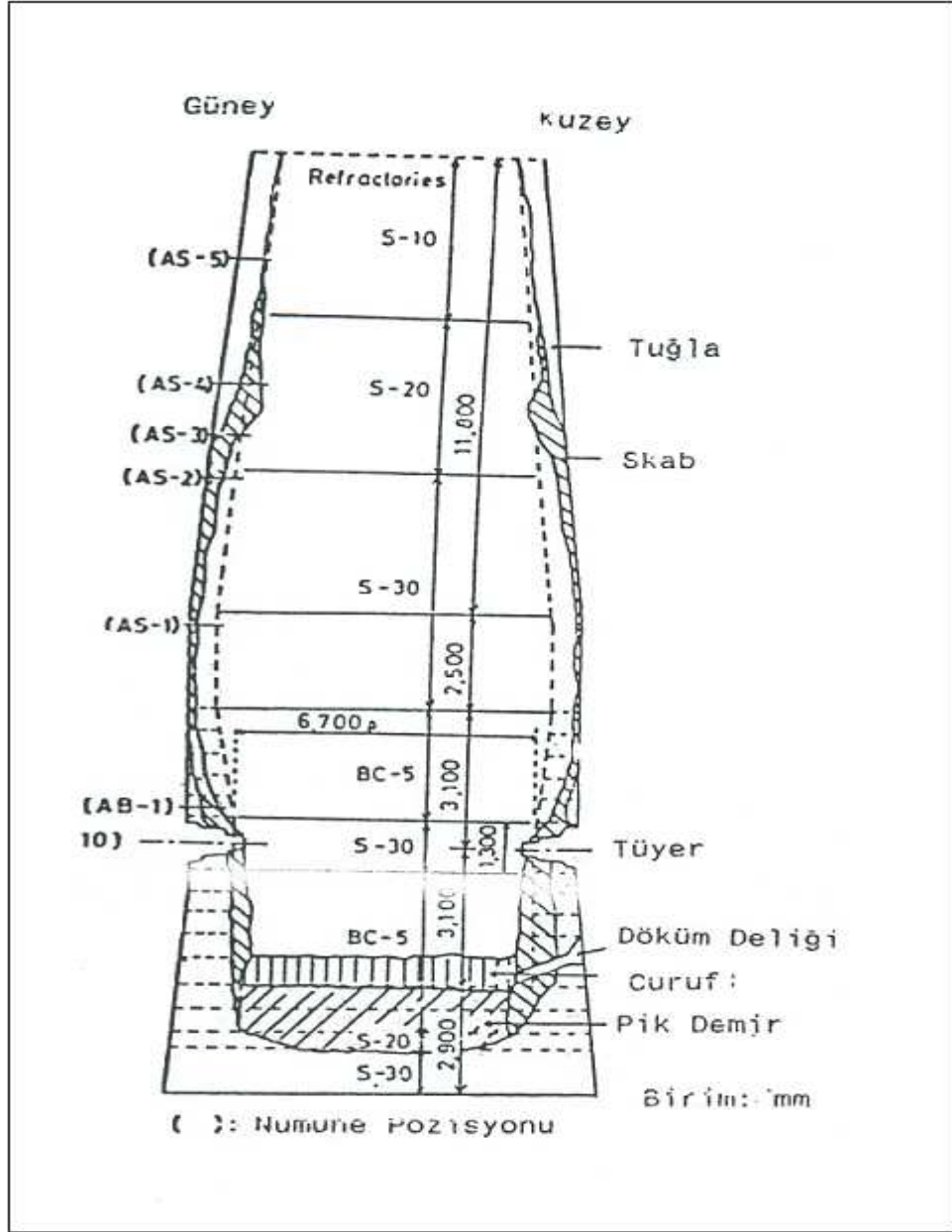
7.4. ALKALİLERİN REFRAKTERLER ÜZERİNE ETKİLERİ

Abraham ve Staffansson'un belirttiği gibi alkalilerden dolayı refrakter aşınmasının iki ana nedeni vardır. Birincisi karbon birikimi, ikincisi alkali metal bileşiklerinin reaksiyonlarıdır. Karbon birikimi ısı değişikliklerinden dolayı ya da alkali etkisinden dolayı oluşan çatlaklardan giren gazları sonucunda olmaktadır. Refrakterlerin aşınmasının ana nedeni gaz halindeki alkalinin refrakterlerin içine girmesi olduğu tespit edilmiştir. Alkalinin burada kalsit gibi alümina silikat oluşturması ve bunun genişmesi refrakterlerin çatlayıp kırılmasına neden olmaktadır [27].

Koba Çelik Fabrikalarının Amasaki No:1 Yüksek Fırının durdurulmasından sonra, Kiichi Norita ve arkadaşları tarafından refrakterlerinin mineralojik incelenmesi gerçekleştirildi. Refrakterler arasına alkali ve çinko girmesi sonucunda aşınan refrakterlerin profili çıkartıldı (Şekil 7.8).

Rankin ve See yaptıkları araştırmalar sonucunda refrakterlerin ömrünü uzatmak için şu tavsiyelerde bulunmuştur.

1. Sıkı yapılı tuğla kullanılmalı.
2. Alkali gazlarının tuğlalara girmesini önlemek için soğutma plakaları ile birlikte shall tipi konstrüksiyon kullanılmalı.
3. Düşük alkali, çinkolu ve kurşunlu hammadde kullanılmalıdır [34].



Şekil 7.8. Amasaki no:1 yüksek fırın aşınma profili [38].

7.5. ALKALİ BİRİKİMİ VE SKAFFOLD (DUVAR) OLUŞUMU

Skaffold oluşumu alkalilerin şarj malzemeleri üzerine yapışmaları, bunlar da duvarlara yapıştırmaları sonucu oluşmaktadır. Oluşan skaffoldların büyümesiyle, şarj malzemelerinin inişi düzensizleşmekte fırın içi sıcaklık dağılımı ve fırın çalışma rejimi bozulmaktadır. Skaffold oluşumu genellikle bosh bölgesinin üstlerinde ve

gövde bölgesinin ortalarında görülmektedir. Şekil 7.9'da Kanada'daki stelco hilton yüksek fırınında oluşan skaffoldların profili görülmektedir [33].

Diemers ve arkadaşları skafoldların zaman içinde büyümesini incelemiş ve skafoldların üç aşamada oluştuğunu tespit etmişlerdir.

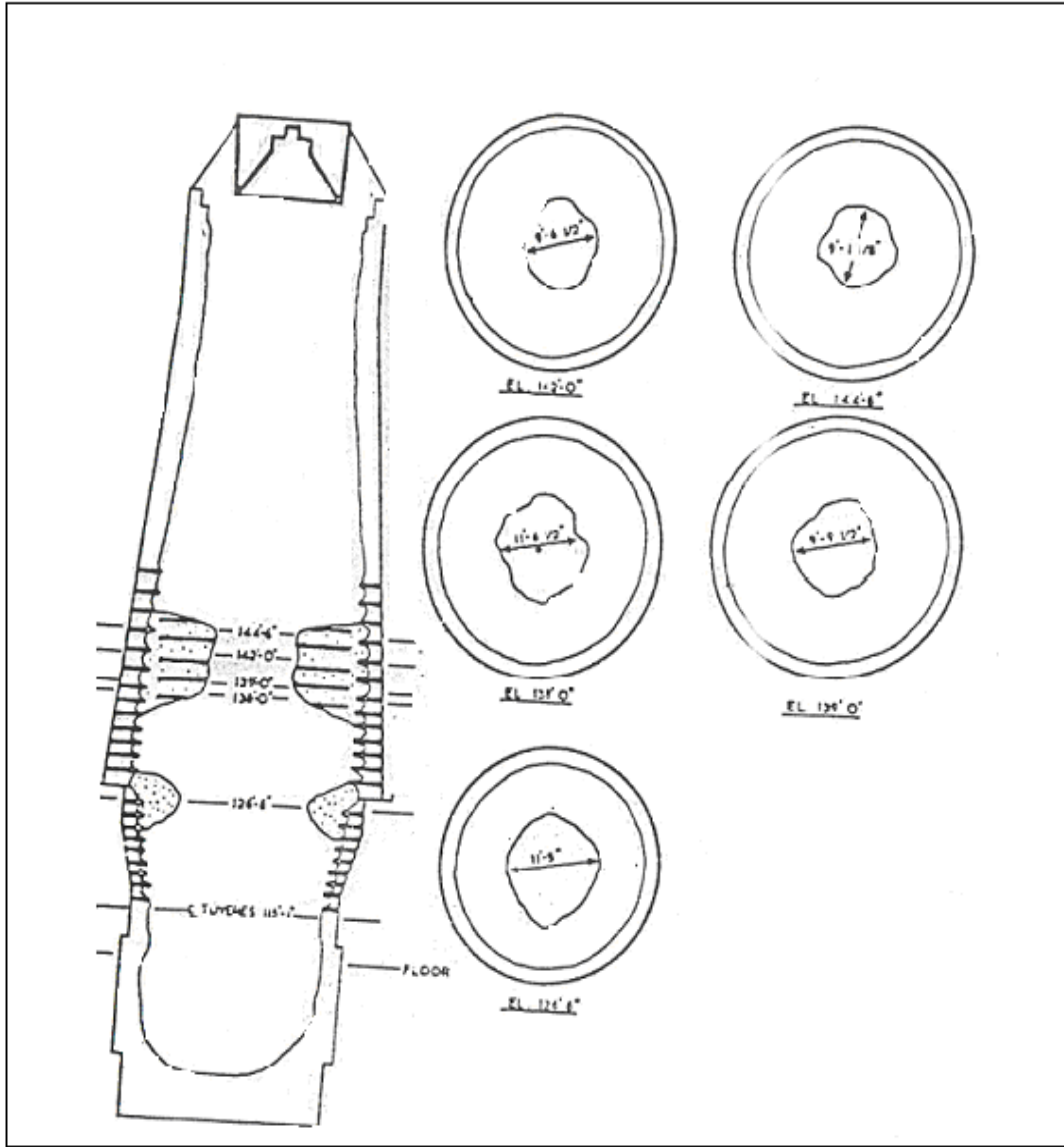
1. 10 ya da 20 gün içinde sert ve alkalice zengin katmanın oluşması
2. Alkalice zengin katmanın üzerine karbon monoksitin bozulmasıyla oluşan karbon parçacıklarının ve çinkonun yapışıp birikmesi
3. Oluşum tamamlandıktan sonra fırında askılanmalar görülmeye başlayacaktır.
4. Alkaliler oluşan skafoldun üzerine karbonat, silikat ve alüminasilikat halinde çözülmeye başlarlar.
5. Skafoldun büyümesi enine ve boyuna olarak fizyon sıcaklığına ulaşınca kadar devam edecek bu sıcaklığa ulaşınca da duracaktır.

Oluşan skafoldları atmak için, aşağıdaki yöntemler kullanılır.

Boş durdurma metodu ile fırın durdurulup, oluşan skafoldların duvarlardan sökülmesi. Boş durdurma fırın içindeki gazların patlamasını gündeme getireceği için, belirli bir prosedür dahilinde ve çok dikkatli yapılmalıdır [38].

Skafoldun oluştuğu bölgedeki soğutma sularının kesilmesi ve bölgedeki sıcaklığın artmasıyla düşük erime sıcaklığına sahip skafoldların desteklerinin zayıflatılıp, aşağıya inmesinin sağlanması.

Diğer bir yöntemde skaffoldun oluştuğu bölgede küçük delikler açıp, deliklere yerleştirilen burnerlerden 4-10 saat 150-200 litre arasında normal fırın operasyonu içinde havayla birlikte fuel-oel üflenmesi sonucunda skaffoldlar eriyip düşmeye başlayacaktır.



Şekil 7.9. Kanada stelco hilton yüksek fırınında oluşan skaffoldların profili [35].

Bütün bu yöntemler skafoldun normal yollardan indirilemeyeceği durumda uygulanmaktadır. Skaffoldun hiç oluşmamasını sağlamak tercih edilmelidir.

7.6. ALKALİ KONTROL YÖNTEMLERİ

Daha öncede belirttiğimiz gibi alkaliler fırına şarj malzemeleri ile girerler. Bir kısım tepe gazı ve cüruflla birlikte terk ederken bir kısmı da fırın içinde sirkülasyon eder. Bunların miktarları sabit olmayıp, hammaddedeki alkali yüzdesi ve yüksek fırın

çalışma şartları gibi birkaç faktöre bağlıdır. Örneğin, fırın yüksek tepe gazı sıcaklığında çalışıyorsa, fırını tepe gazıyla terk eden alkali miktarı da artacaktır.

Alkali probleminin kontrolünde iki durum göz önüne alınmalıdır:

1. Hammaddelerle fırına giren alkali miktarının azaltılması,
2. Bazite ve alev sıcaklığını düşürüp, cüruf hacmini azaltarak cürufun alkali atım kapasitesinin artırılması.

Alkalilerin büyük kısmı yüksek fırını cürufuyla terk eder. Cüruf içindeki alkalilerin konsantrasyonu cürufun bazitesine bağlıdır.

Eşitlikten ve şekilden de görüleceği gibi cüruf bazitesi ile cüruftaki alkali miktarı ters orantılıdır. Bu ters orantının nedeni Lu tarafından termodinamik olarak açıklanmıştır. Hem CaO hem de MgO, K₂O ve Na₂O'nun aktivitesini artırıp gaz fazına geçmelerini kolaylaştırmaktadır. Bunun sonucunda alkaliler büyük oranda cürufa geçmemektedir.

Fırın içinde dolaşan alkali belirli bir miktara ulaştığında bu dolaşımı durdurmak çok kolay olmamaktadır. Dolaşımı daha başında durdurmak için alkaliler daha az indirgenebilir olmalı ve indirgenmeden hazneye inmeleri ve cürufa karışmaları sağlanmalıdır. Stephenson'un belirttiği gibi, fırın içindeki alkali dolaşımını engellemek için alkalileri daha kararlı hale getirmek gerekmektedir. Bunun için silika ilavesi yeterli olacaktır. Bu durumda indirgenebilirliği son derece zor olan alkali silikat oluşumu artacak ve indirgenmeden cürufa gireceklerdir [30].

Armatoria ve arkadaşlarının tavsiye ettiği diğer bir metod da fırın içerisine şarj malzemeleri ile birlikte kalsiyum klorid (CaCl₂) ilave etmektir. Oluşturulacak KCl'ü indirgenebilirliği de K₂SiO₃ kadar zordur. CaCl₂'ün, fırın duvarlarını aşındırmak gibi olumsuz bir etkisi görüldüğünden bu metod pek fazla kullanılmamaktadır [38].

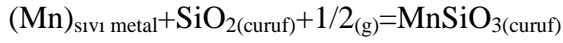
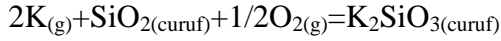
7.7. ALKALİNİN CURUFLA TASFİYESİ

Ashton yaptığı çalışmayla, alkalinin curufla tasfiyesi curuftaki alkali ile bazite arasında ve alkali Mn arasında aşağıdaki gibi bir eşitlik tespit etmiştir [39].

$$(\%K_2O)_{\text{curuf}} = 1,44 \cdot (B/A) - 7,47$$

$$(\%K_2O)_{\text{curuf}} = 0,08 + 1,18 \cdot (\%Mn)_{\text{curuf}} / (\%Mn)_{\text{metal}}$$

Alkalinin curufa geçtiği reaksiyon aşağıdaki gibidir.

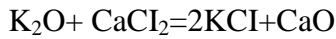


$$(K_2SiO_3)_{\text{curuf}} / (Pk)^2_{(g)} \propto (MnSiO_3)_{\text{curuf}} / (Mn)_{\text{sıvı metal}}$$

$$(K_2SiO_3)_{\text{curuf}} \propto (MnSiO_3)_{\text{curuf}} / (Mn)_{\text{sıvı metal}}$$

$$(K_2O)_{\text{curuf}} \propto (Mn)_{\text{slag}} / (Mn)_{\text{sıcak metal}}$$

Ayrıca $CaCl_2$ ilavesiyle de alkali atımı sağlanabilir. K_2O aşağıdaki reaksiyona göre KCl oluşturur.



Oluşturulan KCl'ünde indirgenabilirliği K_2SiO_3 kadar zordur ve düşük erime sıcaklığına (770 °C) sahiptir. Sonuç olarak $CaCl_2$ ilavesinin alkali atımında yararları görülmüştür.

BÖLÜM 8

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Türkiye Entegre demir çelik fabrikalarında en çok skaffold oluşumu meydana gelen ve çoğu zaman bu skaffoldu temizlemek için dinamite maruz kalan Kardemir 3 no'lu Yüksek Fırınında skaffoldla mücadele kapsamında 2011 yılında yapılan deneysel çalışmalar yer almaktadır. 10 Aralık 1962 tarihinde işletmeye alınan Kardemir 3 no'lu Yüksek Fırınında ilk olarak 1966 tarihinde skaffold oluşumu tespit edilmiştir. Oluşmuş bu skaffold diğer yöntemlerle temizlenemediğinden Mart 1970 tarihinde bu fırında ilk olarak dinamit patlatma yöntemi kullanılmıştır. En son Haziran 2007 tarihinde dinamit patlatma yöntemi ile skaffold temizleme işlemi yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ile Kardemir 3 no'lu Yüksek Fırınında skaffold oluşum nedenleri ve önleme metotları irdelenmiştir.

8.1. KULLANILAN HAMMADDELER

8.1.1. Parça Cevher

Çizelge 8.1. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan parça cevherlerin ortalama kimyasal analiz değerleri.

DİREKT ŞARJLIK CEVHER KİMYASAL ANALİZLERİ (%)																
	Nem	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Mn	S	K ₂ O	Na ₂ O	P	Zn	Cu	Pb	TiO ₂	K.B.
A	9,16	57,6	5,68	1,23	0,58	0,64	0,9	0,024	0,066	0,062	0,025	0,013	0,045	0,002	0,039	0,216
B	9,35	56,8	5,6	1,75	0,43	1,1	0,93	0,034	0,059	0,065	0,018	0,013	0,038	0,002	0,023	0,312
C	2,96	63,8	5,61	0,37	0,75	0,61	0,08	0,09	0,056	0,077	0,021	0,013	0,041	0,01	0,066	0,065
D	5,86	57,3	8,67	1,48	1,46	0,37	0,31	0,022	0,347	0,068	0,091	0,012	0,067	0,01	0,209	0,171
E	6,2	56,8	6,36	0,78	0,7	0,56	1,2	0,013	0,137	0,064	0,046	0,066	0,045	0,028	0,067	0,122
F	2,07	56,9	9,28	4,66	1,8	0,52	0,17	0,193	0,042	0,078	0,034	0,027	0,068	0,012	0,145	0,502
G	5,6	58,8	9,5	0,12	0,92	0,06	0,02	0,172	0,022	0,075	0,084	0,012	0,043	0,1	0,485	0,013
H	1,17	67	1,85	0,25	0,76	0,48	0,06	0,038	0,04	0,075	0,038	0,011	0,043	0,01	0,046	0,133

8.1.2. Sinter

Çizelge 8.2. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan sinterin ortalama kimyasal analiz değerleri (Ağırlıkça %).

Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Mn	S	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	K.B.	B.B.
54,09	7,32	9,35	1,53	2,37	1,02	0,020	8,86	0,249	0,074	0,022	0,296	0,041	1,28	1,32

8.1.3. Pelet

8.1.3.1. Yerli Pelet

Çizelge 8.3. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan yerli peletin ortalama kimyasal analiz değerleri (Ağırlıkça %).

Nem	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Mn	S	K ₂ O	Na ₂ O	P	Zn	Cu	Pb	TiO ₂	K.B.
1,33	65,93	2,24	0,59	0,81	1,31	0,06	0,001	0,088	0,081	0,017	0,012	0,042	0,001	0,001	0,271

8.1.3.2. İthal Pelet

Çizelge 8.4. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan ithal peletin ortalama kimyasal analiz değerleri (Ağırlıkça %).

Nem	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Mn	S	K ₂ O	Na ₂ O	P	Zn	Cu	As	Pb	K.B.
1,22	61,14	4,07	0,93	2,41	2,31	0,00	0,002	0,026	0,030	0,003	0,014	0,003	0,001	0,001	0,228

8.1.4. Kireçtaşı (12-50 mm)

Çizelge 8.5. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan kireçtaşının ortalama kimyasal analiz değerleri (Ağırlıkça %).

Nem	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	S	P	TiO ₂	K ₂ O	K.Kayıbı	CaO/SiO ₂
0,97	0,74	0,15	0,27	0,02	54,94	0,46	0,018	0,007	0,016	0,010	43,019	74,102

8.1.5. Metalurjik Kok

Çizelge 8.6. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan metalurjik kokun ortalama kimyasal analiz değerleri [40].

Takvim ayı	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam sonuç
Nem (%)	7,05	7,02	7,18	7,49	7,35	7,55	7,17	7,17	7,93	7,70	8,53	8,65	7,57
Kül (%)	13,86	13,59	13,33	13,31	13,44	13,55	14,32	13,79	14,94	14,27	14,78	14,08	13,94
Uçucu Madde (%)	0,64	0,65	0,63	0,65	0,63	0,65	0,62	0,63	0,63	0,62	0,61	0,62	0,63
Sabit Karbon (%)	85,51	85,76	86,04	86,04	85,92	85,81	85,06	85,58	84,43	85,10	84,61	85,30	85,43
Kalori (Kcal/Kg)	6.820	6.821	6.827	6.840	6.827	6.819	6.739	6.791	6.691	6.737	6.716	6.774	6.781
Kükürt (%)	0,49	0,49	0,50	0,55	0,60	0,65	0,66	0,64	0,68	0,66	0,71	0,66	0,61
M40 (%)	72,80	73,48	74,06	74,63	74,61	74,50	73,47	73,02	72,13	73,42	71,42	73,29	73,41
M10 (%)	8,46	8,45	8,14	8,10	8,14	8,13	8,35	8,36	8,38	8,22	8,94	8,57	8,35
Porozite (%)		50,51	50,64	50,13	49,36	50,25	50,38	50,38	50,90	49,61	49,36	50,51	50,21
Özgül Ağ.Gerçek (g/cm ³)	1,95	1,96	1,96	1,96	1,95	1,95	1,96	1,97	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
Özgül Ağ.Bağıl (g/cm ³)	0,99	0,97	0,97	0,98	0,99	0,97	0,97	0,98	0,96	0,98	0,99	0,96	0,97
Elek Testi (mm) +75 (%)	7,19	7,29	7,83	7,74	8,05	7,28	6,99	6,35	6,50	6,29	8,37	7,16	7,21
Elek Testi (mm) - 75+50 (%)	50,86	51,00	51,65	51,31	51,30	52,56	52,54	52,28	52,50	52,20	44,83	49,41	50,90
Elek Testi (mm) - 50+25 (%)	37,68	37,43	36,73	36,71	36,70	36,44	35,93	42,58	36,60	36,84	38,33	39,01	37,69
Elek Testi (mm) -25 (%)	4,28	4,29	3,80	4,23	3,95	3,72	4,55	5,05	4,40	4,67	8,47	4,42	4,76
Reaktivite Testi CSR (%)	51,13	49,39	51,45	51,93	51,65	50,78	50,23	48,21	48,61	53,37	39,73	35,70	48,51
Reaktivite Testi CRI (%)	29,20	28,83	28,04	28,20	28,23	28,74	29,56	31,86	31,49	27,47	33,51	40,95	30,52

8.2. KULLANILAN CİHAZ, ALET VE MALZEMELER

Deneysel çalışmalar dört ana başlık içinde yapılmıştır.

1. Alkalilerin curufla tasfiyesinin artırılması için gerekli parametrelerin tespiti ve curufta alkali miktarın ölçülmesi ile yapılmıştır. Burada alkali olarak K₂O miktarı incelenmiştir. Bunun sebebi Na₂O'nun K₂O'ya göre miktarı daha düşük

ve curufla tasfiyesinin daha kolay olmasıdır. K_2O daha stabil olduğundan fırın içinde kalması daha muhtemel olduğu için böyle bir yol çizilmiştir. ZnO ise curufa geçmez fırın dışına tasfiyesi sadece baca gazları vasıtasıyla gaz temizleme sisteminde (Toz tutucu ve devam eden Kirli Gaz temizleme sisteminde) baca tozu ile atılır.

2. 3 No'lu Yüksek Fırında, fırın tepe şarj ekipmanı çanlı (büyük ve küçük) sistem mevcuttur. Burada homojen malzeme dağılımı için distribütör sistemi kullanılmıştır.
3. Metalurjik Kokun mukavemetinin fırındaki etkisi incelenmiştir.
4. Fırına direk şarj edilen cevherlerin elenmesinin fırındaki ekileri incelenmiştir.

Yukarıda sayılan çalışmalar skaffold oluşumuna etkisi incelenmiştir. Sonuçların gözlem ve takibi ise yüksek fırın elektronik otomasyon sistemi monitöründeki verilerin düzenli bir şekilde bilgisayar ortamına kaydedilmesi ve değerlendirmelerin yapılması şeklinde olmuştur.

Yüksek Fırının hemen her bölgesinde tespit edilen kritik noktalarda sensörler mevcuttur. Bu sensörlerden çevrilen bilgiler kontrol odasında bulunan DCS sistemine aktarılır. Burada özellikle fırında skaffold oluşumunun tespitinde Belly bölgesinde 6 adet, Alt gövde de 6 adet ve orta gövde kısmında bulunan 6 adet, toplam 18 adet termokupl değerleri referans olarak kullanılmıştır. Bosh (7 adet*28 batarya), Belly(5 adet*28 batarya) ve Gövde(5 adet*28 batarya) bölgelerinde bulunan toplam 476 kamalı (plate) tip tuğla soğutucuların çıkış su sıcaklıkları da referans alınmaktadır. İlave olarak termokupların bulunduğu katlarda referans noktalar tespit edilmiş olup, portatif sıcaklık ölçme tabancası kullanılarak, fırın zırh sıcaklıkları ölçülmektedir. Böylece fırında sıcaklık haritası çıkartılarak fırında skaffold oluşumu tespit edilmekte ve yukarıda yapılan çalışmaların etkisi böylece tespit edilmiştir.

8.2.1. Alkali Girdisi ve Çıktısının Tespitinde Kullanılan Cihaz

Yüksek fırında kullanılan hammaddelerden direk şarjlık cevher analizleri; 10 günlük periyotla, Sinter analizi, günde 6 defa XRF cihazında yapılmaktadır. Kok külü

analizi günde bir defa yapılmaktadır. Alkali girdisinin tespiti için fırına şarj elden hammadelerin (cevher+kok) stokiometrik balans yapılarak tespit edilmektedir. Fırından alkali çıktının tespiti ise her döküm (3 no'lu YF için ortalama 12adet/gün) curuf analizi XRF cihazında yapılmaktadır. Ayrıca belirli periyotlarda baca tozu analizi de yapılmaktadır.

Kuantometreler, kimyasal elementlerin konsantrasyonunu tayin eden cihazlardır. Numune kendisini meydana getiren elementlerin karakteristik dalga boyunu verecek şekilde uyarılır. Çıkan radyasyon, bu dalga boylarının karışımıdır. Bu radyasyon bir dispersive (ayırıcı) sisteme gelerek dalga boylarından spektral hatlar oluşturur. Her hat bir elemente tekabül eder.

Dispersive sistem ya sabit bir monokromatör (sürekli seçilmiş bir element için) veya ayarlanabilir monokromatördür (Gonyometre, istenilen elemente göre ayarlanır). Seçilmiş elementlere ait hatların intensiteleri ölçülür. Konsantrasyonlar intensitelerden hesaplanır.

Bu bağıntı aşağıdaki genel ifade ile özetlenir :

Monokromatik intensite, konsantrasyonun fonksiyonudur. Yani konsantrasyon tayini intensite ölçümüne dayanır.

[I=f(C)] I =İNTENSİTE C= KONSANTRASYON

Ölçülen intensitenin dalga boyu ise, atom numarasının bir fonksiyonudur.

[I=f(Z)] I = DALGA BOYU Z= ATOM NUMUNESİ

Yani spektral hattın dalga boyu kimyasal elementi tanımlar. Bundan dolayı bir kuantometre aşağıdaki temel bölümlerden oluşur.

1. Uyarıcı Bölüm (Eksitasyon) : X – Işın tüpü ile jeneratör ve yardımcı üniteler
2. Spektrometre : Dispersive (ayırıcı, tanımlayıcı) sistemler ve yardımcı üniteleri ihtiva eden vakum tank
3. Elektronik Bölüm : Ölçüm devreleri, kontrol elektronikleri, computer. Bunlar cihazın sabit, otomatik, esnek, güvenilir, süratli ve rahat kullanım kolaylığı sağlar.

XRF cihazları çok sayıda element içeren numunelerin, otomatik analizi yapabilecek kapasitededir. Analitik bilgi olarak elementler sekansiyel (ardı ardına) veya simultane (aynı anda) olarak ölçülebilir. Laboratuvarımızda bulunan ARL marka 8680 XRF modeli cihaz (Şekil 8.1) üç bölümden oluşmuştur.

1. Spektrometre tankı 1 gonyometre, 20 tane seçilmiş elemente ait monokromatör. Numune mekanizması, X-RAY tüpü ve soğutma devresi, muhtelif ortam kontrol cihazları, Quantrometre Brain'e (XQB) bilgi veren Quantrometre kontrol mikroprosesörünü ihtiva eder.
2. X-RAY tüpü ve yüksek voltaj güç kaynağı
3. Elektronik bölüm (PHD,Scaler), dedektörler ve XQB Quantrometre Brain'e bilgi veren gonyometre kontrol mikroprosesörü için yüksek voltaj güç kaynağı. Bu üç kısım aynı zamanda analitik kompotör sisitemi (ACS) içerir.

Kullanıcı Terminalleri: Sistem ile kullanıcı arasındaki haberleşmenin büyük kısmı kullanıcı terminalleri aracılığı ile olur.

Paragraf Sistem Programları: Cihaz, analitik amaçlara uygun olarak programlanmıştır. XRF-8680 cihazı ile yüksek fırın curufları, kireç taşı, sinter uygun olarak ayrı bir kimyasal analiz programı mevcuttur. Örneğin yüksek fırın curufları için "slag programı" demir cevherleri için "erze programı" gibi her program amaca uygun olarak analiz edilen element sayısı farklıdır. Numune, vakum oluşup X-ışını ile karşı karşıya geldikten sonra sabit kanalı olan elementler için analiz süresi 40 saniyedir.

Numunenin kimyasal sonucu, istenildiği takdirde uzaktaki bir işletmeye printer vasıtasıyla gönderilebilir. Örneğin döküm fabrikaları içinde ark ve kupol ocaklarına yakın iki adet printer mevcuttur. Çelik ve pik ara dökümlerinde zaman çok önemli olduğu için, laboratuvarımıza pnömatik sistemle gelen ara döküm numuneleri hazırlanıp analizi edildikten sonra sonuçlar işletmedeki printerlere gönderilmektedir. Analiz sonucunun konsantrasyon olarak okunabilmesi için cihazda analiz moduna geçilmiş olması gerekir. Cihaz okunan insensite değerinden depolanan kalibrasyon verilerinden yararlanarak konsantrasyona geçer. Ekrandan doğrudan % konsantrasyon okunur. Numune hangi programda analize verilmiş ise ilgili programdaki element değerleri okunur. Kullanılan programlarla ilgili KV/MA değerleri, hangi elementler okunacağı ve kullanılacak numune hazırlama şekli çizelgeler halinde verilmektedir.

Numune analize verildikten sonra analiz 40 saniye sürer. Analiz bittikten sonra depolama ile ilgili soru, sonuç depolanacaksa YES ile cevaplanır. Hangi terminale gönderilecekse terminal adı örneğin Ark, Kupol gibi yazılarak sonucun aynı anda işletmeye ulaşması sağlanır. Spektral analiz laboratuvarı ARL 8680 XRF cihazı için kalibre edilmiş analitik programlar ve bu programlarla yapılabilen elementler çizelge 8.7'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1. XRF Cihazı.

Çizelge 8.7. Kullanılan programların Kv/Ma değerleri.

PROGRAM ADI	Kv/Ma	KULLANILDIĞI NUMUNE
SLAG	30/80	CURUF
ERZE	30/80	DEMİR CEVHERİ
REFRAC	30/80	REFRAKTERLER
COAL	30/80	KÜL
REFNA	30/80	REFRAKTERDE %Na TAYİNİ
BENBRİ	30/80	BENTONİTTE %Na TAYİNİ
STEEL	50/50	ÇELİK
ÇELİK	50/50	ÇELİK
CAST	50/50	PİK
CASTIO	50/50	PİK
KUPOL	50/50	PİK (KUPOL)
IRON	50/50	DEMİR CEVHERİ
SİNİ	50/50	SİNER
MANCE1 (FUZTON)	50/50	MANGENEZ CEVHERİ
MNORE	50/50	MANGENEZ CEVHERİ
FLUDUS	50/50	BACA TOZU

8.2.2. 3 Nolu YF Tepe Ekipmanları

8.2.2.1. Küçük Külâh-Büyük Külâh

Skip vagonetlerinin (Şekil 8.2) YF'a çıkardığı malzemeler önce küçük külâha dökülür. Her iki külâh da normalde kapalı konumdadır. Küçük külâh her seferinde bir vagonet dolusu malzeme aldıktan sonra açarak üzerindeki malzemeyi büyük

külâh üzerine boşaltır. Küçük külâhın açma komutu olarak, şarj tesisi PLC'sinden gelen vagonet harekete başlama komutu kullanılır. Küçük külâh açık ve kapalı konumları limitler ile belirlenir.

Skip vagoneti harekete başladıktan sonra belirli bir kontrol noktasında küçük külâh herhangi bir sebeple açma işlemini tamamlayamadıysa vagonet hareketi otomatik olarak durdurulur. Küçük külâh açma-kapama işlemini tamamladıktan sonra vagonet hareketi otomatik olarak kaldığı yerden devam eder.



Şekil 8.2. 3 No'lu yüksek fırın skip vagoneti.

8.2.2.2. Distribütör Sistemi

Skip vagonetlerinin fırına çıkardığı malzemeler küçük külâha dökülür. Küçük külâh haznesinde toplanan bu malzemenin yüksek fırına her bölgesine homojen bir şekilde dağıtılabilmesi gerekir. Bunun için malzemenin vagonetten külâha dökülmesi esnasında küçük külâh haznesi belli bir açı ile döndürülür. Açı, döndürme süresi ile belirlenir. Bu döndürme işlemini distribütör yapar (Şekil 8.3).

Distribütör, el veya otomatik pozisyonda çalışabilir. El çalışma bakım amaçlı yapılan çalışmadır. Normal çalışma otomatik çalışmadır. Bu çalışmada, distribütörün hangi yönde ne kadar süre ile çalışacağı şarj tesisi PLC'sinden gelen komut ile belirlenir.

Distribütör hareketinin, enerjili çalışma bittikten sonra sona erdirilmesi amacıyla dinamik frenleme uygulanır.

Distribütör çalışır iken küçük külâh açma-kapama işlemi yapamaz. Distribütör çalışmaya başladığı anda küçük külâh açma-kapama işlemi yapma durumunda ise küçük külâh çalışmasını yarıda keserek kapama durumuna geçer.



Şekil 8.3. 3 No'lu Yüksek Fırın distribütör sistemi.

8.2.3. Metalurjik Kok Mukavemet Testlerinde Kullanılan Cihazlar

8.2.3.1. Micum Tambur Testi

Yüksek fırınların içi boş bir hacimdir. Fırın içerisine şarj edilen cevher, yardımcı hammadde ve kok, fırın içerisinde havada asılı olarak durmaktadır. Üretilen kokun bu malzemeleri taşıyabilecek dayanıklılığa sahip olması gerektiği gibi hava ve reaksiyon sonrası gazların geçişini kolaylaştırmak için tozlaşma oranının düşük olması istenmektedir. Bu değerlerin tespiti için ASTM Tambur Testi (Stabilite) ve Micum Tambur Testi (M_{40} , M_{10}) gibi testler yapılmaktadır. Yüksek Fırınlarda kullanılan koklar üzerinde micum tambur testleri günlük yapılmaktadır. Micum deneyinde 1 m çapında ve 1 m uzunluğunda, dakikada 25 devir yapan, çelik bir tambur kullanılır. Tamburun uzunluğu boyunca içinde birbirine eşit mesafede 4 adet

köşebent bulunur. Deneyde numune 60 mm elekten elenir ve elek üstü örnekten 50 kg alınarak tabur içerisine alınır. Tambur 4 dakika 100 devir hızla çalıştırılır. Tamburdan alınan kok 40 mm elekte elenir. Elek üstü numune ağırlığına oranlanarak M_{40} (Mukavemet) değeri bulunur. 40 mm altı 10 mm elekten geçirilir, elek altı miktarın numuneye oranı M_{10} (Tozlanma İndeksi) değerini verir.

8.2.3.2. Kok Reaktivite Tayini

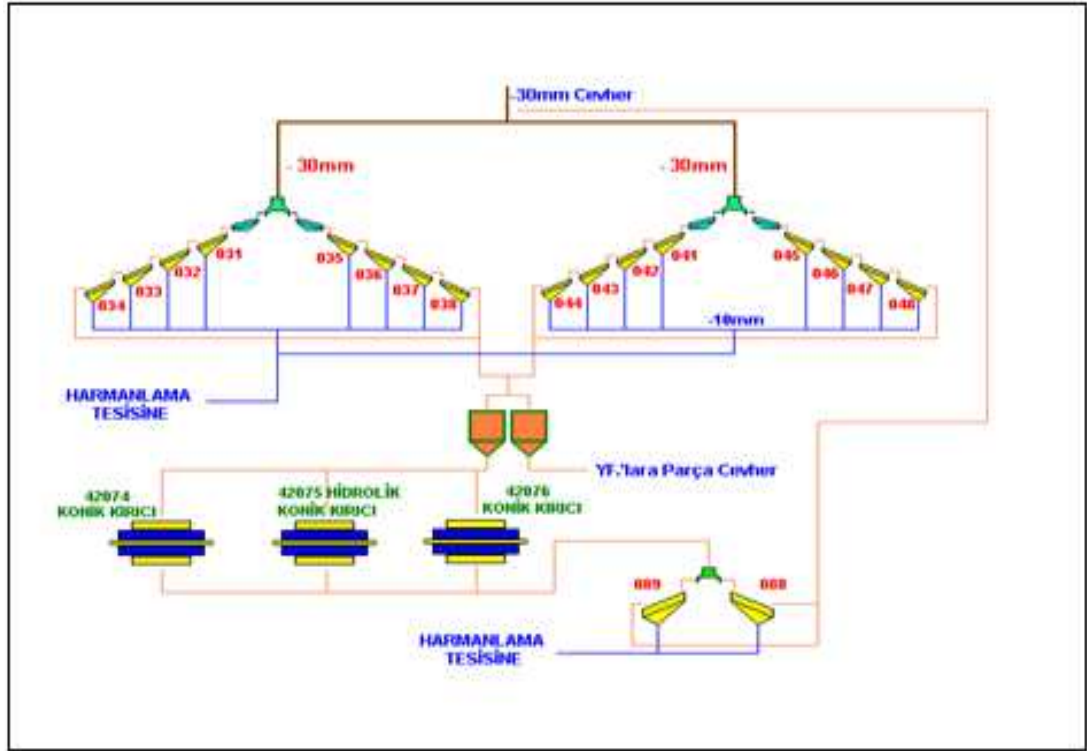
Kok reaktivite (CRI, CSR) testi için kok örneklerinin hazırlanması için, nemli numuneden 5 kg metalurjik kok örneği kırıcıdan geçirilerek 19–22,4 mm arası 1 kg kadar alınır. Numune 200 °C'ta 1 gün bekletilir. $200 \pm 0,2$ gram tartılır ve tartım içindeki kok parçası sayılır. Deney tüpünün içine yerleştirilir. Numunenin bulunduğu hazne sıcaklığı 1100 °C 'a çıkıncaya kadar 1,5 Bar N_2 gazı 2 saat boyunca verilir. 1120 °C'ta ulaşınca Azot gazı otomatik olarak kapanır, karbondioksit gazı geçer. 2 saat sonra CO_2 kapanır. Azot devreye girer. 200 °C'ta soğuyuncaya kadar Azot altında tutulur. Cihaz tamamen otomatik çalışarak deneyde kullanılan gazlar (0,5 bar'da Propan, 1,5 bar'da Karbondioksit, 1,5 bar'da Azot) otomatik olarak devreye girer ve çıkar. Analiz bitince cihaz kapatılır. Deney tüpü soğuması için 1 gün bekletilir. Soğuduktan sonra alınan numune tekrar tartılır. Kayıp %'si reaktivite indeksi (CRI) olarak verilir. Test edilen kokun reaktivitesine bağlı olarak karbondioksit karbonmonoksit indirgenir. Reaktivite ağırlıktaki değişkenden hesaplanır ($C + CO_2 = 2CO$). Test sonrası kalan kok parçaları tartılarak ASTM D 5341-93 standartında belirtilen tamburda 20 + 1 devir/dk ile 600 dönüş yaptırılır. Çıkan kok 9,5 mm'lik elekten elenerek elek üstünün numuneye oranı CSR hesaplanır. CSR değeri %55-60 arası istenmekte, % 60'ın üzeri ise tercih edilmektedir. Şekil 8.4'de reaktivite cihazı ve tamburu görülmektedir.



Şekil 8.4. Kok reaktivite cihazı ve tamburu.

8.2.4. Cevherlerin Elenmesinde Kullanılan Ekipmanlar

Parça cevherlerin elenmesi için, cevher hazırlama tesislerinde mevcut 16 ince elek kullanılmıştır (şekil 8.5).



şekil 8.5. Cevher kırma-eleme tesisi.

8.3. 3 NO'LU YÜKSEK FIRIN VERİLERİ

Çizelge 8.8. 2011 Hammadde tüketim değerleri.

2011	DEMİRLİ CEVHERLER						FLAKSLAR		
	SİNER		PELET		KALİBRE CEVHER		MANGANEZ	KİREÇTAŞI	ÇAKMAKTAŞI
	%	kg/tsm	%	kg/tsm	%	kg/tsm	kg/tsm	kg/tsm	kg/tsm
OCAK	45,91	828	8,45	152	45,64	824	17,1	1,3	8,96
ŞUBAT	42,96	772	8,8	158	48,24	867	25,4	18,11	21,3
MART	43,61	779	9,46	169	46,93	839	16,03	3,65	11,85
NİSAN	45,14	805	8,03	143	46,83	836	10,66	2,24	11,53
MAYIS	56	1008	6,94	125	37,06	667	0	1,65	5,49
HAZİRAN	53,41	950	5,39	96	41,2	732	0	1,06	2,57
TEMMUZ	47,65	840	6,24	110	46,11	813	0	0,44	2,47
AĞUSTOS	47,29	821	7,25	126	45,46	788	0	4,22	0,14
EYLÜL	47,11	797	9,76	165	43,13	729		5,15	8,93
EKİM	45,7	776	10,03	170	44,27	753	6,54	4,57	6,44
KASIM	43,68	774	0	0	56,32	998	12	1,26	5,52
ARALIK	40,77	705	3,87	67	55,36	956	2,83	1,12	4,55

Çizelge 8.9. 3YF baca tozu analizleri (Ağırlıkça %).

TARİH	15 Ocak	30 Mart	21 Nisan	29 Nisan	6 Mayıs	28 Mayıs	4 Haziran	7 Haziran	14 Haziran	25 Haziran	5 Temmuz	13 Temmuz	19 Temmuz	26 Temmuz	19 Ağustos	6 Eylül	20 Eylül	29 Eylül	5 Ekim	1 Kasım
Fe ₂ O ₃	43	64,78	66,17	69,2	65,3	52,6	68,05	51,09	49,58	41,93	53,24	61,26	43,25	57,37	35,89	47,35	41,73	48,15	47,15	47,38
C	30,8	15,84	13,3	10,6	10,2	28,41	11,35	30,64	24,17	30,33	19,27	10,58	32,27	20,92	33,52	26,44	30,22	28,29	27,63	26,73
S	0,57	0,35	0,35	0,36	0,33	0,47	0,29	0,48	0,56	0,59	0,62	0,46	0,63	0,52	0,71	0,54	0,67	0,56	0,56	0,64
Al ₂ O ₃	2,93	2,21	1,68	1,75	1,69	2,16	1,4	1,77	2,12	2,66	2,93	2,35	2,76	2,22	3,14	2,79	2,77	2,18	2,14	3,18
SiO ₂	9,26	8,27	7,86	8,84	7,36	7,73	6,44	6,85	7,42	9,02	10,11	10,03	9,62	8,91	10,65	9,25	9,38	7,88	7,57	10,85
CaO	2,78	1,97	2,41	3,01	2,13	1,97	2,64	2,55	3,17	2,19	3,34	3,37	2,68	3,98	3,00	2,80	2,45	2,96	2,02	3,69
MgO	0,63	0,49	0,43	0,64	0,52	0,37	0,37	0,4	0,6	0,58	0,94	0,71	0,54	0,60	0,78	0,80	0,72	0,52	0,54	0,73
Na ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,52	0,31	0,21	0,29	0,23	0,29	0,18	0,91	0,82	1,00	1,09	0,59	1,40	0,40	1,02	0,92	0,96	0,75	0,48	1,38
ZnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,32	0,41	0,21	0,42	0,30	0,27
MnO	0,74	0,87	1,12	1,23	1,26	1,06	1,05	0,79	0,88	0,87	1,21	1,62	0,97	1,18	1,21	1,24	1,04	0,88	0,97	0,99

Çizelge 8.10. 2010 3 YF verileri.

AYLAR	Mn (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	K.BAZ (CaO/SiO ₂)	Curuf Hacmi (kg/tsm)	MnO/Mn
OCAK	0,79	2,49	1,24	0,827	315	3,14
ŞUBAT	0,81	2,69	1,29	0,833	278	3,33
MART	0,89	3,03	1,33	0,794	273	3,41
NİSAN	0,86	2,56	1,28	0,794	298	2,98
MAYIS	0,79	2,97	1,38	0,731	271	3,77
HAZİRAN	0,82	2,83	1,31	0,803	275	3,43
TEMMUZ	0,83	2,90	1,16	0,784	281	3,48
AĞUSTOS	0,82	2,73	1,22	0,762	273	3,33
EYLÜL	0,94	2,82	1,19	0,757	296	3,00
EKİM	0,83	2,24	1,28	0,772	270	2,70
KASIM	0,83	2,59	1,37	0,754	295	3,13
ARALIK	0,84	2,56	1,22	0,768	304	3,04

Çizelge 8.11. 2011 3 YF verileri.

AYLAR	Mn (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	K.BAZ (CaO/SiO ₂)	Curuf Hacmi (kg/tsm)	MnO/Mn
OCAK	0,91	3,12	1,20	0,727	319	3,43
ŞUBAT	0,86	3,07	1,24	0,692	337	3,58
MART	0,87	3,09	1,17	0,705	307	3,56
NİSAN	0,88	2,81	1,13	0,733	317	3,19
MAYIS	0,87	2,79	1,15	0,744	328	3,20
HAZİRAN	0,91	2,85	1,23	0,745	315	3,13
TEMMUZ	0,90	2,54	1,27	0,752	295	2,83
AĞUSTOS	0,85	2,38	1,25	0,751	265	2,81
EYLÜL	0,83	2,50	1,18	0,718	291	3,03
EKİM	0,87	2,56	1,37	0,731	264	2,93
KASIM	1,06	2,91	1,35	0,776	294	2,75
ARALIK	1,03	2,85	1,28	0,752	257	2,77

Çizelge 8.12. 2011 maden analizleri (Ağırlıkça %).

2011	MADEN ANALİZLERİ				
	Si	Mn	S	C	P
OCAK	1,14	0,91	0,123	3,99	0,078
ŞUBAT	1,28	0,86	0,139	3,93	0,077
MART	1,19	0,87	0,141	3,93	0,073
NİSAN	1,16	0,88	0,131	3,95	0,073
MAYIS	0,91	0,87	0,116	4,04	0,061
HAZİRAN	1,02	0,91	0,115	4,09	0,064
TEMMUZ	1,05	0,90	0,122	4,00	0,059
AĞUSTOS	1,05	0,85	0,120	4,02	0,050
EYLÜL	1,12	0,83	0,128	3,94	0,055
EKİM	1,05	0,87	0,136	4,05	0,061
KASIM	1,15	1,06	0,128	3,87	0,070
ARALIK	1,11	1,03	0,128	4,00	0,060

Çizelge 8.13. 2011 Curuf analizleri (Ağırlıkça %).

2011	CURUF ANALİZLERİ												
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	S	Fe	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	KBAZ	BBAZ	Curuf Hacmi
OCAK	42,70	30,99	11,03	6,97	3,12	0,69	0,68	1,20	0,24	1,92	0,727	0,708	319
ŞUBAT	43,49	30,05	11,01	6,80	3,07	0,72	0,72	1,24	0,26	2,10	0,692	0,677	337
MART	42,80	30,17	11,25	7,01	3,09	0,72	0,72	1,17	0,29	2,35	0,705	0,688	307
NİSAN	42,29	30,96	11,24	7,30	2,81	0,77	0,52	1,13	0,23	1,98	0,733	0,715	317
MAYIS	41,99	31,23	10,88	8,19	2,79	0,72	0,55	1,15	0,23	1,81	0,744	0,746	328
HAZİRAN	42,17	31,38	11,11	7,86	2,85	0,76	0,51	1,23	0,24	1,55	0,745	0,737	315
TEMMUZ	41,62	31,27	11,31	7,99	2,54	0,90	0,49	1,27	0,23	1,96	0,752	0,742	295
AĞUSTOS	40,90	30,68	11,56	8,64	2,38	0,92	0,46	1,25	0,24	2,24	0,751	0,742	265
EYLÜL	41,38	29,68	12,02	8,78	2,50	0,89	0,68	1,18	0,28	2,21	0,718	0,721	291
EKİM	41,07	30,01	12,60	8,33	2,56	0,93	0,52	1,37	0,24	1,96	0,731	0,715	264
KASIM	41,23	31,94	11,21	7,49	2,91	1,02	0,55	1,35	0,24	1,62	0,776	0,753	294
ARALIK	40,68	30,58	12,10	8,25	2,85	1,04	0,49	1,28	0,23	2,09	0,752	0,737	257
ORTALAMA	41,86	30,75	11,44	7,80	2,79	0,84	0,57	1,24	0,24	1,98	0,735	0,723	299

8.4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN YAPILIŞI

Alkalilerin fırın çalışmasına olumsuz etkisinin yanı sıra kok oranı ve üretimde olumsuz etkileri olduğu daha önce yapılan çalışmalarda ortaya çıkmıştır. Buna göre alkali girdisindeki 1 kg/TSM'lik artış kok oranını 16 kg/TSM artırmakta üretimde, % 8,5 azaltmaktadır.

Bütün bu olumsuzlukları ve ortaya çıkan problemleri azaltmak amacıyla 3 No'lu Yüksek Fırında aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır.

1. Hammaddelerden kaynaklanan alkali girdisinin azaltılması,
2. Malzeme kalitesinin artırılması (Cevherin elenmesi, Uygun Metalurjik kokun kullanımı),
3. Alkali çıktısının artırılması; curuf bazitesini düşürüp miktarını artırmak
4. Fırın içi malzeme dağılımının düzeltilmesi (Asimetrik olan dağılımın simetrik hale getirilmesi).

8.4.1. Alkali Girdisini Minimuma İndirmek İçin Uygulanan Metodlar

2011 verilerine göre Alkalinin % 47,4'u sinterden gelmektedir. Sinterdeki alkali miktarı, yüksek fırın baca tozunu azaltarak ya da kullanmamakla sağlanabilir. Sinterden gelen alkali miktarının azaltılmasının diğer bir yoluda şarj malzemesi içindeki sinter yüzdesinin azaltılmasıdır. 3 No'lu yüksek fırında harmanda 2011 yılında % 46,65 sinter kullanılmıştır.

Alkalinin % 12,9'u parça cevherden gelmektedir. Parça cevher sahasının alkali miktarını düşürmek için yüksek alkalili cevherler az ya da hiç kullanılmamıştır.

Çizelge 8.14. 2011 yılı 3 No'lu yüksek fırın alkali kaynakları (%)

Sinter	47,40
Pelet	0,80
Kalibre Cevher	12,90
Metalurjik Kok Külü	38,40
Flaks	0,50

Çizelge 8.15. 2011 yılı aylık K₂O girdi miktarı (kg/tsm).

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
4,19	3,99	3,96	3,87	4,33	4,14	4,58	3,79	3,94	4,29	4,42	3,69

8.4.2. Demirli Malzemelerin ve Kok Kalitesinin İyileştirilmesi

Sinter, cevher ve koptaki toz miktarı son derece düşük olmalıdır. Çünkü gaz halindeki alkali bu parçacıkları önce birbirine sonra da fırın iç duvarına yapıştırarak skaffold oluşumuna neden olmaktadır. Sinterdeki toz miktarını azaltmak için sinterin mukavemeti artırılmalıdır. Parça cevherler ise cevher hazırlama tesisinde elenmiştir.

8.4.2.1. Parça Cevherlerin Elenmesi

Cevher Hazırlama Tesisi kumanda merkez odasından; Y.F'ların ihtiyacı olan parça cevher uygun ebatlarda (+8 -32 mm) hazırlanması, Sinter Tesisi için gerekli olan demir cevheri (0 – 10 mm), kok tozu ve kireçtaşı tozunu (0 – 3 mm) istenilen özelliklerde hazırlanması işlemi gerçekleştirilir.

Cevher Hazırlama Tesisleri;

1. Demir Cevheri Kırma – Eleme Tesisi,
2. Kok Tozu Kırma eleme tesisi,
3. Kireçtaşı Kırma – eleme tesisi olmak üzere 3 ayrı grupta toplanmıştır.

Yüksek fırınlara direkt olarak şarj edilebilecek özellikteki cevherler, 22 adet Cevher hazırlama tesisi çukur bunkerlerine ayrı ayrı tahliye edilir. 8 mm boyutunda 16 adet İnce eleklerde eleme işlemine tabi tutulan kalibre cevherlerin tozu (-8 mm) Harmanlama tesisine, parçası ise (+8 – 32 mm) Yüksek Fırınlarda kullanılmak üzere Şarj tesisleri veya Primer stok sahasına sevk edilir.

Ayrıca alımı yapılan (0 -150 mm) boyutundaki Sinterlik cevherler Demir Cevheri kırma - eleme tesisinde kırma – eleme tesisinde kırma eleme işlemi sonucu (0 – 8 mm) boyutuna indirilerek harmanlama tesisine gönderilir.

17.03.2010 tarihinden itibaren bahsi geçen işlere ilaveten cevher firmaları tarafından ebatlandırılmış tüm direk şarjlık cevherler bu tesiste elenerek tozlu kısmı sinter tesislerine tozundan arındırılmış parça kısmı ise fırına şarj edilmek üzere bunkerler ya da stok sahasına sevk edilmeye başlanmıştır.

Daha önceki yıllarda Kalibre cevherlerin hak edişe esas fiziksel analizleri Kalite Yönetim Müdürlüğü personelleri tarafından vagon üzerinden alınmaktaydı. Numuneleri alınan cevher vagonları Primer stok sahasına paralel olan cevher kanalına boşalmaktaydı.

Kardemir'e gelen Kalibre cevherlerin eleme işinin başlaması nedeniyle 01.04.2010 tarihinden itibaren, kalibre cevherlerin fiziksel ve kimyasal numune alma işlemleri Kalite Yönetim Müdürlüğü tarafından Cevher Hazırlama Çukur bunkerleri çıkışlarında bulunan paletli besleyici çıkışlarından alınmaya başlandı. Böylelikle Kardemir'e gelen kalibre cevherlerin 10 günlük parti analizlerini gerçek anlamda temsil eden numune alma sistemine geçilmiş olundu.



Şekil 8.6. Kalibre cevherin elenmemiş hali.

Parça cevherlerin elenmesi ile diğer fırınlarda olduğu gibi 3 no'lu yüksek fırında da, fırın düzensizliklerinde azalma meydana gelmiştir. Baca tozu miktarı azalmıştır.



Şekil 8.7. Cevherin elendikten sonraki hali.

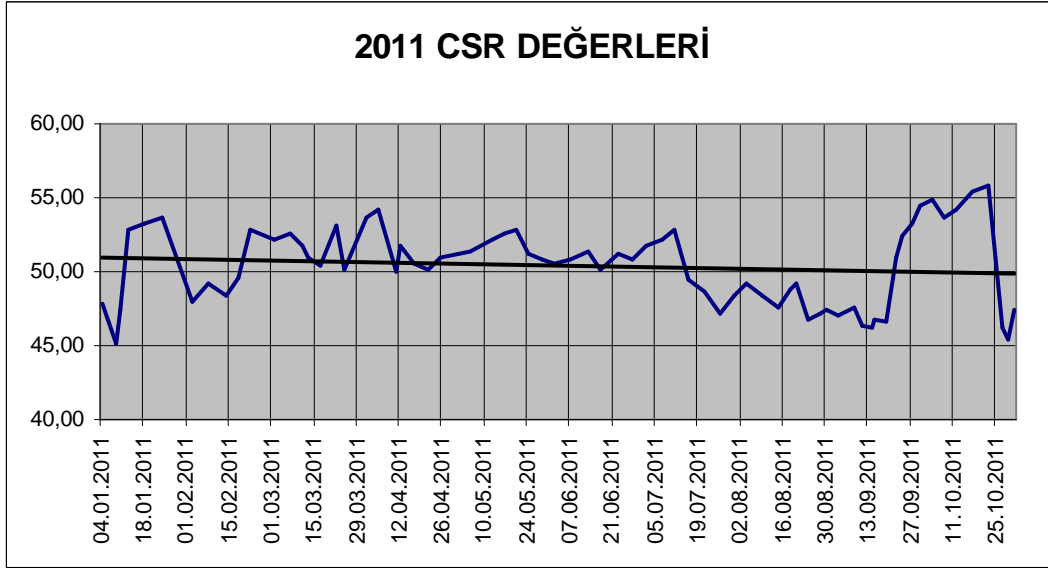


Şekil 8.8. Elenmiş cevherin primer stok sahasındaki görüntüsü.

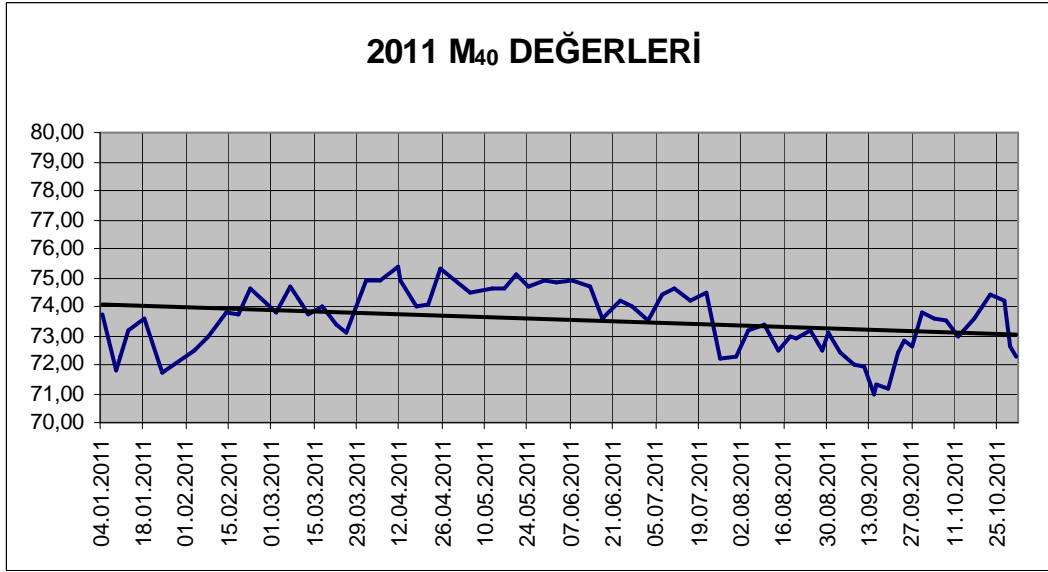
8.4.2.2. Metalurjik Kok Mukavemetinin Gaz Dağılımına Etkisi

Soğuk Mukavemet Tambur testi günlük olarak yapılmaktadır. Sıcak mukavemet CSR değeri ve Kok reaktivitesi CRI değerleri ise Kok kömür harman değişimleri ve fırın prosesinde ihtiyaç olduğunda yapılmaktadır. M_{40} - M_{10} değerleri günlük takip edilip fırın prosesine etkisi incelenmiştir. Özellikle Fırın hava basıncı ve duvar sıcaklıkları takip edilmiştir.

Yüksek Fırının sıcak bölgesindeki (hazne-bosh-bel) sıvı ve gaz geçirgenliği için çok önemli bir parametre olan metalürjik kokun CSR değeri Kardemir Koku için şekil 9.7’de verildiği gibidir. 3 no’lu Yüksek Fırın için kritik CSR değeri 50 olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür. Bu değerden daha düşük değerlerdeki kok fırın düzensizliklerin meydana gelmesine ve cürufta alkali tasfiyesinin düşmesine dolayısıyla skaffold oluşumu meydana geldiği görülmüştür. 52-54 aralığındaki fırın geçirgenliğinde, kok sarfiyatında düşme (Şekil 8.16) ve duvar sıcaklıklarında yükselme meydana geldiği tespit edilmiştir (Çizelge 9.1). 54-55 aralığında Şekil 8.16 de görüldüğü gibi kok sarfiyatı 520 kg’ın altına düştüğü görülmektedir. M_{40} değeri ise gövdede gaz geçirgenliği için önemlidir. Minimumum değer 75 olmalıdır (Şekil 8.10).



Şekil 8.9. 2011 yılı CSR değerleri.



Şekil 8.10. 2011 yılı M₄₀ değerleri.

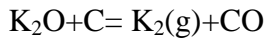
8.4.3. Alkali Çıktısının Arttırılması

Günlük Alkali Girdisi, Stokiyometrik Harman balansından hesaplanmıştır. Curufta maksimum alkali çıktısı ve sıvı hamdemirde sınır kükürt değeri için uygun curuf bazitesi tespiti yapılmıştır. Bu da curuf analizlerinden bazite-alkali ilişkisi incelenerek yapılmıştır.

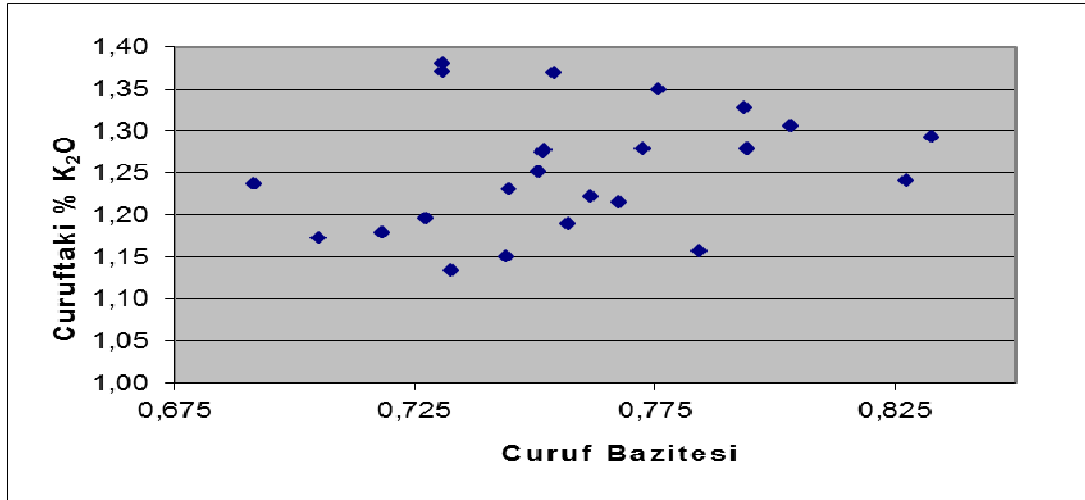
8.4.3.1. Alkali Atımına Bazitenin Etkisi

Alkalilerin büyük kısmı (% 85) curufla atılmaktadır. Curufla alkali atımını artırmak için bazite düşük tutulmalıdır. Toplanan verilerden elde edilen grafik Şekil 8.11’de (Curuftaki % K₂O-Curuf bazitesi) görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi bazite düştükçe curuftaki alkali miktarıda artmaktadır.

K₂O aşağıdaki reaksiyona göre karbonla reaksiyona girmektedir.



K₂O bazik oksittir, curuf bazitesi artıkça reaksiyon sağa kaymakta ve gazlaşan K(g) miktarı artmaktadır. CaO ile MgO’da bazik oksittir. Bu bileşikler, Na₂O ile K₂O’nun aktivitesini artırmakta bunun sonucunda da curufa geçen alkali miktarı azalmaktadır.



Şekil 8.11. 3 No’lu 2010-2011 Curuftaki alkali miktarının curuf bazitesine göre değişimi.

Curufa geçen alkali miktarının artırıp, sirkülasyonu azaltmak için alkalileri daha stabil (durağan) hale getirmek gerekmektedir. Bu da fırına çakmaktaşı şarj edip, alkalilerin silikayla reaksiyona girmesini sağlayarak alkali silikat oluşturmakla olur. Alkali silikatın stabilitesi yüksek olduğundan curufa geçmesi daha kolaydır. Alkali silikatlar, karbonatlar ve oksitler kadar kolay indirgenemezler. Amaç gazlaşan K

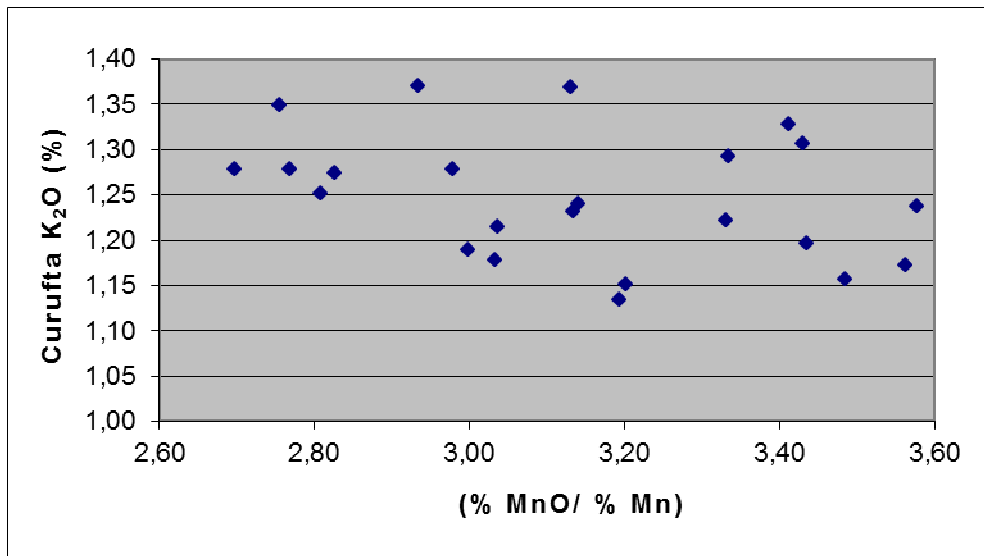
miktarını azaltarak resirküle eden alkali miktarını azaltmak olacağından reaksiyonun sağa kayması istenmez. Bu yüzden curuf bazitesi düşürülerek, K_2O oksit halde bulunmalı ve SiO_2 ile reaksiyona girerek potasyum silikat curufa geçecek ve böylece alkali curufla atılmış olacaktır. Çizelge 8.7’de görüldüğü gibi 2011 Şubat-Mart ve Nisan aylarında yüksek oranda çakmaktaşı tüketilmiştir.

Curuf bazitesini düşürmek için;

1. Sinter bazitesinin düşürülmesi
2. Fırın içerisine şarj edilen dolomit ya da kireçtaşı miktarının azaltılması
3. Fırın içerisine çakmaktaşı şarj edilmesi gerekir.

8.4.3.2. Mn’in Curuf ve Metale Dağılımı

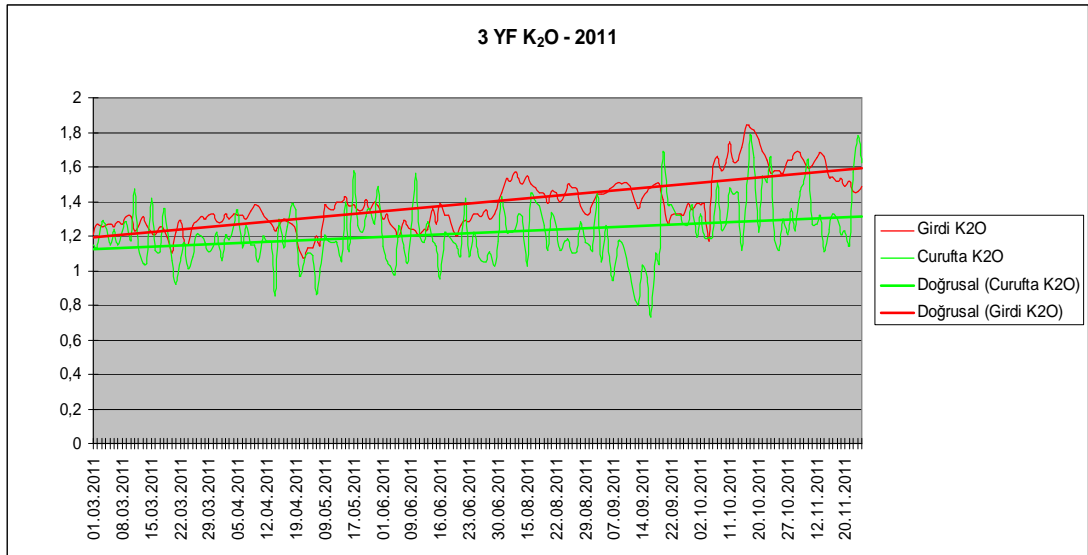
Termodinamik olarak MnO indirgenmesi K_2O indirgenmesine tercih edilmektedir. Curuftaki alkali miktarı artıkça sıcak madendeki Mn miktarı azalacaktır. Curuf içindeki K_2O ile Mn dağılımı arasındaki ilişki Şekil 8.12’de görülmektedir. Çizelge 8.7’de görüldüğü gibi 2011 Ocak-Şubat-Mart ve Nisan ayında Mn girdisinin artırılması için yüksek oranda manganez cevheri tüketilmiştir.



Şekil 8.12. Curuftaki K_2O ile Mn dağılımı arasındaki ilişki.

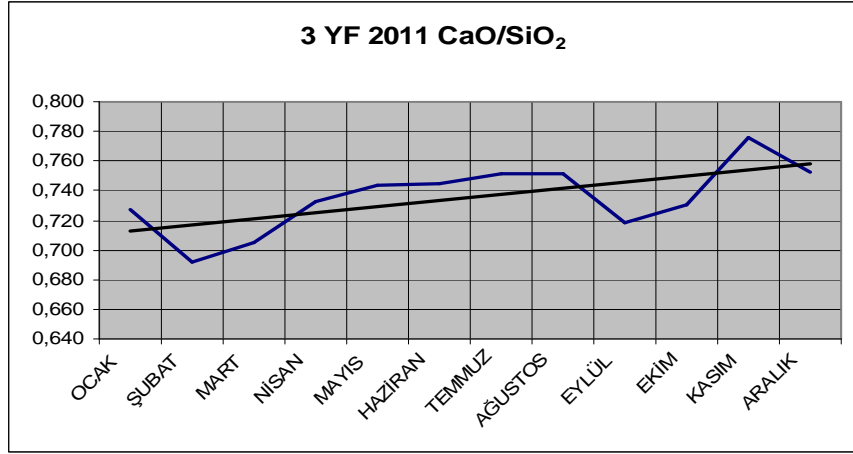
Şekilde görüleceği gibi manganez dağılımı curufta alkali atımı için bir kontrol faktörüdür. Şekil 8.13'te 2011 yılında 3 nolu Yüksek fırında alkali balansı görülmektedir. Girdi K_2O değeri teorik olarak curufta çıkması gereken % K_2O oranıdır. Curufta K_2O değeri ise fiili olarak curuf analizinde çıkan günlük % K_2O oranıdır. Görüldüğü gibi girdi miktarı çıktı miktarından genel olarak yüksek bulunmaktadır. Burada bacayla tasfiye edilen K_2O miktarı hesaplanmamıştır. Baca tozu analizlerinde incelenmiştir. Teorik bakımdan K_2O 'nun % 15'i baca gazı ile atıldığı varsayılmaktadır.

Şekilde ki curuftaki K_2O miktarındaki pikler fırında lokal olarak oluşmuş skaffoldun düştüğü durumlardır.

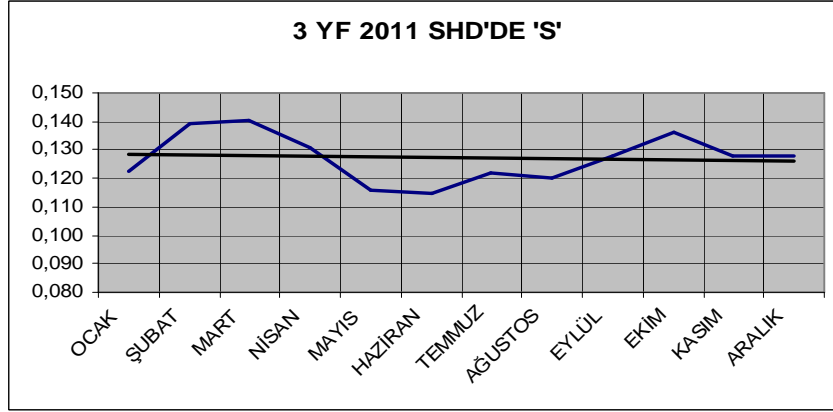


Şekil 8.13. 3 No'lu yüksek fırında 2011 yılı K_2O balansı.

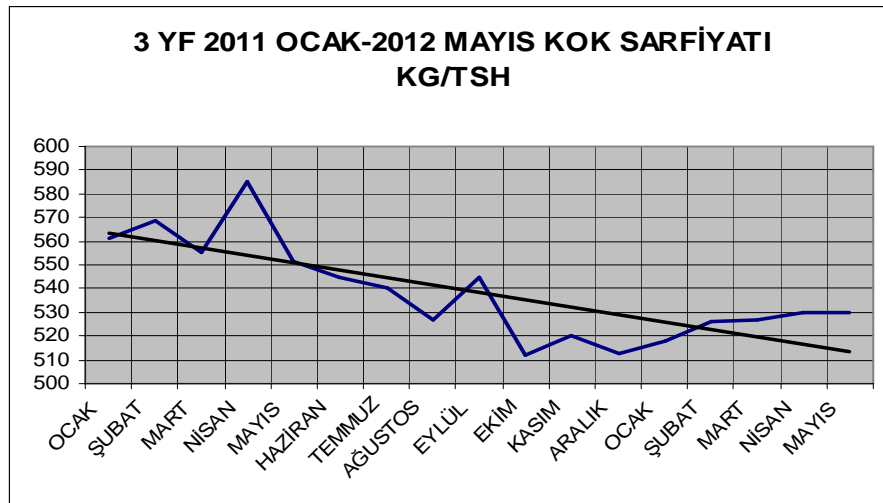
Alkali tasfiyesi için 3 no'lu Yüksek Fırında CaO/SiO_2 oranının 0,700-0,750 aralığında çalışması ideal olarak görülmüş (Şekil 8.14). Bu bazite aralığı Şekil 8.15'te görüldüğü gibi sıvı hamdemirde kükürt miktarının yüksek olmasına neden olmuştur. Bu olumsuzluk, diğer fırınlarda yüksek bazite ile çalışıldığından dolayı düşük kükürtlü sıvı hamdemir ile mikserde karıştırma ve kükürt giderme ile karşılanmıştır. Kükürtlü ve yüksek alkali içeren cevherler stok durumuna göre fırına şarj edilmemiş. Sinter yüksek oranda alkali içerdiğinden harmanda % 50'nin üzerine çıkartılmamıştır.



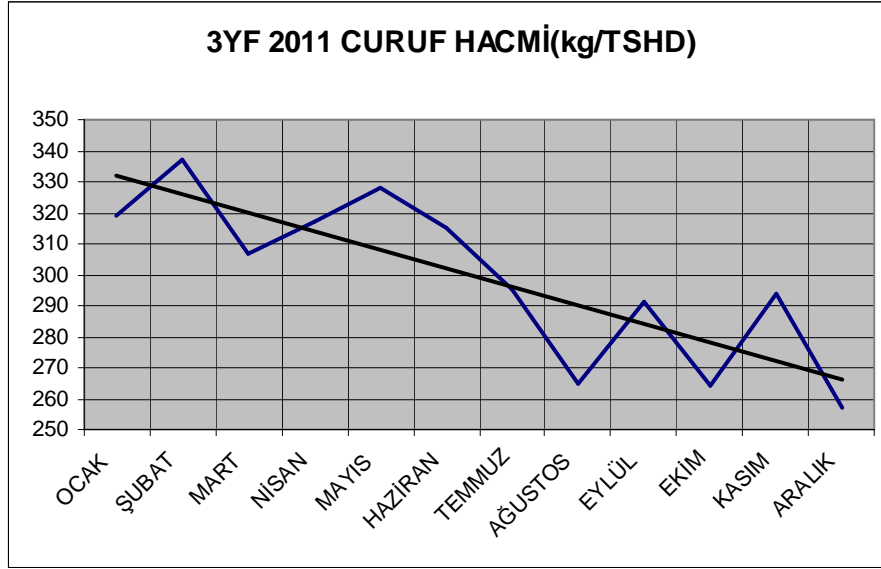
Şekil 8.14. 3 YF 2011 CaO/SiO₂.



Şekil 8.15. 3 YF 2011 sıvı hamdemir'de kükürt oranı.



Şekil 8.16. 3 YF 2011 ocak- 2012 mayıs kok sarfİYatı.



Şekil 8.17. 3 YF 2011 curuf hacmi.

Fırında skaffold oluşumu meydana geldiğinde veya alkali girdisi yüksek olduğunda alkali tasfiyesi için yüksek curuf hacmi ile çalışılmıştır (Şekil 8.17). Yüksek curuf hacmi ile çalışıldığında yakıt sarfiyatı artmaktadır (Şekil 8.16).

8.4.4. Malzeme Dağılımının Kontrolü

3 No'lu Yüksek Fırında Şarj Programı CCCC/KKKK şeklinde olup, distribütör açılımları çalışmalara başlandığı tarihe kadar +120/+120/-120/-120/0/0 derece şeklinde idi {(+) saat yönünde, (-) saat yönü'nün tersi}. Bu açılımların malzeme dağılımında uygun olmadığı küçük çan üzerinde fiziksel olarak görülmüş (Şekil 7.6) ve fırındaki termokupl değerleri ile tespit edilmiştir. Bunun için alternatif (120, 180, 240, 270) derece açılar denenmiştir. Malzeme dağılımı simetrik olan bir fırında skaffold oluşum profili de simetrik oluşur (Şekil 7.9'da Kanada Stelco Hilton yüksek fırınında oluşan skaffoldun profili). 3 No'lu yüksek fırın da ise skaffold asimetrik biçimde oluşmaktadır (Şekil 9.4). Bunun nedeni malzemenin fırın içinde, asimetrik tabaka sistemi oluşmasıdır. Bu profil tipinde oluşmuş bir skaffoldu temizlemek çok zordur. Ancak dinamit patlatma yöntemi ile oluşmuş skaffold temizlenebilir. Asimetrik malzeme dağılımı skaffold oluşumunu tetikler. Aynı zamanda fırın prosesi ile ilgili düzensizliklere neden olur (Kayınıtı, Askılanma, Hazne soğuması ve tüyer yanması).



Şekil 8.18. 3 Nolu yüksek fırın küçük çan üzerinde homojen olmayan cevher dağılımı.

Yapılan çalışmalar sonucunda 3 no'lu Yüksek fırında en uygun açının (denenmiş açılar içerisinde) +120-120 dereceler olduğu fiziksel olarak tespit edilmiştir (Şekil 8.19). Aynı zamanda duvar sıcaklıklarında denemenin başarılı olduğu görülmüştür (Çizelge 9.1).



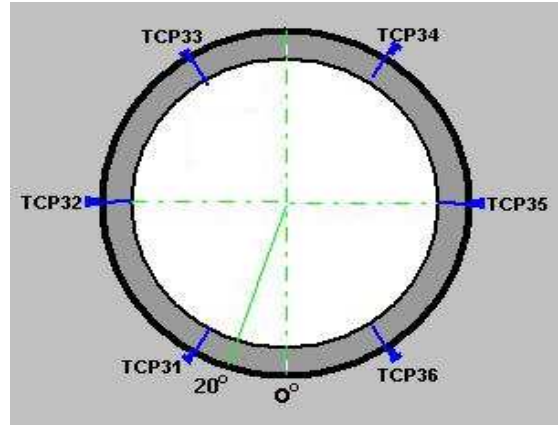
Şekil 8.19. 3 no'lu yüksek fırın küçük çan üzerinde homojen cevher dağılımı.

BÖLÜM 9

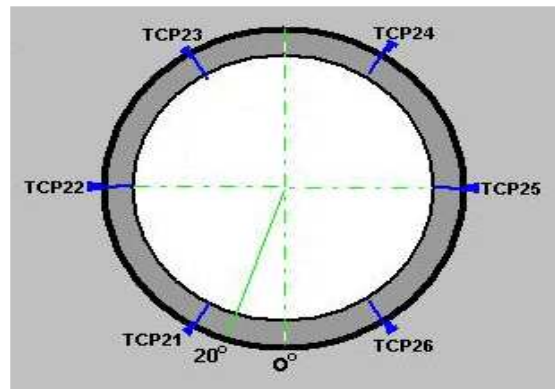
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

9.1. DUVAR SICAKLIKLARININ DEĞİŞİMİ

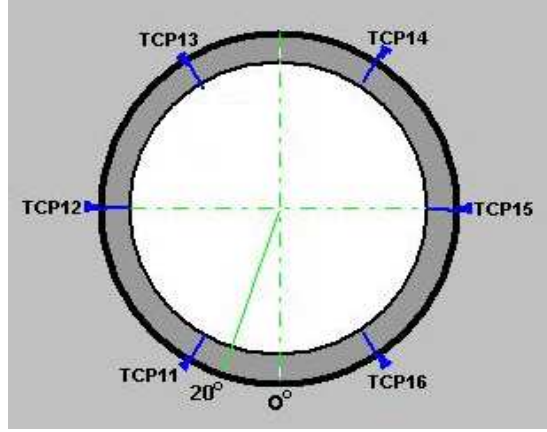
Duvar sıcaklıkları, her kesitte altı adet olmak üzere üç ayrı seviyede bulunan toplam 18 adet tuğlaya yerleştirilmiş termokuplar tarafından anlık olarak ölçülmektedir. Termokupların bulunduğu pozisyonlar Şekil 9.1, Şekil 9.2 ve Şekil 9.3'te görülmektedir (20° döküm deliği eksenidir).



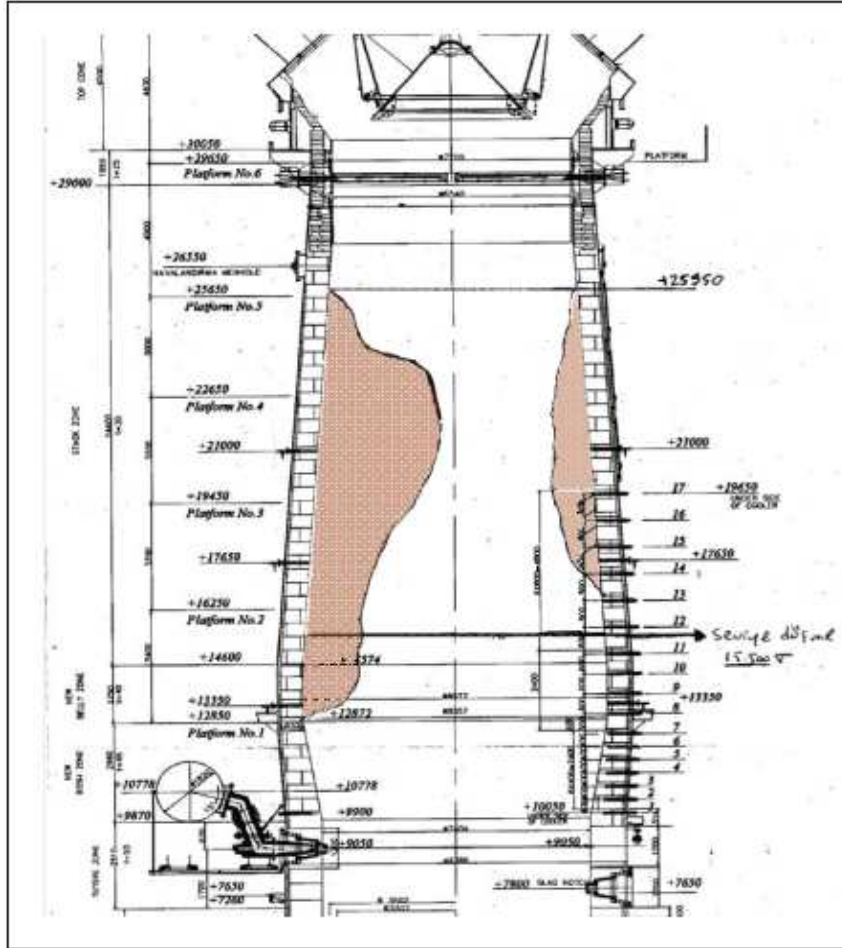
Şekil 9.1. 3 YF 3. kat duvar sıcaklıklarını ölçen termokuplar (Kod: 19700 mm).



Şekil 9.2. 3 YF 2. kat duvar sıcaklıklarını ölçen termokuplar (Kod: 16850 mm).



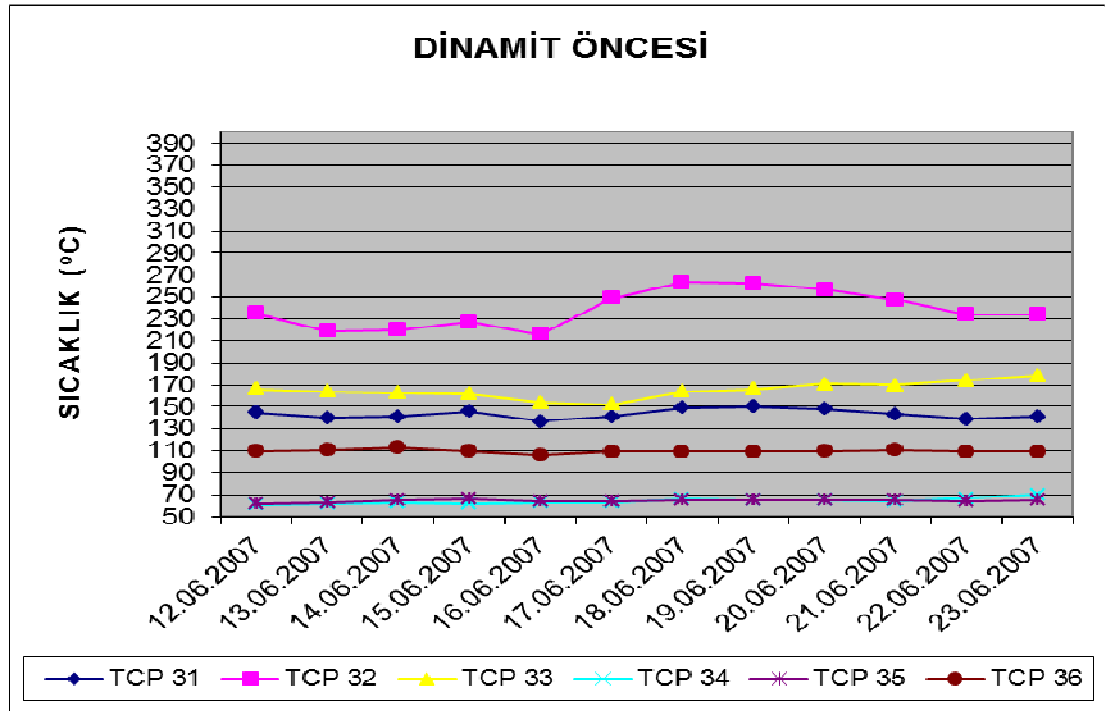
Şekil 9.3. 3 YF 1. kat duvar sıcaklıklarını ölçen termokuplar (Kod: 13650 mm).



Şekil 9.4. 2007 yılında 3 no'lu yüksek fırında oluşan skaffold.

Çizelge 9.2. Dinamit öncesi 3. kat duvar sıcaklıkları (°C).

Tarih	Termokupl No					
	31 TCP	32 TCP	33 TCP	34 TCP	35 TCP	36 TCP
12.06.2007	145	235	166	61	62	110
13.06.2007	140	219	164	62	63	111
14.06.2007	141	220	163	63	65	113
15.06.2007	146	227	162	62	66	110
16.06.2007	137	216	154	63	64	106
17.06.2007	141	249	152	63	64	109
18.06.2007	149	263	164	66	65	109
19.06.2007	150	262	166	65	65	109
20.06.2007	148	257	171	65	65	110
21.06.2007	143	247	170	64	65	111
22.06.2007	139	234	174	67	64	109
23.06.2007	141	234	178	70	65	109



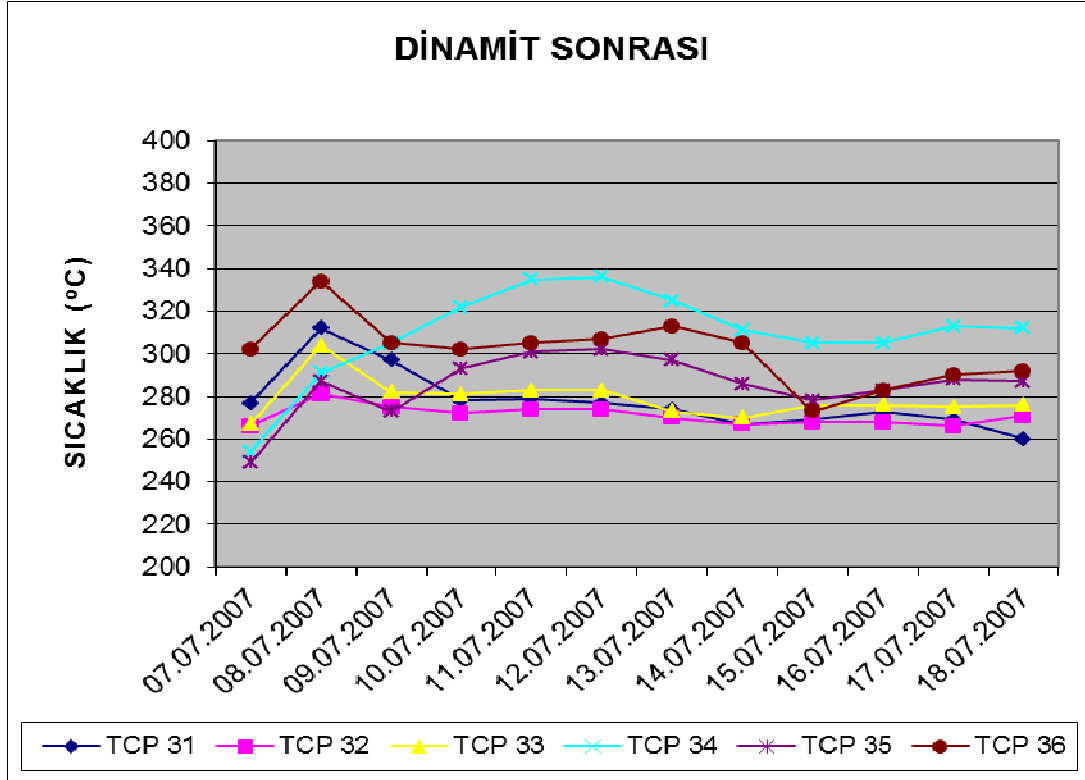
Şekil 9.5. Dinamit patlatma öncesi 3. kat duvar sıcaklıkları (°C).

Şekil 9.5'de görüldüğü 3. kat duvar sıcaklıkları çok aşırı derece düştüğü görülmektedir (Özellikle fırının 180-360⁰ kesitinde bulunan TCP34-TCP35 ve TCP36 termokuplar). TCP34-TCP35 ve TCP36 termokupların TCP 31-TCP32 ve TCP33 termokuplara göre daha fazla düşmesi skaffold oluşumunun asimetrik bir

yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Asimetrik skaffold oluşumunun nedeni de sarj malzemenin fırın içindeki dağılımın homojen olmaması sonucu oluşmaktadır.

Çizelge 9.3. Dinamit sonrası 3. kat duvar sıcaklıkları (°C).

Tarih	Termokupl No					
	31 TCP	32 TCP	33 TCP	34 TCP	35 TCP	36 TCP
07.07.2007	277	266	267	254	249	302
08.07.2007	312	281	304	291	287	334
09.07.2007	297	275	282	305	273	305
10.07.2007	278	272	281	322	293	302
11.07.2007	279	274	283	335	301	305
12.07.2007	277	274	283	336	302	307
13.07.2007	274	270	273	325	297	313
14.07.2007	267	267	270	311	286	305
15.07.2007	269	268	276	305	278	273
16.07.2007	273	268	276	305	283	283
17.07.2007	269	266	275	313	288	290
18.07.2007	260	271	276	312	287	292



Şekil 9.6. Dinamit patlatma sonrası 3. kat duvar sıcaklıkları (°C).

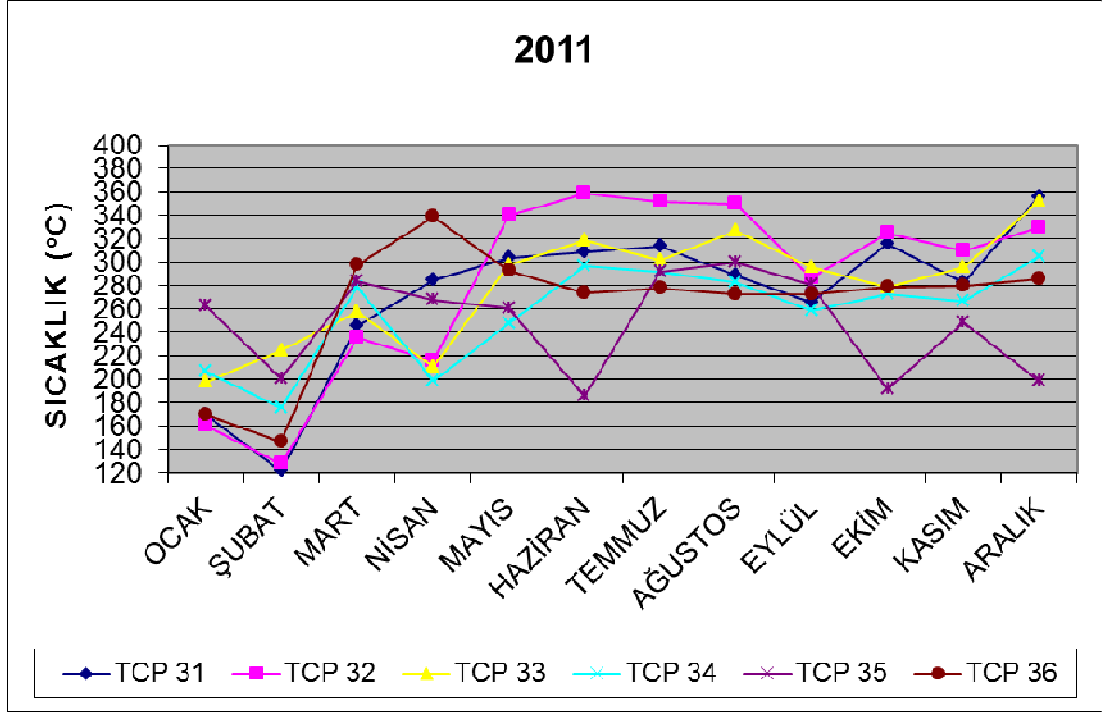
Şekil 9.6'da görüldüğü gibi dinamit patlamadan sonra tüm termokupllar normal değerlere çıktığı gözlemlenmiştir (250-300 °C).

Çizelge 9.4. 2011 yılı 3 nolu yüksek fırın termokupl sıcaklıkları (°C) .

AYLAR	Termokupl No (TCP)																	
	11	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	26	31	32	33	34	35	36
OCAK	270	407	276	157	199	103	423	348	227	247	231	133	170	161	198	207	263	170
ŞUBAT	325	325	318	139	253	100	387	357	541	224	123	104	122	128	225	176	201	147
MART	372	253	346	252	173	223	331	326	372	440	422	299	246	236	258	279	284	298
NİSAN	408	229	247	234	166	364	433	224	167	379	281	452	285	216	211	199	268	339
MAYIS	248	212	352	143	195	153	302	264	454	314	280	259	304	340	298	248	261	293
HAZİRAN	266	190	352	248	211	186	415	236	530	194	188	197	309	359	319	297	186	274
TEMMUZ	367	200	381	155	238	334	658	189	512	203	334	409	314	352	302	292	292	278
AĞUSTOS	267	225	367	157	208	209	498	294	419	199	351	298	289	350	327	283	300	273
EYLÜL	245	352	256	130	160	136	416	421	A R I Z A L I	174	262	236	266	287	296	259	281	273
EKİM	397	240	169	105	110	169	407	329		171	109	231	316	325	279	273	192	279
KASIM	275	202	242	206	169	112	360	307		273	210	216	283	310	296	267	249	280
ARALIK	243	198	170	139	181	97	245	262		193	253	213	356	330	352	305	199	286

Çizelge 9.5. 2011 yılı 3. kat duvar sıcaklıkları (°C).

AYLAR	Termokupl No (TCP)					
	31	32	33	34	35	36
OCAK	170	161	198	207	263	170
ŞUBAT	122	128	225	176	201	147
MART	246	236	258	279	284	298
NİSAN	285	216	211	199	268	339
MAYIS	304	340	298	248	261	293
HAZİRAN	309	359	319	297	186	274
TEMMUZ	314	352	302	292	292	278
AĞUSTOS	289	350	327	283	300	273
EYLÜL	266	287	296	259	281	273
EKİM	316	325	279	273	192	279
KASIM	283	310	296	267	249	280
ARALIK	356	330	352	305	199	286



Şekil 9.7. 2011 yılı 3. kat duvar sıcaklıkları (°C).

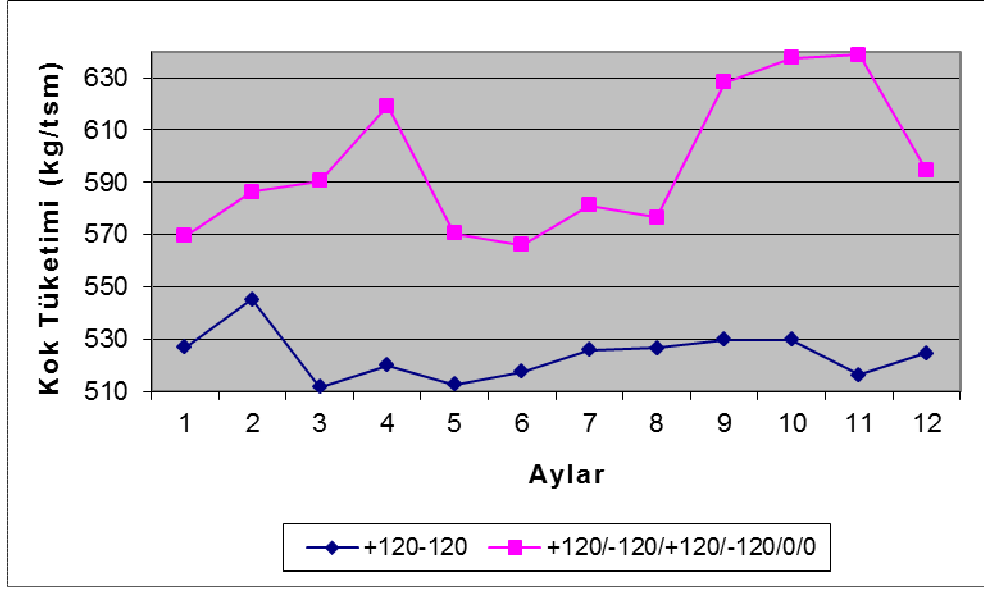
2011 yılı Mart-Nisan aylarında şarj malzemesinin fırına homojen verilmesi amacıyla yapılan çalışma sonucu, şekil 9.7'de görüldüğü gibi TCP 35 dışında diğer termokuplar normal sıcaklık aralığında (250-300 °C) seyrettiği gözlemlenmiştir. En düşük TCP 35 termokupl değerinin 186 °C olduğu görülmektedir. Bunun sebebi de bu kesitte çok kalın olmayan bir skaffold oluşumunu göstermektedir. Yapılan çalışmalar sonucu, fırında büyük hacimli skaffold oluşumunun önlenildiği ve en önemlisi de asimetrik yapının oluşumunun gerçekleşmediği şekil 9.7'den anlaşılmaktadır.

9.2. KOK TÜKETİMİN DEĞİŞİMİ

Şekil 9.8’de görüldüğü gibi distribütör açısının +120/+120/-120/-120/0/0 dereceleri olduğu durumda kok tüketiminin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni fırında skaffold oluşumu ile birlikte şarj malzemesi dağılımının homojen olmamasının sonucu gaz veriminin düşük olmasından kaynaklanmıştır. Gaz verimi, gaz dağılımının fırın kesiti boyunca homojen olarak dağılımı ile elde edilir. Yüksek fırında skaffold oluşumu mevcut olduğu durumlarda kok tüketimleri yükselmektedir. Distribütör açısının +120-120° olduğu durumda yani; A vagonetin saat yönünde 120 derece B vagonetinde saat yönünün tersi istikamette 120 derece döndürülmesi sonucunda kok tüketimi 530 kg/tsm’in altına düştüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 9.6. Kok tüketiminin değişimi (kg/tsm).

+120-120 (°)	+120/+120/-120-120/0/0 (°)
527	569
545	586
512	591
520	619
513	571
518	566
526	581
527	577
530	628
530	637
516	639
525	595



Şekil 9.8. Kok tüketiminin değişimi.

9.3. FIRIN GEÇİRGENLİĞİNİN DEĞİŞİMİ

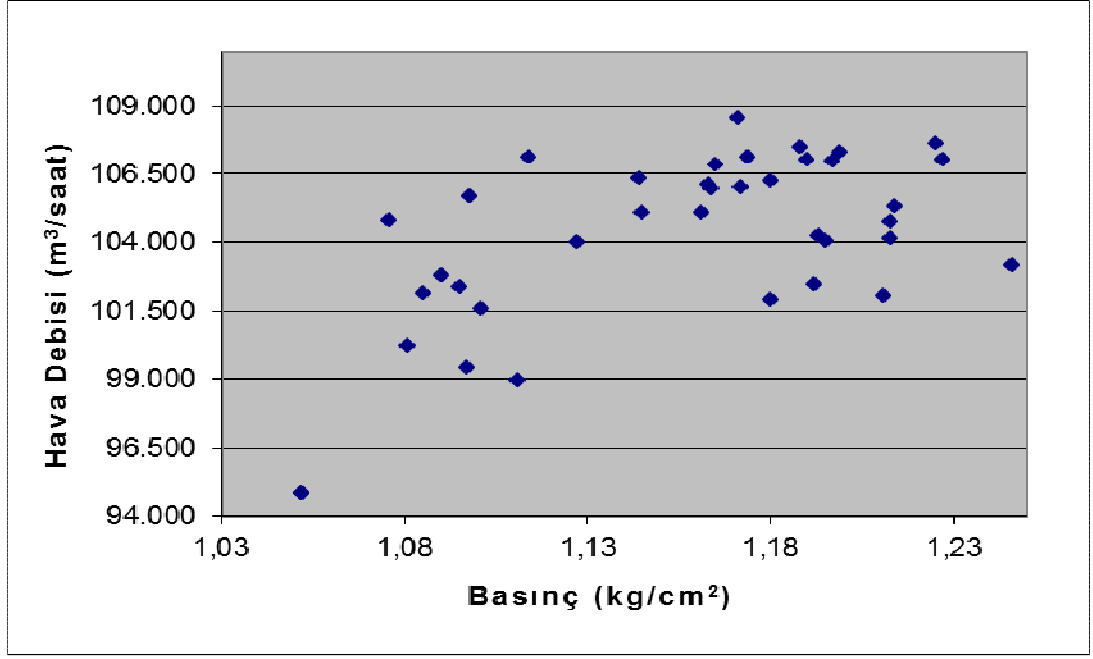
Özellikle kalibre cevherlerin fırına şarj edilmeden önce cevher hazırlama tesisinde elenerek tozlu kısmın fırına girmesinin engellenmesi ve malzemenin homojen şekilde fırına şarj edilmesi sonucu, fırın geçirgenliği olumlu şekilde etkilenmiştir. 3 No'lu yüksek fırın azami 110 000 m³/saat hava üfleme kapasitesine sahiptir. Fırına havayı sağlayan körükler iki çeşittir.

1. Hava miktarı sabit, basınç değeri değişkenli,
2. Basınç sabit, hava miktarı değişkenli (Yüksek tepe basınçlı fırınlar).

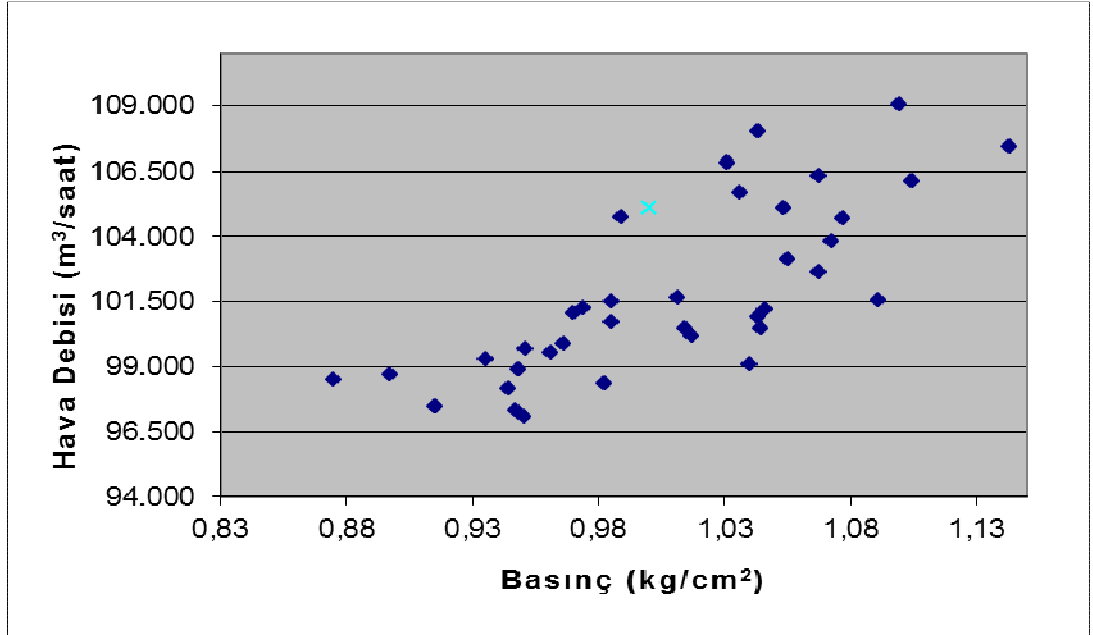
3 No'lu Yüksek Fırın körüğü fırına üflenilen hava miktarı sabit olup, fırın iç basıncına (fırın sıcaklığı, malzeme kalitesi ve skaffold durumu) bağlı olarak havanın basıncı değişmektedir. Şekil 9.9'da görüldüğü gibi 2007 yılında basınç değeri ortalama 1,13-1,23 kg/cm² aralığında olup, 2011 yılında ise 0,93-1,08 kg/cm² arasında olduğu gözlemlenmiştir (Yaklaşık aynı hava debilerinde).

Çizelge 9.7. Hava miktarı-Basınç değişimi.

2007		2011	
Hava Mik (m ³ /h)	BASINÇ (kg/cm ²)	Hava Mik (m ³ /h)	BASINÇ (kg/cm ²)
107 017	1,19	105 076	1,053
107 132	1,114	104 687	1,077
105 070	1,161	100 913	1,043
99 424	1,097	101 052	0,97
101 569	1,101	100 466	1,014
105 665	1,098	98 486	0,875
103 995	1,127	100 455	1,044
107 336	1,199	103 119	1,055
106 328	1,144	101 186	1,046
102 810	1,09	98 713	0,897
100 229	1,081	106 307	1,067
105 997	1,172	101 552	1,091
104 156	1,213	111 913	1,136
104 044	1,195	107 427	1,143
105 974	1,164	101 673	1,011
104 256	1,193	105 691	1,036
107 043	1,227	99 541	0,961
105 332	1,214	97 063	0,95
108 590	1,171	107 980	1,043
102 360	1,095	106 818	1,031
98 942	1,111	109 042	1,099
106 227	1,18	106 108	1,104
107 119	1,174	97 323	0,947
94 853	1,052	99 856	0,966
106 866	1,165	97 491	0,915
104 798	1,076	99 106	1,04
106 997	1,197	102 654	1,067
105 084	1,145	103 839	1,072
106 087	1,163	98 374	0,982
107 488	1,188	101 236	0,974
102 145	1,085	101 481	0,985
107 657	1,225	100 740	0,985
104 739	1,213	98 879	0,948
102 035	1,211	99 298	0,935
102 438	1,192	98 166	0,944
101 913	1,18	104 745	0,989
103 142	1,246	99 708	0,951
94 853	1,052	100 181	1,017



Şekil 9.9. Distribütör açılarının +120/+120/-120/-120/0/0 (°) olduğu durumdaki hava debisi-hava basıncı ilişkisi (2007).



Şekil 9.10. Distribütör açılarının +120/-120 (°) olduğu durumdaki hava debisi-hava basıncı ilişkisi (2011).

BÖLÜM 10

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma sonucu ile özellikle Kardemir 3 no'lu yüksek fırınında oluşan skaffoldun ana sebebi yüksek alkali girdisi olmakla birlikte, skaffold oluşumunu tetikleyen ve skaffold hacminin artmasına sebep üç neden tespit edilmiştir.

Bunlar;

1. Fırına direk şarj edilen ve belli aralıkta ebatlandırılmış kalibrelik ham cevherin içerisinde toz oranının yüksek olması,
2. Fırın içinde malzeme dağılımının düzgün olmaması, dolayısıyla oluşan profile göre gaz akışının da düzgün olmaması,
3. Metalurjik Kok mukavemetin (CSR-M₄₀) düşük olması.

17.03.2010 tarihinden itibaren tüm kalibrelik ham cevherlerin elenmesine başlanmasıyla tüm yüksek fırınlarda aşağıdaki iyileşmeler meydana gelmiştir.

1. Toz tutucudan alınan baca tozu miktarı azalmıştır. Dolayısıyla gaz temizleme verimi artmıştır.
2. Fırında meydana gelen düzensizliklerde (Askılanma, kayıntı) azalma meydana gelmiştir ve fırın geçirgenliği artmıştır.

3 Nolu Yüksek Fırında 2011 yılı Mart ve Nisan aylarında malzemenin (Cevher, kok) fırın içine düzgün dağılımı (Çanlı sistem) için yapılan çalışmalar ve çalışma sonuçları aşağıda belirtildiği gibidir.

1. Malzeme dağılımında Distribütör açısının A vagoneti için +120°, B vagoneti için -120° nin uygun olduğu uzun çalışmalar sonucu tespit edilmiştir. Fırının

bu şekilde daha düzgün çalıştığı ve fırında skaffold oluşumunda azalma meydana geldiği fırın parametreleri ile tespit edilmiştir.

2. Distribütörle ilgili diğer bir çalışma ise malzemenin boşaltma zamanı ile dönme zamanı karşılaştırılmıştır. Bu iki çalışma sonunda küçük çan üzerinde daha homojen bir dağılım elde edilmiştir.
3. Vagonetlerin boşaltma (küçük çanın üzerine) süresinin malzemenin dağılımını ve fırın içi profilini değiştirdiği tespit edilmiştir. Boşaltma süresini yükün ağırlığı ve zamanla uzayan vagonet halatın durumu etkili olduğu tespit edilmiş. Bundan dolayı belirli peryotlarla halat gerdirilerek iki vagonet arasındaki boşaltma süreleri eşitlenmiştir.

Metalurjik kok, fırın içinde yükü taşıdığı gibi gaz ve sıvı geçirgenliği için kok tabakaları arasındaki boşluklar ızgara vazifesi gördüğünden yeterli mukavemette olmalıdır. Kok mukavemeti yüksek fırının hacmi ile doğru orantılı olmalıdır. Fırın hacmi büyüdükçe kok mukavemetinin artması gerekir. Soğuk mukavemet (M_{40} değer) daha çok fırın gövde kısmındaki geçirgenlik için, sıcak mukavemet (CSR-CRI değerleri) ise fırının sıcak bölgeleri olan bosh ve belly bölgelerindeki geçirgenlik için önemlidir. Kok mukavemetlerinin yetersiz olmasıyla fırında düzensizliklerin meydana geldiği fırında skaffold oluşumunu tetiklediği fırın gövdesinde bulunan termokupullarla tespiti yapılmıştır.

Sonuç olarak; Parça cevherlerin elenmesi ve malzemenin daha homojen fırına verilmesi sonucu 3 No'lu Yüksek Fırında skaffold oluşumunu azaltmış olup ve lokal olarak oluşan bölgeler ise kısa sürede büyümeden düşürülebilmektedir.

Kardemir A.Ş. olarak mevcut durumda yüksek alkali girdisi yerli cevher kullanımının hem ülke ekonomisi hemde Kardemir A.Ş. şartları açısından gerekliliği göz önüne alındığından skaffoldla mücadele önem kazanmaktadır. Bundan dolayı skaffold önleme metotlarının tespiti de önem kazanmaktadır. Bu çalışmanın genel sonucu olarak skafold oluşumu için şunlar önerilebilir.

1. Demirli cevher ve metalurjik kok kesinlikle toz içermemelidir. Uygun ebatlarda fırına şarj edilmelidir.

2. Metalurjik kok, özellikle yüksek ilave yakıt (pulvarize kömür, ve katran) enjeksiyonu için yeterli mukavemete sahip olmalıdır.
3. Metalurjik kokun mukavemetini düşürdüğü için sulu söndürme sistemi yerine kuru söndürme sistemi kullanılmalı veya kok nemi minimum olacak şekilde sistem geliştirilmelidir.
4. Mümkünse tepe şarj sisteminde çansız tepe sistemi kullanılmalı. Ya da mevcut çanlı sistem yeniden dizayn edilmelidir.
5. Yüksek tepe basıncı fırın geçirgenliğine olumlu katkısı ve fırında düzensizliklerin azalmasına neden olduğundan yüksek fırın, yüksek tepe basıncı ile çalıştırılmalıdır.
6. Harmanda en çok sinter kullanıldığından sinter kalitesi (-5 mm miktarı düşük, FeO oranı düşük) geliştirilmelidir.
7. Kükürt oranı yüksek cevherler fırına direk şarj edilmemeli, sinterde kullanılmalıdır.
8. Alkali girdisi yüksek olduğunda curufla tasfiyesi için asidik curufla çalışılacağından sıvı maden içerisinde kükürt yüksek olacaktır. Bundan dolayı harici kükürt giderme yöntemi kullanılmalıdır.
9. Pelet, fırın geçirgenliğine olumlu katkısı olduğundan harmanda minimum % 10 kullanılmasında fayda vardır.

KAYNAKLAR

1. Aydın, Ö., “Yüksek fırın işletmeciliğinde optimizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-22 (2005).
2. Dike, S., D., “Pulvarize kömür enjeksiyonu kullanımının yüksek fırın çalışmasına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-12 (2008).
3. Boyrazlı, M., “Demir cevheri içerisindeki safsızlıkların olumsuz etkilerinin giderilme yollarının araştırılması”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-6 (2008).
4. Biswas, A. K., “Principles of Iron Makes Blast Furnace” *Cootha-publishing Hause, Brisbane*, Australia, 1-511 (1981).
5. İnternet: Purduecal University, “Virtual Blast Furnace”, <http://www.webs.purduecal.edu/civs/research/educationtraining/virtual-blast-furnace> (2012).
6. Özgen, O., “Yüksek Fırın Prosesi”, *Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Eğitim Müdürlüğü Yayınları*, Ereğli, 1-14, 433-445 (1991).
7. Yeniçeri, M., “Yüksek Fırın İşletmeciliğinde Demir Cevheri”, *Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları*, Ankara, 2-66 (1993).
8. Jaz. J., “Opereation data of sinter plants and blast furnace ”, *European Blast Furnace Committe*, Düsseldorf, Germany 20-30 (2005).
9. Doğar M. T., “İskenderun Demir Çelik Fabrikası A.Ş. de kalite kontrol uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 7-16 (2008).
10. Bakkaloğlu A., “Demir-Çelik Üretimi Ders Notları”, *Y.T.Ü., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, İstanbul 100-106 (1997).
11. Turkdogan, E. T., “Fundamentals of iron and steel making”, *The AISE Steel Foundation*, Pittsburgh, ABD, 133-142 (1999).
12. Aycan, A. ve Furtun, F., “Kardemir 1 nolu Yüksek Fırın modernizasyonu ve 4. yüksek fırın yatırımı”, *V. Demir-Çelik Kongresi ve Sergisi*, Karabük, 165-168 (2011).
13. Çelebi, V., “Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlar Eğitim Notları”, *Kardemir A.Ş. Arşivi*, 5-15 (2007).

14. Çelebi, A., Aycan, A. ve Furtun, F., “3 nolu yüksek fırın revartmanı”, *III. Demir-Çelik Kongresi ve Sergisi*, Ereğli, 241-254 (2005).
15. Kardemir A.Ş., “3 nolu yüksek fırın 1988 revetman raporu”, *Kardemir A.Ş*, Karabük, (1988).
16. Canbek, N., “3 nolu yüksek fırının 1979 revertmanı” *Demirçelik Dergisi*, Karabük, (1-2): 1-7 (1979).
17. İnternet: Kardemir A.Ş., “Üretim tesisleri”, <http://www.kardemir.com/frmTesis.aspx?id=2&SectionID=tesis> (2012).
18. Bulut, B., “Yüksek fırınlarda verim artırmak amacıyla koklaşabilir yerli ve ithal kömürlerin optimum harmanlama özelliklerin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 1-55 (2010).
19. Akbulut, H., “Kok özelliklerinin yüksek fırın prosesine etkileri ve önemi”, *I. Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri*, Ereğli 533-540 (2000).
20. Özgen, O., “Yüksek Fırında Kok Kalitesi”, *Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Eğitim Müdürlüğü Yayınları*, Ereğli, 10-45 (1986).
21. Ağuş, M., “Kardemir A.Ş. Kok Fabrikaları Tanıtım Notları”, *Kardemir A.Ş. Arşivi* Karabük, 1-10 (2008).
22. Hilding, T. S., “Investigation of aceretion formation in blast furnace shaft” Master’s Thesis, *Lulea University of Technology*, Lulea, Sweden 10-18 (2001).
23. Sastry, K., “Agglomeration 77”, *American Instute On Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc.*, NewYork, ABD, 306-335 (1977).
24. Furtun, F. ve Özkan V., “Yüksek fırınlarda skaffold ile mücadele yöntemleri ve Kardemir 3 nolu yüksek fırın uygulamaları”, *V. Demir-Çelik Kongresi ve Sergisi*, Karabük, 169-177 (2011).
25. Strassburger, J. H., “Blast Furnace Theory and Practice”, *Goordon and Breach Science Publishers*, NewYork, ABD, 563-570 (1969).
26. Elliot, G. D., “Pratical Ironmaking”, *The United Steel Companies LTD*, Londra, England, 160-170 (1959).
27. Abraham, K. P. and Staffansson, L. I., "Alkali problem in the blast furnace", *Scandinavian Journal of Metallurgy* 4: 193-204 (1975).
28. El-Geass, A. A., Shehato, L. A., Nasr, M. I. and Fakhory, J. J., "Effect of alkalis on the performance of the blast furnace" *Transactions ISIJ*, 5 (26): 865-874 (1986).

29. Lu, W. K., "Fundamentals of Alkali Containing Compounds", Edited by N.Standish W.K.Lu,1st Master Symposium on Iron and Steel making, **Mc Master University Press**, Hamilton, Canada 2:1-17 (1973).
30. Stephenson, R. L., "Effect of Alkalis on Blast Furnace Operation", **Mc Master University Press**, Hamilton, Canada 3:1-14 (1973).
31. Lilius, K., "On the nature of the circulating alkali load in blast furnace", **Scandinavian Journal of Metallurgy** 9: 139-147 (1980).
32. Davies, J., Moon, J. T. and Traice, F. B., "Alkalis in the blast furnace ironmaking and steel making", **Mc Master University Press**, Hamilton, Canada 4:151-161 (1978).
33. George, B. W. R. and Pearth, J. A., "The influence of alkalis on blast furnace performance", Ist Mc Master Symposium on Iron and Steel Mainged by N.Standish and W.K.Lu, **Mc Master University Press**, Hamilton,Canada , 4:1-25 (1973).
34. Rankin, W. J. and See, J. B., "The alkali problem in the blast furnace", **Mineral Science and Engineering**, 9 (2): 682 (1972).
35. Elkasabgy, T., "Effect of alkalis on reduction behavouour of acid iron ore pellets", **Transactions ISIJ**, 24: 612-621 (1984).
36. Karabasov, Y. S., Valantin, V. S., Yetsenko-Zhuk, A. D., Buik, M. G., Tseilin, M. A. and Tukdemyukov, I. Sh., "Infuluence of basicty of charge materials on behaviour of carbonates of alkalis met als during hataing", **Steel in the USSR**, 207-208 (1985).
37. Hatano, M., Minyazaki, T. and Ivanaga, Y., "Investigation of the infulence of alkali circulation on the blast furnace operation" **Transactions ISIJ**, 20 (11): 744-752 (1980).
38. Erol M. Ş. ve Sevinç N.,“Yüksek fırınlarda alkali kontrolü” **8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, 6-9 (1995).
39. Ashton, J. D., “Alkalis In Blast Furnace”, **McMaster University**, Hamilton, Canada 1-5 (1973).
40. Kardemir A.Ş., “Yüksek fırınlar ve sinter müdürlüğü yıllık faaliyet raporu” **Kardemir A.Ş.**, Karabük (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa YILDIRIM 1977 yılında Kilis'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Kilis Lisesinde mezun oldu. 1996 yılında İstanbul Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2001 yılında mezun oldu. 2003 yılında Beşel Çelik Döküm'de Dökümhane mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. 2004 yılından beri Kardemir A.Ş. de Yüksek Fırınlara ve Sinter Müdürlüğünde Yüksek Fırınlara İşletme Mühendisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : KARDEMİR A.Ş. KARABÜK

Tel : (505)8118149

E-posta : mustafayildirim26@hotmail.com