

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK FIRIN İŞLETMECİLİĞİNDE OPTİMİZASYON

Metalurji ve Malzeme Mühendisi Özlem AYDIN

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU (YTÜ)

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. YÜKSEK FIRINLAR VE ÇALIŞMA PROSESİ	3
2.1. Yüksek Fırındaki Reaksiyonlar ve Ergime.....	4
2.1.1. Ergime Sahası	4
2.1.2. Karbon Alma Sahası	4
2.1.3. Redüksiyon Sahası.....	4
2.1.4. Isınma Sahası	5
3. YÜKSEK FIRINLARA ŞARJ EDİLECEK CEVHERLERDE ARANAN ÖZELLİKLER VE VERİME OLAN ETKİLERİ	5
3.1. Fiziksel Özellikler	5
3.1.1. Tane Büyüklüğü	5
3.2. Mineralojik Özellikler	6
3.3. Cevherin Porozitesi	6
3.4. Şarjdaki Parça Cevherin Mukavemeti ve Isıya Dayanıklılığı	6
3.5. Cevherlerin Yüksek Fırındaki Şişme Özellikleri ve Fırına Olan Etkileri ..	7
4. DEMİR CEVHERİ İÇİNDE BULUNAN EMPÜRİTELER	7
4.1. Zararlı Empüriteler	8
4.1.1. Silisyum Dioksit	8
4.1.2. Alüminyum Oksit	8
4.1.3. Kükürt.....	9
4.1.4. Alkaliler	9
4.1.4.1. Yüksek Fırında Alkali Reaksiyonları	10
4.1.4.2. Alkalilerin Şarj Malzemeleri Üzerine Etkileri	11
4.1.4.3. Alkalilerin Refrakterler Üzerine Etkileri.....	11
4.1.4.4. Alkali Kontrol Metodları	11
4.1.4.4.1. Alkali Girdisini Azaltma	11
4.1.4.4.2. Malzeme Boyut Optimizasyonunu Sağlamak	12
4.1.4.4.3. Alkali Çıktısının Arttırılması.....	12
4.1.4.4.3.1. Alkali Atımına Bazitenin Etkisi	12
4.1.4.4.3.2. Alkali Atımına Alev Sıcaklığının Etkisi.....	12
4.1.4.4.3.3. Alkali Atımına Tepe Sıcaklığının Etkisi	12
4.1.5. Çinko	13
4.1.6. Kurşun	13
4.1.7. Fosfor.....	13
4.1.8. Titanyum.....	14
4.1.9. Bakır	14
4.1.10. Krom.....	14

4.1.11.	Nikel	15
4.1.12.	Arsenik	15
4.1.13.	Kalay.....	15
4.2.	Faydalı Empüriteler	15
4.2.1.	Kireçtaşı.....	15
4.2.2.	Magnezyum Oksit	16
4.2.3.	Manganez Oksitler.....	16
5.	EMPÜRİTELİ DEMİR CEVHERLERİNİN FIRIN ŞARJINA HAZIR HALE GETİRİLMESİNDE KULLANILAN CEVHER HAZIRLAMA TEKNİKLERİ	18
5.1.	Demir Cevherlerinin Sinterlenmesi ve Verimliliğe Olan Etkileri	18
5.1.1.	Sinterin Özellikleri	19
5.2.	Peletleme ve Verim Arttırıcı Etkileri	19
5.2.1.	Peletlerde Aranılan Özellikler	19
6.	SATIN ALINAN CEVHERLERİN ÖZELLİKLERİ.....	20
7.	KOKTA ARANAN ÖZELLİKLER VE VERİMLİLİĞE OLAN ETKİLERİ	20
7.1.	Kok'un Fiziksel Özellikleri	21
7.1.1.	Özgül Ağırlık.....	21
7.1.2.	Gözeneklilik	21
7.1.3.	Boyut Dağılımı	21
7.1.4.	Mukavemet	21
7.2.	Kimyasal Özellikler.....	21
7.2.1.	Rutubet	21
7.2.2.	Kül	22
7.2.3.	Kükürt.....	22
7.2.4.	Uçucu Madde.....	22
7.3.	Özet Olarak Kok'un Özellikleri	22
8.	DOLOMİTİN ÖZELLİKLERİ.....	23
8.1.	Kimyasal Özellikler.....	23
8.2.	Fiziksel Özellikler	23
9.	KİREÇTAŞI	23
10.	OKSİJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ HAVA KULLANIMI.....	23
11.	YÜKSEK FIRIN İŞLETMECİLİĞİNDE ALKALİ KONTROLÜ.....	23
11.1.	Yüksek Fırın Datası ve İşletme Sınırlamaları	23
11.2.	Yüksek Fırın Datalarının Kullanılması ile Grafiklerin Çizilmesi	25
11.3.	Yüksek Fırın Matematiksel Bağıntılarının Kullanılması ile Optimum İşletme Şartlarının Araştırılması	36
12.	TARTIŞMA.....	44
12.1.	Fırına Girenler	49
12.2.	Ürünler.....	51
12.3.	Alkali Tehlike Seviyesinin Belirlenmesi.....	51
12.4.	Yüksek Fırın Dataları Kullanılarak Grafiklerin Çizilmesi ve Yorumlanması	51

12.5.	Demir Cevher ve Konsantrelerine Alkaliler ve Diğer Empüritelerin Azaltılması Amacıyla Klorlayıcı Buharlaştırma Yönteminin Uygulanması.....	55
12.5.1.	Kalsiyum Klorür'ün Klorlayıcı Madde Olarak Kullanılması.....	55
12.5.2.	Alkali Klorür'lerin Oluşumu	56
12.5.3.	Alkali Klorür'lerin Buharlaştırması	57
12.6.	Dofasco ve Ereğli Yüksek Fırın Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	57
13.	GENEL SONUÇLAR.....	58
14.	ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....		61
ÖZGEÇMİŞ		63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Yüksek Fırının Şematik Resmi ve Yüksek Fırında Meydana Gelen Önemli Kimyasal Reaksiyonlar.....	3
Şekil 5.1.	Pelet Tesisi Akım Şeması.....	20
Şekil 11.1.	Baziklik-Curuftaki K_2O Değişim Grafiği.....	25
Şekil 11.2.	Baziklik-Toplam Maden Değişim Grafiği.....	26
Şekil 11.3.	Baziklik-Cevher/Yakıt Değişim Grafiği.....	27
Şekil 11.4.	Baziklik-Curuf Hacmi Değişim Grafiği.....	28
Şekil 11.5.	Baziklik-Curuftaki S(%) Değişim Grafiği.....	29
Şekil 11.6.	Baziklik-Madendeki S(%) Değişim Grafiği.....	30
Şekil 11.7.	Curuftaki (%)Mn/Madendeki (%)Mn-Curuftaki K_2O Değişim Grafiği.....	31
Şekil 11.8.	Baziklik-Curuftaki (%)Mn/Madendeki (%)Mn Değişim Grafiği.....	32
Şekil 11.9.	Curuftaki(%)Mn/Madendeki (%)Mn-Curuftaki (%)S/Madendeki (%)S Değişim Grafiği.....	33
Şekil 11.10.	Curuftaki (%)S/Madendeki(%)S-Madendeki (%)S Değişim Grafiği.....	34
Şekil 11.11.	Baziklik-Madendeki (%)Si Değişim Grafiği.....	35
Şekil 11.12.	Baziklik-Atılan Alkali Değişim Grafiği.....	36
Şekil 11.13.	Giren Alkalinin Güne Bağlı Değişim Grafiği.....	38
Şekil 11.14.	Baziklik-Giren Alkali Değişim Grafiği.....	38
Şekil 11.15.	Baziklik-Giren Alkalinin Curufla Atılan Yüzdesi Değişim Grafiği.....	40
Şekil 12.1.	Hammaddelerdeki Alkali Miktarları.....	46
Şekil 12.2.	Ton Sıvı Maden Başına Sisteme Giren Alkali (Libre/TSM)-Gün Grafiği.....	49
Şekil 12.3.	Koktaki $\%K_2O$ -Gün Grafiği.....	50
Şekil 12.4.	Peletteki $\%K_2O$ -Gün Grafiği.....	50
Şekil 12.5.	Curuf Bazikliği-Giren Alkalinin Curufla Atılan Yüzdesi Değişim Grafiği.....	52
Şekil 12.6.	Curuf Bazikliği-Curuftaki K_2O Yüzdesi Değişim Grafiği.....	52
Şekil 12.7.	Curuftaki (%)Mn/Sıvı Madendeki (%)Mn-Curuftaki $\%K_2O$ Değişim Grafiği.....	53
Şekil 12.8.	Curuf Bazikliği-Curuftaki(%)Mn/Sıvı Madendeki (%)Mn Değişim Grafiği.....	53
Şekil 12.9.	Curuftaki (%)Mn/Sıvı Madendeki (%)Mn-Curuftaki(%)S/Sıvı Madendeki(%)S Değişim Grafiği.....	54
Şekil 12.10.	Curuftaki(%)S/Sıvı Madendeki(%)S-Sıvı Madendeki (%)S Değişim Grafiği.....	55
Şekil 12.11.	Alkalilerin Klorürleşme Reaksiyonlarına Ait Standart Serbest Enerji ve Entalpi Değerleri.....	57

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Demir Cevheri Boyutları	6
Çizelge 12.1. Erdemir 2. Yüksek Fırın (1-4) Ocak 2004 Yılı Tablosu	45
Çizelge 12.2. Şarj Malzemelerindeki Alkali Miktar ve Yüzdeleri 1 Ocak 2004.....	46
Çizelge 12.3. Erdemir 2. Yüksek Fırın (3-6) Şubat 2004 Yılı Tablosu.....	47
Çizelge 12.4. Erdemir 2. Yüksek Fırın (14-15) Ocak-(14-15) Şubat 2004 Yılı Tablosu	47
Çizelge 12.5. Dofasco Yüksek Fırın Şeması	49
Çizelge 12.6. Curuf ve Baca Gazıyla Atılan Alkali Dağılım Tablosu.....	51

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması sırasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr.Zeki ÇİZMECİOĞLU'na teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması sırasında beraber çalışma şansına sahip olduğum,her zaman yardım ve ilgisini esirgemeyen,bilgi ve tecrübesinden istifade ettiğim sayın hocam Yard.Doç.Dr.Nilgün GÜLER'e teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Minimum enerji kullanarak uluslar arası pazarlarda geçerli ürün çeşitleri ile kalite düzeylerinin ülkemizde de üretimi için yüksek fırında optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.Daha önce yapılan çalışmalar sonucunda üretim süreçlerinin azaltıldığı; işgücü verimliliği,ürün verimliliği ve kalitede artışın sağlanarak,harcanan enerjinin minimuma indirildiği görülmüştür.Bu çalışmada gerekli optimizasyon koşulları açıklanmış ve optimizasyonun üretime etkileri belirlenmiştir.Yapılan çalışmalar ve sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

Erdemir 2. yüksek fırın dataları kullanılmış ve alkalilerin zararlı etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır.Yüksek fırın dataları olarak sinter,pelet,kok,cevher,kömür,manganez bileşim ve miktarları,curuf bileşimi,sıvı maden miktarı kullanılmıştır.Bu çalışmada curuf bazikliğinin(0,7558) düşürülmesiyle atılan alkali(2,03 kg/TSM) miktarının ve üretilen pik miktarının(4657 ton/gün) arttığı bulunmuştur.Yine curuf bazikliğinin(0,7558) düşürülmesiyle,curuf hacminin(215,70Kg/TSM) ve madendeki %Mn miktarının azaldığı,cevher/yakıt oranının arttığı(3,04),madendeki S miktarının sınırları aşmadığı(%0,08), ve Si miktarının(%0,687) sınırları geçtiği bulun muştur.

Curufla atılan alkali,üretilen sıvı maden ve cevher/yakıt oranının arttırılmasıyla;curuf hacminin azaltılmasıyla üretim veriminin arttığı belirlenmiştir.

Bu çalışmalar sonunda (0,7558) baziklik,üretilen sıvı maden miktarı(4657ton/gün),curuf hacmi(215,70Kg/TSM),Cevher/yakıt oranı(3,04),madendeki S miktarı(%0,08) ve Si miktarı(%0,687),atılan alkali(2,03kg/TSM) optimum şartlar olarak belirlenmiştir.Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi %40-70 arasında değişmektedir.Alkali miktarının kok ve sinterde yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Fırın, Demir Cevheri, Curuf, Alkali, Pelet

ABSTRACT

An optimization study has been performed with respect to the blast furnace to be employed for manufacturing various sought-after products worldwide at international recognized quality levels by using minimum energy. Previous studies have shown that production processes were reduced, energy consumption was minimized, and at the same time, labor productivity, product efficiency and quality were increased proportionally. In this study, required optimization conditions were explained and impact of optimization on production phases was clarified accordingly. The studies performed and their results are explained below.

Data pertaining to the 2nd blast furnace of Erdemir were used and reduction of the harmful effects of alkali was intended. As blast furnace data we used the characteristics of the compounds and amounts of sinter, pellet, coke, ore, coal, manganese, and amounts of slag compound and hot metal. In this study it was revealed that the amount of slag removed (2, 03 kg/TSM) and the amount of hot metal (4657 tons/day) produced were increased by decreasing the basic slag (0, 7558). Again, it was determined that, as a result of reducing the basic slag (0,7558); the slag volume (215,70 kg/TSM) and the ratio of Mn (%) in the metal decreased, ore/fuel ratio (3,04) increased, ratio of S (0,08%) in the metal did not exceed the limits but the ratio of Si (0,687%) in the metal exceeded the limits.

It was determined that the production efficiency was increased by increasing the quantity of alkali removed with slag, the hot metal produced and ore/fuel ratio, and by decreasing the slag volume.

As a result of these studies, the following were found to be the optimum conditions: basic slag (0, 7558), amount of hot metal produced (4657 tons/day), slag volume (215, 70 kg/TSM), ore/fuel ratio (3, 04), ratio of S (0, 08%) and Si (0,687%) in the metal and the alkali removed (2, 03 kg/TSM). The ratio of the alkali removed within the slag as percentage of the alkali inputted varies between 40-70%. It was determined that the amount of alkali in coke and sinter was high.

Key words: Blast Furnace, Iron Ore, Slag, Alkali, Pellet

1. GİRİŞ VE AMAÇ

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. 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 düşüksen, yüksek fırından elde edilecek verim ve ekonomi de aynı şekilde yüksek olmaktadır. Demir cevherlerinde bulunan empüriteler, yüksek fırındaki indirgeyici şartlar altında farklı davranışlar gösterirler.

Al_2O_3 , Ca O, 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 cevher sinter, pelet, curuflaştırıcı ve kok ile silikat bileşikleri şeklinde girerler. Fırına giren alkalilerin bir kısmı curuf ve baca gazları ile fırını terkederken, büyük bir kısmı fırın haznesinde yüksek sıcaklığın etkisiyle indirgenerek buharlaşırlar. Buharlaşan alkaliler, fırın içerisinde yükselerek fırının düşük sıcaklık bölgelerinde, alkali bileşiklerine dönüşerek katı şarja geçerler ve kısmende fırın duvarlarında yoğunlaşırlar. Böylece yüksek

fırına giren alkalilerin büyük bir kısmı fırın içerisinde kalarak dolaşıma katılır. Fırın duvarlarında zamanla biriken alkaliler, fırın içerisinde askılanmalara neden olarak şarj malzemelerinin ve gazın akış hızını düşürerek fırının çalışma düzenini bozarlar. Ayrıca kok tüketimini arttırarak fırın verimliliğine olumsuz etki ederler. Fırın içerisinde dolaşan alkaliler şarj malzemelerinin şişme ve parçalanmalarına, ayrıca fırın refrakterlerinin aşınmasına neden olurlar.

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 arttırılması, curuf bazıklığının düşürülmesi, fırın sıcaklığının ve basıncın kontrol edilmesi ile yüksek fırından curuf ile alkali giderimi arttırılabilir (Aydın, 1987).

Yüksek fırınla ilgili daha önce yapılmış bazı çalışmalar şunlardır: Toz halindeki yüksek fırın curufundan tuğla yapımı üzerine çalışılmış ve curuf, kum ve kireç karışımından elde edilen bu tuğlaların daha az enerji harcanarak üretildiği ve yüksek kalitede olduğu belirlenmiştir (Malhotra, 1996). En uygun özellikte curuf oluşumu için tüyerlerden yüksek fırına flax enjeksiyonu üzerine çalışılmış. Bu işlem sonucunda bosh bölgesindeki curuf miktarının azalması ve curufta yeterli bazıklığın sağlanmasıyla üretimde verimlilik artışı sağlanmıştır (Tang, 1999). Yüksek fırındaki alkali kapasitesi ve optik bazıklık korelasyonu üzerine çalışılmıştır (Y. D., 2000). Yüksek fırın curufunun alkali kapasitesi ve fiziksel özellikleri üzerine çalışılmıştır (Dieter, 2004). Yüksek fırının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine çalışılmıştır (Fehling, 2000). Düşük bazıklıkte pelet şarj edilerek yüksek fırında ergitme prosesinin geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır (Gorbachev, 2003). Yüksek fırın operasyonlarında Al tekniklerinin uygulanması üzerine çalışılmıştır (Toshio, 1992). Çelik yapım ürünü olan curufların ve demirin tekrar kullanımı üzerine çalışılmıştır (Hiroaki, 1993). Yüksek fırın prosesinde şarj hesabı için optimizasyon modelinin kullanımına çalışılmıştır (Andersson, 2004).

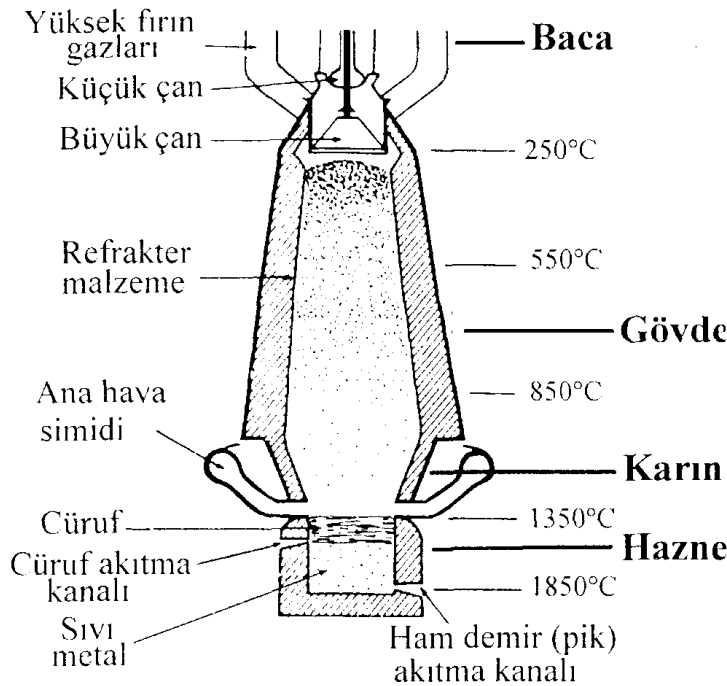
Bu çalışmada, Erdemir 2. yüksek fırında alkalilerin zararlı etkilerinin minimuma indirilerek; üretim verimliliğinin artırılması, fırın işletme giderlerinin düşürülmesi amacıyla yüksek fırın dataları ve işletme sınır değerleri kullanılarak optimizasyon yapılmıştır.

2. YÜKSEK FIRINLAR VE ÇALIŞMA PROSESİ:

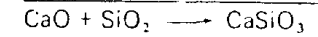
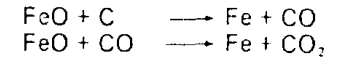
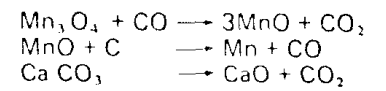
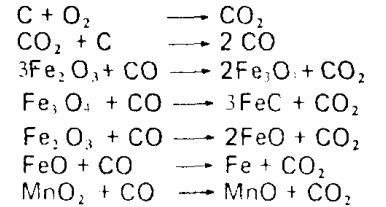
Yüksek fırın 20-30 m yüksekliğinde içi ateşe ve ergiyen maddelerin etkilerine dayanabilen, tuğlalarla örülmüş ve tersine kapatılmış iki kesik koni şekline benzeyen fırın olarak tarif edilebileceği gibi, üst kısmında oksitli cevher, flaks malzeme ve kok şarj edilen refrakter tuğlalı basınç odası şeklinde de tanımlanabilir.

Fırına yüklenen malzeme yukarıdan aşağıya indikçe ısı nedeniyle genleşeceğinden, fırın gövdesi aşağıya genişleyecek şekilde yapılmıştır.

Yüksek fırınların iç hacmi genellikle 250-850 M³ arasında bulunmaktadır. Ortalama olarak 1 M³ fırın hacmi için 24 saatte 0.5-1.4 ton ham demir elde edilmektedir../5/. 1ton ham demir elde etmek için, ortalama 450-650 Kg civarında kok ilave etmek gerekmektedir. 1 ton kokun yanması için ocağa verilen hava yaklaşık 3000 M³ 'tür(Savaşkan 1999).



Yüksek fırında meydana gelen önemli reaksiyonlar



Şekil 2.1 Yüksek fırının şematik resmi ve yüksek fırında meydana gelen önemli kimyasal reaksiyonlar(Savaşkan 1999).

2.1. Yüksek Fırındaki Reaksiyonlar ve Ergime

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, ocağa gerekli olan miktardan fazla karbon ilave edilir. Bu şekilde arta kalan bir kısım karbonda erimiş haldeki madene karışır.

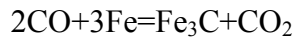
Fırına alttan giren hava ve ocak içinde ayrılan gazlar yukarı yükseldikçe reaksiyon değiştiğinden, fırın içindeki reaksiyon sahalarını da alttan yukarı doğru ayırmak daha uygun olacaktır.

2.1.1. Ergime Sahası:

Fırın alt hava püskürtme deliklerinden giren sıcak havanın yardımı ile yanan karbonun ısısı aşağı ininceye kadar redüksiyon ile (Fe) demir ve demir karbürü (Fe₃C) haline geçen madeni ve cevherden ayrılarak katık malzeme ile birleşen kalsiyum silikası (2CaO.SiO₂) eriterek akar hale getirir. Erimenin olduğu bu kısma, ergime sahası adı verilir. Fırındaki kok kömürü, hava püskürtme tüyerlerinden 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. Alttan yukarı yükselmeye çalışan bu (CO) karbonmonoksit gazı demir cevheri içindeki demir oksidin redüksiyonunu sağlar. Bu kısmın sıcaklığı ortalama 1700°C'dir (Yeniçeri 1991).

2.1.2. Karbon alma sahası:

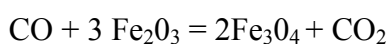
Redüksiyon sahasında cevherin ayrışması ile oluşan demirin bir kısmı bu safhada aşağıdan yukarı yükselen CO gazı ile birleşerek

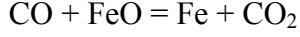
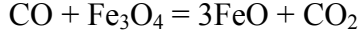


demir karbür (Fe₃C) haline geçer ve birleşme denkleminde de görüldüğü gibi CO gazı ayrışır. Demirin karbon ile birleşmesinden dolayı bu sahaya da karbon alma sahası adı verilir. Karbon alma sahasının ortalama ısı derecesi 1200 °C'dir.

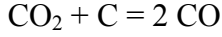
2.1.3. Redüksiyon Sahası:

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

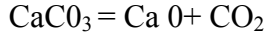




Redüksiyon sahasında cevherden CO vasıtası ile ayrılan demir, katı haldedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, karbon alma sahasından geçip erime sahasına girdikten sonra oradaki yüksek ısı derecesi ile akar hale gelir. Yukarıdaki denklemde ayrılan CO₂ gazları, üst tabakadaki kömürlerin arasından geçerken tekrar C olarak, karbonmonoksit gazı haline geçer.



Ocağa verilen kireçtaşı da bu sahanın ısısı ile yanmış kireç (CaO) ve CO₂ karbondioksit gazına ayrışır. Bununla birlikte cevherle beraber bulunan silis (SiO₂), bu sahada ayrılan demirle beraber o da serbest kalıp CaO ile birleşerek aşağı iner.



2.1.4. 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 (Yeniçeri, 1991).

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.

3.1. Fiziksel Özellikler:

3.1.1. Tane Büyüklüğü:

Yüksek fırına şarj edilecek malzemelerin boyutları kok kullanım oranının düşürülmesinde ve verimin artırılmasında 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 artırmakta ve üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca ebatların belirli boyuttan daha büyük olması halinde cevher kitlesinin 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(Erol,1995).

Dünyada bir çok ülkede yapılan deneyler sonucunda yüksek fırına şarj edilecek demir cevheri ebatları aşağıdaki şekilde olduğu gibi saptanmıştır.

Çizelge 3.1 Demir cevheri boyutları

	İNÇ	Cm
PELET	3/16-3/4	0,476-1,9 Cm
SİNER	3/16-11/4	0,476-3,17 Cm
PARÇA CEVHER	3/8-11/4	0,95-3,17 Cm

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.

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.

3.3. Cevherin Porozitesi (Gözenekliliği)

Gözenekli cevherler, gözeneksiz cevherlere göre daha hafif gelmektedir. 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 kar sağlar.

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.

Dünyada kullanılan çeşitli nitelikteki parça demir cevherleri, sinterler ve peletlerin ASTM tambur testi sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

<u>Test Numunesi</u>	<u>% + 6.3 mm</u>	<u>%-30 mesh</u>
Parça Mağnetit cevheri	59,8-97,6	1,8-28,0
Parça Hematit cevheri	69,0-93,6	5,3-21,6
Sinter	60,0-80,0	5,0-10,0
Pelet	85,0-96,0	3,0- 7,0

Peletler için yük altında kırılma mukavemeti önemlidir. Kırılma mukavemetinin ortalama olarak 250 Kg/Pelet' den yüksek olması istenilir.

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.

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 üflenene ön ısıtılmış hava ile yanması sonucu meydana gelmektedir. Şarjda Mn, Si, P, S, Zn, Ti, Pb, Cu, As, Sb, Sn, Cr elementlerinin bileşikler 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 üretilecek 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 ve hem de ergitmeye girecek malzeme için optimal kaliteyi elde etmektir.

Silis, Alumina 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.

4.1.Zararlı Empüriteler

4.1.1. Silisyum Dioksit

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 curuf hem silisler hemde 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. Ereğli Demir Çelik fabrikasının şartlarına göre demir cevheri içerisinde SiO_2 yüzdesinin % 10-17 arasında değişmesi halinde her % 1 silis için 52 kg. CaCO_3 ve 28 kg. kok artışına sebep olan ilave şarj malzemesine neden olmaktadır.

4.1.2. Alüminyum Oksit (Al_2O_3)

Fazla Alümina içeren cevherler, ıslanması halinde yapışma özelliğine sahip olması nedeniyle yüklenmelerde 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.

4.1.3. Kükürt

Yüksek fırında pik demire geçecek (S) miktarının çok küçük miktarları bile çelik için çok zararlıdır.Kükürtlü 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 kükürtlü 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.

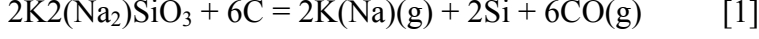
Yüksek fırına giren (S)'ün şarj içine konan kalker, mangan cevherleri ile giderilmesine çalışılır. Bünyedeki (S)'ün bir miktarı yanarak gazlarla havaya karışır (Şarjdaki kükürtün yaklaşık %4-6 sı kadar). Geriye kalan şarjdaki kükürt miktarı ise curuf ve pik demir arasında dağılır. Şarj içindeki kükürtün 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 (Yeniçeri,1991).

4.1.4.Alkaliler

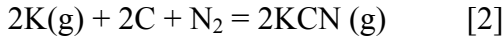
Alkaliler(Na_2O , K_2O) fırın içerisinde indirgenmezler ve demir üzerinde hiçbir etkileri olmaz ancak işletme problemlerinin olmasına neden olurlar(Habashi,1997).Alkaliler yüksek fırına şarj malzemeleriyle girmekte, curuf ve baca tozuyla atılmaktadırlar.Alkalilerin neden olduğu problemler iki metodla çözülebilir. Birincisi uygun bir cevher harmanlama ile alkali girdisinin azaltılması; ikincisi curuf bazitesinin düşürülmesi, curuf hacminin arttırılması, tepe sıcaklığının arttırılması ve CaCl_2 gibi temizleyiciler kullanarak alkali atımının arttırılmasıdır(Erol,1995).

4.1.4.1.Yüksek Fırında Alkali Reaksiyonları (1,2,3)

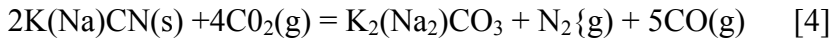
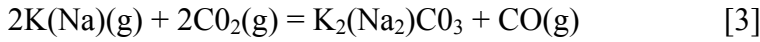
Fırına, şarj malzemesi ile giren alkaliler, fırın tuğlalarına yapışarak duvar yapar ve askılanır; dolayısıyla yüksek fırın çalışma hacmini azaltır.Yapışmış olduğu tuğlaları tahrip eder ve kok sarfiyatını arttırır.Alkaliler, şarj malzemeleri ile birlikte silikat halinde fırına girerler ve yüksek sıcaklık bölgelerinde (1700 °C) parçalanırlar.



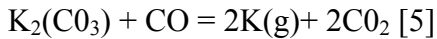
İndirgenemeyen alkali silikatlar cürufa geçerler. İndirgenen alkaliler gazla birlikte yükselirken azot ve karbonla reaksiyona girerek alkalisianit oluştururlar.



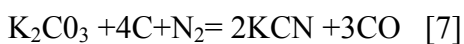
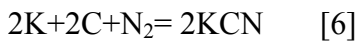
Oluşan KCN 1650 °C'de yoğunlaşarak bir kısmı shaft bölgesinde duvarlara yapışır fırın gövdesinin alt ve orta kısımlarında ve tüyer bölgelerinde genellikle alümina silikat tuğlaları kullanıldığından bu bölgedeki tuğla çatlakları içine ve hatta yapısına nüfuz eder. Tuğlaların yapısına giren alkaliler tuğlanın mekanik mukavemetini düşürürler. Alkaliler, oksitleyici ortamda gaz halindeki alkaliler ile birlikte aşağıdaki reaksiyonlara göre oksitlenerek alkali karbonatları oluştururlar(Erol,1995).



Sodyum ve potasyum karbonatlar sırasıyla 850 ve 901 °C sıcaklık bölgelerinde yoğunlaşıp sıvı hale dönüşerek şarj malzemelerinin üzerine yapışırlar ve aşağıya doğru tekrar inmeye başlarlar, yeteri sıcaklığa ulaştıklarında tekrar gazlaşarak sirkülasyonu devam ettirirler.



İndirgenemeyen karbonatlarda tıpkı silikatlar gibi cürufa karışırlar ve fırından atılırlar.Alkali birikimi ve sirkülasyonu fırının 700-1200 °C'lik bölgesinde olur. Bu 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 bozulur.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.(Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı,2005)



Ayrıca kok külünde bulunan Al_2O_3 ve SiO_2 ile K ve Na buharları bileşke yaparak ergime sıcaklıkları düşük olan silikatlar oluşturur. Bu durum koka plastik özellik kazandırır. $1200\ ^\circ C$ kok parçalarının hacmi %40 civarında artırır ve kokun parçalanmasına sebep olur. Alkalinin pelet üzerindeki etkileri ise düşük sıcaklıkta parçalanmasına sebep olur (Erol, 1995).

4.1.4.2. Alkalilerin Şarj Malzemeleri Üzerine Etkileri

Araştırmalar alkalilerin sinter ve peletin gazlaşma özellikleri üzerine büyük etkileri olduğunu ve bundan dolayı fırının geçirgenliğinin düştüğünü göstermiştir. Ayrıca alkaliler sinterin kırılma ve peletin genişleme özelliğini de olumsuz yönde etkilemektedir. Araştırmalarda alkalilerin etkisi sonucunda kokun gazlaşmasının iki ya da üç kat arttığı gözlemlenmiştir. Kokun üzerine yapışan alkalilerin kokun reaktivitesini artırarak hücre duvarlarını zayıflattığını ve sıkıştırma kuvvetleri karşında kokun parçalanmasını hızlandırdığını dolayısıyla fırın geçirgenliğini azaltıp, fırın iç basıncını artırıp askılanmaya neden olduğunu tespit edilmiştir.

4.1.4.3. Alkalilerin Refrakterler Üzerine Etkileri

Refrakterin aşınmasının ana nedeninin gaz halindeki alkalinin refrakterlerin içine girmesi olduğu tespit edilmiştir. Alkalinin burada alümina silikat oluşturması ve bunun genişmesi refrakterlerin çatlayıp kırılmasına neden olmaktadır.

4.1.4.4. Alkali Kontrol Metodları

Yüksek fırınlara şarj edilecek malzeme içindeki alkalilerin bulunması hallerinde;

Bütün bu olumsuzlukları ortaya çıkaran problemleri azaltmak amacıyla yüksek fırınlarda yapılan çalışmalar sonucunda şunlar tavsiye edilebilir:

1. Alkali girdisini azaltmak; Yüksek ve düşük alkalili malzemeler karıştırılarak alkali girdisi düşürülmeli, alkali girdisi günlük kontrole tabi tutulmalı.
2. Şarj malzemesinin boyut optimizasyonunu sağlamak.
3. Alkali çıktısını arttırmak; iyi bir ısı dengesi sağlamak, curuf bazitesini düşürüp miktarını arttırmak ve düşük alev sıcaklığında çalışmak.

4.1.4.4.1. Alkali Girdisini Azaltmak

Alkali girdisinin en büyük kaynağı olan sinterin, alkali miktarını azaltmak için sinter harmanındaki baca tozu azaltılmalı hatta hiç kullanılmamalıdır. Toz cevher sahalarında düşük alkalili cevherler kullanılmalıdır. Fırına sinterden giren alkaliyi azaltmanın bir yolu da sinter

miktarını azaltmaktır. Sinterdeki alkalinin yüksek olduğu dönemlerde sinter yerine alkali daha düşük olan pelet kullanılabilir.

Parça cevherden ve koktan gelen alkalilerin azaltılması içinde yine parça cevher harmanında ve kömür harmanında düşük alkalili parça cevher ve kömür kullanılmalıdır.

4.1.4.4.2. Malzeme Boyut Optimizasyonunu Sağlamak

Sinterdeki ve koktaki toz miktarı son derece düşük olmalıdır. Çünkü gaz halindeki alkali bu parçacıkları önce birbirine daha sonrada finnin iç duvarlarına yapıştırarak kabuk oluşumuna neden olmaktadır. Sinterdeki toz miktarını azaltmak için sinterin bazitesi düşürülerek mukavemeti arttırılabilir.

4.1.4.4.3. Alkali Çıktısının Arttırılması

4.1.4.4.3.1 Alkali Atımına Bazitenin Etkisi

Alkalilerin büyük kısmı curufla atılmaktadır. Baziklik ne kadar yüksek tutulursa, curufa o kadar az alkali geçer. Asidik curuflarda SiO_2 yüksek aktiviteye sahip olduğundan alkali silikatları oluşturur ve alkalileri bazik curuflara göre çok daha fazla tutarlar. Ca ve Mg silikatları Na, K silikatlarına göre daha dayanıklıdır. Onun için CaO artması curufun alkaliyi silikatlara bağlama özelliğini azaltmaktadır. Bazite azaldıkça curuftaki alkali miktarı artmaktadır. Alkali atımını arttırmak için bazite düşük tutulmalıdır. Curuf bazitesini düşürmenin yolu fırına çakmaktaşı ilavesi yada sinter bazitesinin azaltılmasıdır. Ayrıca $CaCl_2$ ilavesiyle de alkali atımı sağlanabilir. Baziklikte çalışan bir fırında curuf ile birlikte alkalilerin atılma oranı %50 civarındadır.

4.1.4.4.3.2. Alkali Atımına Alev Sıcaklığının Etkisi

Alev sıcaklığı azaldıkça curuftaki alkali miktarı artmaktadır. Alev sıcaklığı, hava sıcaklığı ve rutubetle oynayarak ayarlanabilir.

4.1.4.4.3.3. Alkali Atımına Tepe Sıcaklığının Etkisi

Tepe gazıyla atılan alkali miktarı tepe sıcaklığı arttırılarak yükseltilebilir. Tepe sıcaklığının artması ile tepe gazıyla atılan alkali miktarı artmaktadır. Tepe sıcaklığı cevher/ kok oranının düşürülmesi ve fırının merkezden çalıştırılması ile arttırılabilir.

Özet olarak alkalilerin, yukarıda bahsedilen zararlı etkilerini azaltmak için:

- i) Alkali girdisi azaltılmalıdır.
- ü) Şarj malzemelerinin kalitesi arttırılmalıdır.

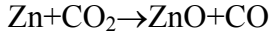
ili) Curuf bazitesi düşürölüp curuf hacmi arttırılmalıdır.

iv) Düşük alev sıcaklığında çalışılmalı, tepe sıcaklığı arttırılmalı ve fırın gaz geçirgenliğinin merkezden olması sağlanmalıdır (Erol,1995).

4.1.5. Çinko(Zn)

Bazı demir cevherlerinde bir miktar Zn bulunur. Eğer Çinko miktarı%0.2'nin altında ise yüksek fırınlarda kolayca kullanılabilir.

Şarj malzemesinde bulunan (Zn), sıvı madene ve curufa geçmez. Çinko bileşikleri fırın bacasının 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 ayrışımına sebep olur. (ZnO. Al₂O₃)

"C" yardımıyla tuğlalarda açılan çatlaklara alkaliler ve ZnO' ler dolarak tuğlaların, yumuşama sıcaklıklarını düşürür ve daha sonra tuğlalarda hacim genişlemesi (%20-%40) olur,tuğlalar parçalanır. Burada Zn ile alkaliler ortak olarak hareket ederek tuğlalar üzerinde yıkıcı etkilerini artırırılar.

Yukarıda belirtilen etkenlerden dolayı cevher içerisinde çinko miktarının %0.2'nin üzerinde olması istenmez.

4.1.6. Kurşun (Pb)

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

4.1.7. 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 yük-

sek olacağı için çelik nitelikleri dikkate alınarak çelikhanedeki işlemler esnasında defosforizasyon prosesi uygulanması gerekir.

4.1.8. Titanyum (Ti)

Titanyum demir cevherlerinde ilmenit (FeTiO_3) 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 % 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.

4.1.9. Bakır (Cu)

Bakır genellikle demir içinde kalkoprit 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.

4.1.10. Krom (Cr)

Bir çok cevher içinde kromit olarak, % 1-3 civarında krom bulunur. Çelik yapımında, pik içindeki krom curufa geçer ve curufu ağarlaştırıp akmasında güçlükler doğurur.

4.1.11. Nikel(Ni)

Nikel % 1' e kadar lateritlerde bulunur. Doğrudan doğruya 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.

4.1.12. Arsenik(As)

Bazı demir cevherleri minerallerinde arsenik %1'e kadar varan oranlarda bulunabilir. Arsenik genellikle kahverengi hematitlerde arsenopirit (FeAsS) lolinjit (FeAs_2), ve skorodit halinde bulunur.

Arsenik yüksek fırın için bir problemdir ve bu bakımdan fosfora çok benzer. Büyük bir kısmı pik demire ve bir çok çelik yapımı proseslerinde çeliğe geçer. Arseniğin fazla olması çeliğin soğukta kırılma dayanımını 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.

4.1.13.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 projesini etkiler. Nispeten az miktarlarda kalay çelikte zararlıdır. Kırılma dayanımı,kötü yüzey oluşumu gibi etkileri vardır.Genellikle adi çelik içinde %0.05'den fazla kalay olmamalıdır.

4.2. Faydalı Empüriteler

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.

4.2.2. Magnezyum Oksit (MgO)

Curufun önemli bileşenlerinden biri de MgO'dir. 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(Yeniçeri,1991).

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 alalım 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 emprütedir.

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. Bu özellikleri ana hatları ile aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

1) Manganez, molibden, krom, silis, nikel gibi mineraller çeliğin genel dayanıklılığını arttıran minerallerdir. Ancak manganez, sözü edilen minerallere göre çok daha az miktarlarda katılması halinde bile çelikte dayanıklılığı arttırıcı bir özelliğe sahiptir.

2)Manganezin karbonu solüsyonda tutma eğilimi mevcuttur. Eriyikte karbonun yanında sadece manganezin giderek artan oranda bulunması ürüne soğuk işlemde yumuşak olma özelliği vermektedir. Ortamda kimyasal bileşimin uygunluğu halinde ortalama miktardaki bir manganez yüzdesinin,ürünün yüzeyindeki çatlama ile kıymıklanmanın ileri boyutlara ulaşmasını önlemekte ve dayanıklılığını arttırmaktadır.

3)Manganez aynı zamanda ürün yüzeyinde oluşabilecek gaz kabarcığı boşluklarını azaltmakta, sıvı çelikte akışkanlığı arttırmaktadır.

4)Döküm esnasında büyük miktarlarda deoksidant (bileşimdeki oksijeni dışarı alan) minerallere ihtiyaç duyulmaktadır.Bu mineraller hızla oksitlenerek fırındaki oksidasyon kayıplarını minimize etme özellikleri taşırlar. Bu amaç için mineraller içinde en ucuz ve kolay bulunabilmesinin yanında hızla oksitlenebilmesi daha az zaman kaybının yanında enerji tasarrufu sağladığı için manganezi daha tercih edebilir hale getirmektedir.

5)Manganezin silisle beraber ortamda Si/Mn= 1.2 - 2 oranında bulunması yüksek fırınında iyi bir yanmayı sağlar.

6)Nikel, bakır ve azotta olduğu gibi manganezde de, soğuk işlemlere dayanıklı östenit oluşturma özelliği vardır.

7)Bu özelliklerinin yanında manganez florit ve kireçtaşı gibi desülfürizasyon işleminde de kullanılır.

8)İnce tane boylu manganez olağan üstü bir dayanıklılık ve kopmaya karşı bir direnç gösterir. Böyle manganezli çelikler sıklıkla dişli, aks, tüfek namlusu gibi malzemelerin yapılmasında kullanılır. Belli oranda vanadyum ilave edilmesi ve hava ile soğutulması halinde elde edilen manganezli çelik orta karbonlu çeliğin tavlama işleminden sonra kazanmış olduğu özelliklere sahiptir. Bu tip bir çeliğin geniş bir kullanım alanı vardır.

9)"Hadfield manganez çeliği" olarak bilinen özel bir çelik ise % 13 oranında manganez içerir. Çok dikkatli/kontrollü bir sıcak işlemden sonra bu çelik, çok dayanıklı, kolay haddelenebilir ve yorulmaya karşı mükemmel direnci ile karakterize edilir. Bu özelliklerinden dolayı bu çelik türü iş makinelerinin kepçe, kepçe dişi, kırma-öğütme makineleri astar imalinde ve demiryolu hizmetlerinde kullanılır.

Manganez proses süresince :

- 1) Oksijeni bünyesine almak,
- 2) Hidrojen ve azotu ortamdan uzaklaştırmak,
- 3) Ortamdaki kükürdü ve olumsuz etkilerini azaltmak,
- 4) Ürün yüzeyindeki gaz kabarcığı boşluklarını azaltmak,
- 5) Sıvı çelikte akışkanlığı arttırmak

gibi etkileri sonucunda ürüne:

- 1) Sertliğin artması,
- 2) Normal sıcaklıkta dayanıklılığın artması,

- 3) Düşük ve yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerin artması,
- 4) Düşük sertlik ve dayanıklılık derecelerinde bile kopmaya karşı direncin artması,
- 5) Aşınmaya/yorulmaya karşı direncin artması,
- 6) Korozyona karşı direncin artması gibi özellikler kazandırdığı görülmektedir.

Görüldüğü gibi manganez çeliğe çok önemli özellikler kazandırmakta ve sektör için vazgeçilmez bir mineral olma özelliğini taşımaktadır(Demir Yatakları Sempozyumu,Bildiriler Kitabı,2005).

5. EMPÜRİTELİ DEMİR CEVHERLERİNİN FIRIN ŞARJINA HAZIR HALE GETİRİLMESİNDE KULLANILAN CEVHER HAZIRLAMA TEKNİKLERİ

Toz demir cevherlerini ve çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle zenginleştirilmiş demir cevherleri konsantrelerini yüksek fırınlarda kullanılabilecek hale getirme işlemlerine genel olarak aglomerasyon adı verilir.Aglomerasyon genelde toz cevherlerin ve konsantrelerin boyut büyütme işlemi olarak görülse de boyutla beraber demir cevherlerinde aranan diğer özellikler (sertlik, mukavemet, porozite, redüklenabilirlik 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.

5.1. 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. Fırına şarj edilen sinterin boyutu 3mm civarında olmalıdır.

Demir cevherlerinin sinterlenmesinde başlıca üç amaç rol oynar:

- a) Fazla tozlu cevherlerin, tozlarının aglomera edilerek yüksek fırında kullanılabilir boyutlara eriştirmek.
- b) Demir cevherlerinde mevcut olan kükürtü oksitleyerek gidererek zararsız miktarlara indirmek.
- c) Yüksek fırın çalışma şartlarında kullanılabilecek 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:

- a) Fırınlarda ham demir üretimi için kullanılan kok miktarı azalır.
- b) Üretim esnasında elde edilen curuf miktarı azalır.
- c) Fırınlara üretim verimleri artar.
- d) Flaks miktarı azalır (Yeniçeri, 1991).

5.1.1. Sinterin Özellikleri

A. Kimyasal Özellikler

- a. Sinterin demir içeriği 50-60'ın üzerinde olmalıdır.
- b. Kükürt ve diğer istenmeyen maddeler yüksek fırında kullanılabilecek sınırlarda kalmalıdır.
- c. Fayalit ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) gibi redüksiyonu zor olan bileşikler minimum seviyede olmalıdır.
- d. Demir cevherlerinde olduğu gibi gang maddeleri de minimum seviyede olmalıdır.
- e. Yüksek fırın koşullarında gaz ortamındaki redüklenmesi kolay olan hematiti içermeli buna karşılık manyetit de bulundurmamalı veya az miktarda bulunmalıdır.

B. Fiziksel Özellikler

- a. Gaz ortamındaki redüklenmeyi başarabilmek için yüksek miktarda mikroporoziteye sahip olmalıdır.
- b. Yüksek fırın içerisinde yükün ağırlığına dayanacak şekilde mukavemetli olmalıdır.
- c. Kırılma, aşınma ve tozlaşmaya dayanıklı olmalıdır.

5.2. Peletleme ve Verim Arttırıcı Etkileri:

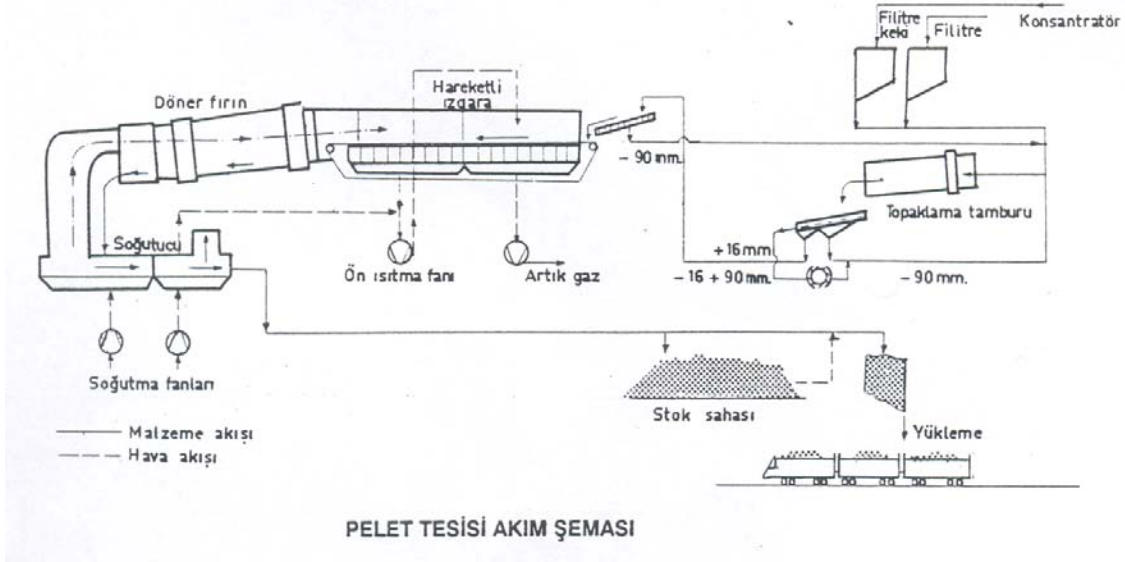
Pelet sinterleme için uygun olmayan çok küçük parçacıkların birleştirilmesinden oluşur.

5.2.1. Peletlerde Aranılan Özellikler:

Yüksek fırın şarjına uygun peletlerde iki önemli özellik aranmaktadır.

- Basınç dayanımı
- Porozite

Yüksek fırında kullanılan peletlerin basınç dayanımı mukavemeti genelde 250 kg/pelet üzerinde olması istenmektedir. Pelet ham cevhere göre daha geçirgen bir yapıya sahiptir. Buda 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.



Şekil 5.1 Pelet tesisi akım şeması

6. SATIN ALINAN CEVHERLERİN ÖZELLİKLERİ:

Cevher alımları genelde parça cevher (1 cm^2 - 15 cm^2 elek arası) toz cevherler (1 cm^2 elek altı) cevherleridir ve kırılmış cevher olarak (0-15 cm) üç cins olmaktadır. Yurt içinden satın alınacak cevherlerde minerolojik özellikler aranmamakla birlikte yurt dışındaki alımlarda minerolojik yapı dikkate alınmaktadır. Ayrıca yurt içi cevher yataklarındaki cevherlerin kalitesi ocak bazında dikkate alınarak her yatak için ayrı ayrı alım şartları belirlemekte olup, yurt içi üretimleri teşvik edilmektedir.

7. KOKTA ARANAN ÖZELLİKLER VE VERİMLİLİĞE OLAN ETKİLERİ:

Metalurjik kokun, gerek yüksek fırında ve gerekse dökümhanede kullanılması durumuna göre belirli kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması istenir.

Bu özellikler:

Parça büyüklüğü

Gözenek durumu

Özgül ağırlığı

Reaktivitesi

Mukavemet

7.1. Kokun Fiziksel Özellikleri

7.1.1. Özgül Ağırlık

Görünür özgül ağırlık: Min 0.9 gr /Cm³ , max 1gr /Cm³

Gerçek özgül ağırlık: Min 1.87 gr /Cm³

değerindedir.

7.1.2. Gözeneklilik

Min gözeneklik %48, Max gözeneklik %52 değeri olmalıdır.

7.1.3. 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.

7.1.4. Mukavemet

Kokun yüksek fırında taşıyıcı yüke dayanması şarttır. Stabilitesi iyi olan kok üretimi %1 arttırır.İdeal bir metalurjik kok aşağıdaki özellikte olmalıdır.

- Kükürt % 0.45 Max
- Kül % 10 Max
- Porozite % 50-55
- Rutubet % 3 Max
- Kırılma mukavemeti 180 kg.m./Cm² (min)

7.2. Kimyasal Özellikler

7.2.1. Rutubet

Yüksek fırın sistemi için kokun rutubet miktarında %3'lük bir artış, 1 ton pik demir başına kok tüketimini 20-23 kg. arttırmakta ve tüyerlerinden üflenen havanın sıcaklığının da 100°C yükseltilmesini gerektirmektedir.

7.2.2. Kül

Asal bir yapıya sahiptir. Ayrıca kokun içindeki karbon oranını, kendi miktardan eşdeğer miktarda azaltmaktadır. Bu nedenle yüksek fırın koku içerisinde bulunması arzu edilmez. Külün eriyerek curufa geçmesi ve asidik karakteri nedeni ile yüksek fırın şarjına ek olarak kireçtaşı katılması, operasyon maliyetini arttırmaktadır. Sonuç olarak, curuf miktarının ve kok tüketiminin artması, yüksek fırın verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Koktaki kül miktarının %1 oranında düşürülmesi pik üretimi başına 10 kg kok tasarrufu sağlamaktadır.

7.2.3. 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 bazıklığını, curuf hacim ve sıcaklığını, oksijen potansiyelini (Fe+MnO) ve demir kalitesini etkilemektedir. Yüksek miktardaki kükürtün uzaklaştırılması için curuf bazıklığının artırılması gerekmektedir.(Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler kitabı,2005) Bu durumda ise işletme verilerine göre elde edilen pik demir miktarı azalmakta kok tüketimi ise artmaktadır.

Yüksek fırın şarjının kükürt içeriğinin % 1 'ilk bir artış ton başına sıcak metal üretimi için 32 kg daha fazla kok tüketimini gerektirmektedir.

7.2.4. 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.

7.3. Özet Olarak Kokun Özellikleri

- Ortalama rutubet oranı %3'tür. Bu oran maksimum %7,7 ve minimum % 1'dir.
- Kül içeriği ortalama %10,5 değerindedir. Koktaki kül miktarı genel olarak % 18, 7 ve minimum olarak'ta %7,4 civarında bulunur.
- Ortalama uçucu madde oranı %1,1 'dir
- Toplam kükürt oranı ortalama %0,8 değerinde olup, bu değer maksimum % 1,1 Minimum %0,6 değerleri arasında değişmektedir.
- Sabit karbon miktarı ortalama %88,2 olup, %87,1 arası değişim gösterir.(Yeniçeri,1991)

8. DOLOMITİN ÖZELLİKLERİ

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

8.1.Kimyasal Özellikler

Erdemir

MgO:18 CaO:32 SiO₂:2 Al₂O₃:33 S:0.05

8.2.Fiziksel Özellikler

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

9. KİREÇTAŞI

Demir Çelik Tesislerinde yüksek fırın için kullanılan kireç taşının tane boyut dağılımı 25-40 mm'dir.

10. OKSİJENLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ HAVA KULLANIMI

Havadaki oksijen yüzdesinin artmasıyla kokun yanması ve ergitme zamana bağlı olarak artar.Oksijenin artmasıyla havadaki CO miktarı artıp böylece redüksiyonda artar.Havadaki oksijen miktarının %21 den %25'e yükseltilmesiyle hazne gazlarındaki CO miktarı %35'den %40'a çıkar ve indirgeme artar.Yüksek fırına gönderilen havanın içindeki oksijen miktarının %1 yükseltilmesiyle fırın üretim kapasitesi %4 artmaktadır.

11.YÜKSEK FIRIN İŞLETMECİLİĞİNDE ALKALİ KONTROLÜ

11.1.Yüksek Fırın Datası ve İşletme Sınırlamaları

Erdemir 2. yüksek fırın dataları:

1. Hammaddeler
 - Toplam Sinter(ton)-Günlük Ortalama(2800 ton)
 - Toplam Pelet(ton)-Günlük Ortalama(3300 ton)
 - Toplam Cevher(ton)- Günlük Ortalama(906 ton)
 - Toplam Kömür(ton)- Günlük Ortalama(400 ton)
 - Toplam Kok(ton)-Günlük Ortalama(2070 ton)

- Toplam Kireçtaşı(ton)-Günlük Ortalama(35 ton)
 - Toplam Çakmaktaşı(ton)-Günlük Ortalama(60ton)
 - Toplam Manganez(ton)-Günlük Ortalama(25 ton)
 - Cevher/Yakıt oranı-Günlük Ortalama(2,80)
2. Üretimler
- Toplam Sıcak Maden(ton)-Günlük Ortalama(4525 ton)
 - Toplam Yakıt(kg/TSM)-Günlük Ortalama(512 kg/TSM)
3. Analizler
- Maden Sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)-Günlük Ortalama(1467°C)
 - Madendeki Si(%)-Günlük Ortalama(%0,57)
 - Madendeki Mn(%)-Günlük Ortalama(%0,55)
 - Madendeki S(%)-Günlük Ortalama(%0,083)
 - Madendeki P (%) -Günlük Ortalama(%0,093)
 - Madendeki C(%)-Günlük Ortalama(%4,27)
 - Curuftaki FeO(%)-Günlük Ortalama(%0,73)
 - Curuftaki SiO₂(%)-Günlük Ortalama(%38,78)
 - Curuftaki MnO(%)-Günlük Ortalama(%1,72)
 - Curuftaki Al₂O₃(%)-Günlük Ortalama(%13,51)
 - Curuftaki CaO(%)-Günlük Ortalama(%34,88)
 - Curuftaki MgO(%)-Günlük Ortalama(%7,66)
 - Curuftaki S(%)-Günlük Ortalama(%0,86)
 - Curuftaki K₂O(%)-Günlük Ortalama(%0,84)
 - Curuf Bazıklığı(B/A)- Günlük Ortalama(0,814)
 - Curuf Hacmi(kg/TSM)- Günlük Ortalama(231)

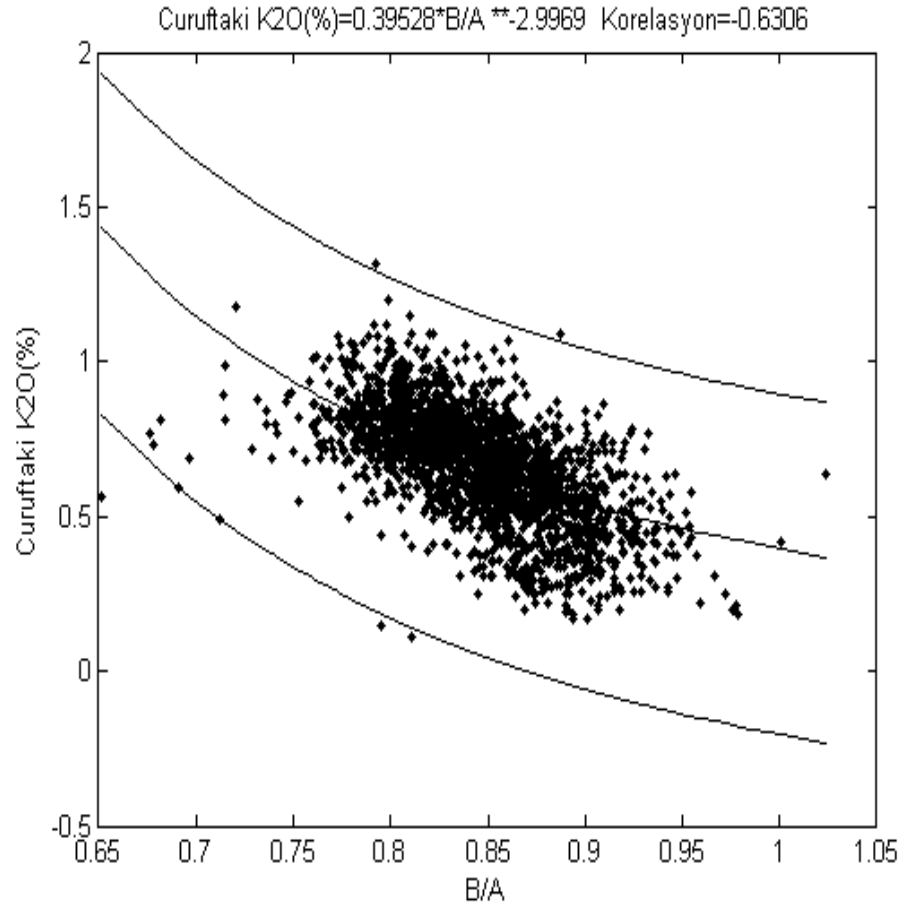
Ereğli Demir Çelik fabrikası işletme sınır değerleri aşağıdaki gibidir:

1. Pikteki kabul edilebilir maksimum %S: %0,08
2. Pikteki kabul edilebilir maksimum %Si:%0,6

3. Curuf bazikliği minimum ve maksimum değerleri:Minimum 0,75-Maksimum 0,85
4. Kabul edilebilir maksimum curuf hacmi(Kg/TSM):240(Kg/TSM)
5. Minimum günlük pik üretim hedefi:4800(Ton/gün)
6. Kabul edilebilir maksimum yakıt tüketimi:Kok tüketimi:395(Kg/TSM),Kömür tüketimi:100(Kg/TSM)

11.2.Yüksek Fırın Datalarının Kullanılması İle Grafiklerin Çizilmesi

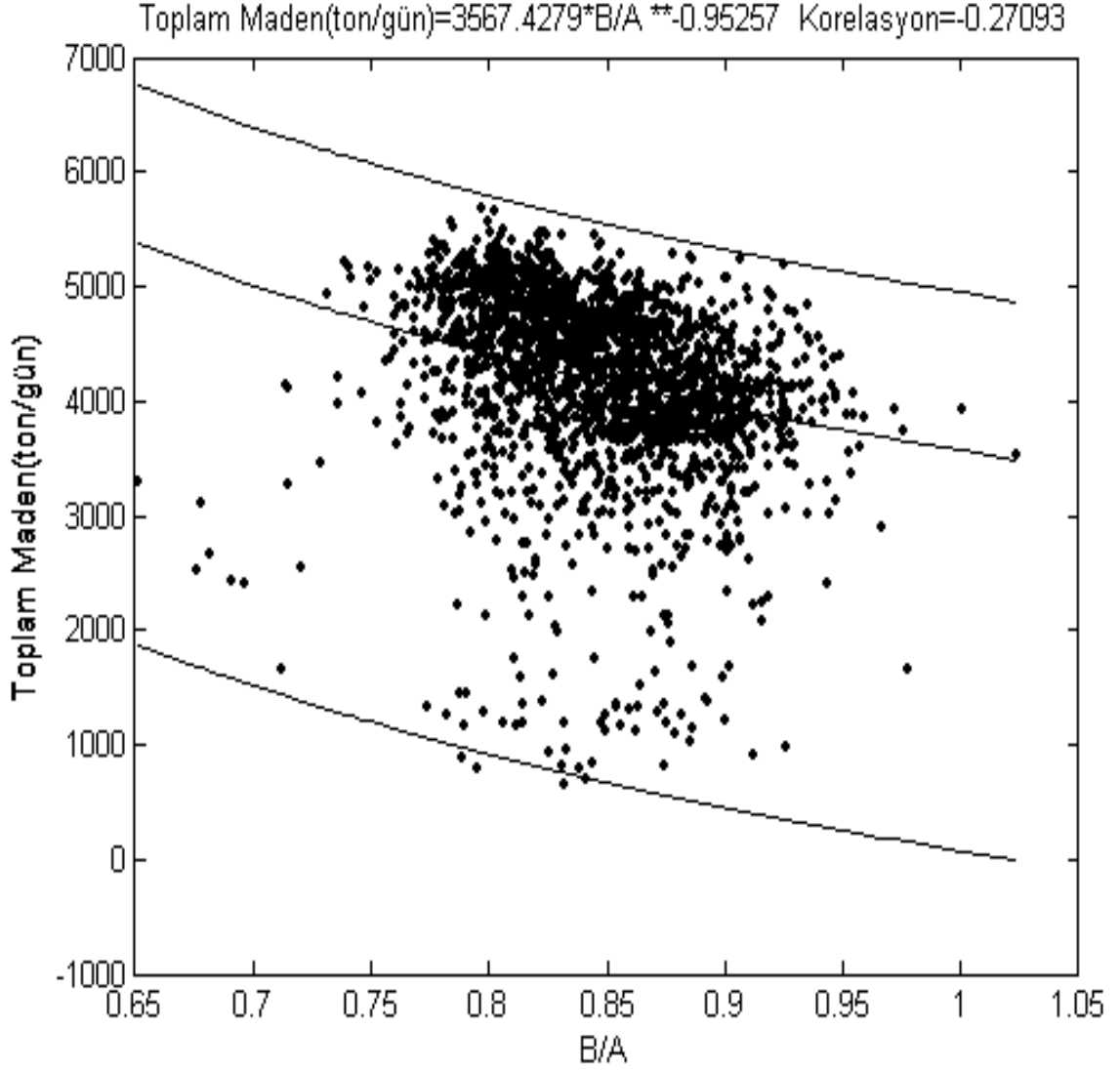
Ereğli Demir-Çelik fabrikasından son altı yılın yüksek fırın dataları alınıp, bu datalarla matlab 6.5 programında grafikler çizilmiştir.Elde edilen sonuçlarla, alkalilerin fırına olan zararlı etkilerinin minimuma indirilmesi için çalışılması gereken fırın içi şartlar yapılan optimizasyon çalışmasıyla belirlenmiştir.Burada çalışılması gerekli fırın içi şartların minimum maliyet getirmesi amaçlanmıştır.Aşağıda bu grafiklere ve grafiklerden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.



Şekil 11.1 Baziklik-curuftaki K₂O değişim grafiği

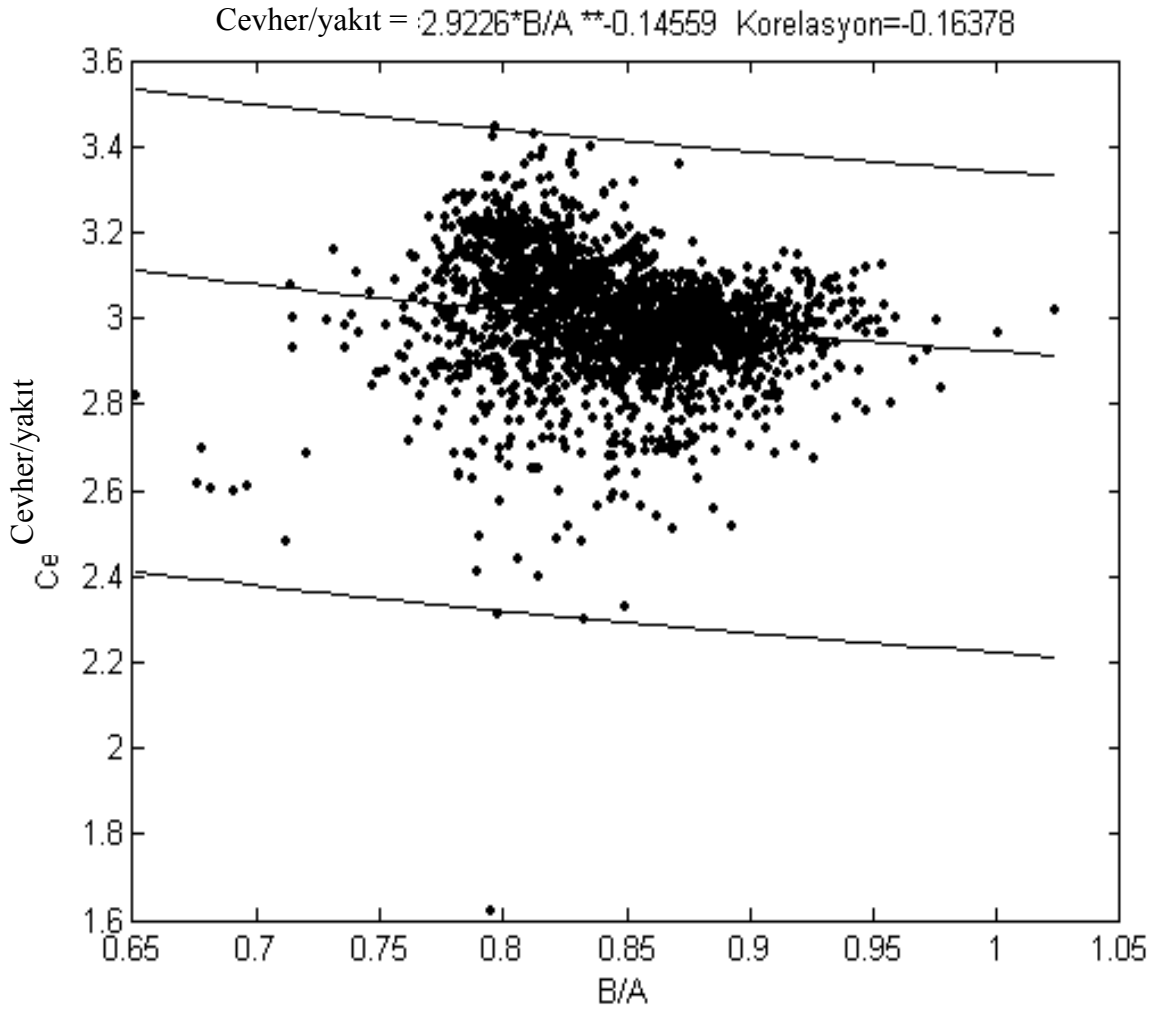
Yukarıdaki grafikte 1999-2004 yılları arası altı yıllık Ereğli Demir Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik ve curuftaki (%)K₂O değerleri kullanılarak Matlab 6.5 programında korelasyon

eğrisi çizilmiştir.Çizilen bu eğriye göre bazıklık düştükçe curufla atılan alkali miktarının arttığı görülmektedir.Alkali atımının artması ile fırındaki refrakter tahribatı azalacağından ve refrakter maliyeti düşeceğinden dolayı bazıklığın düşük olması istenilen bir durumdur.



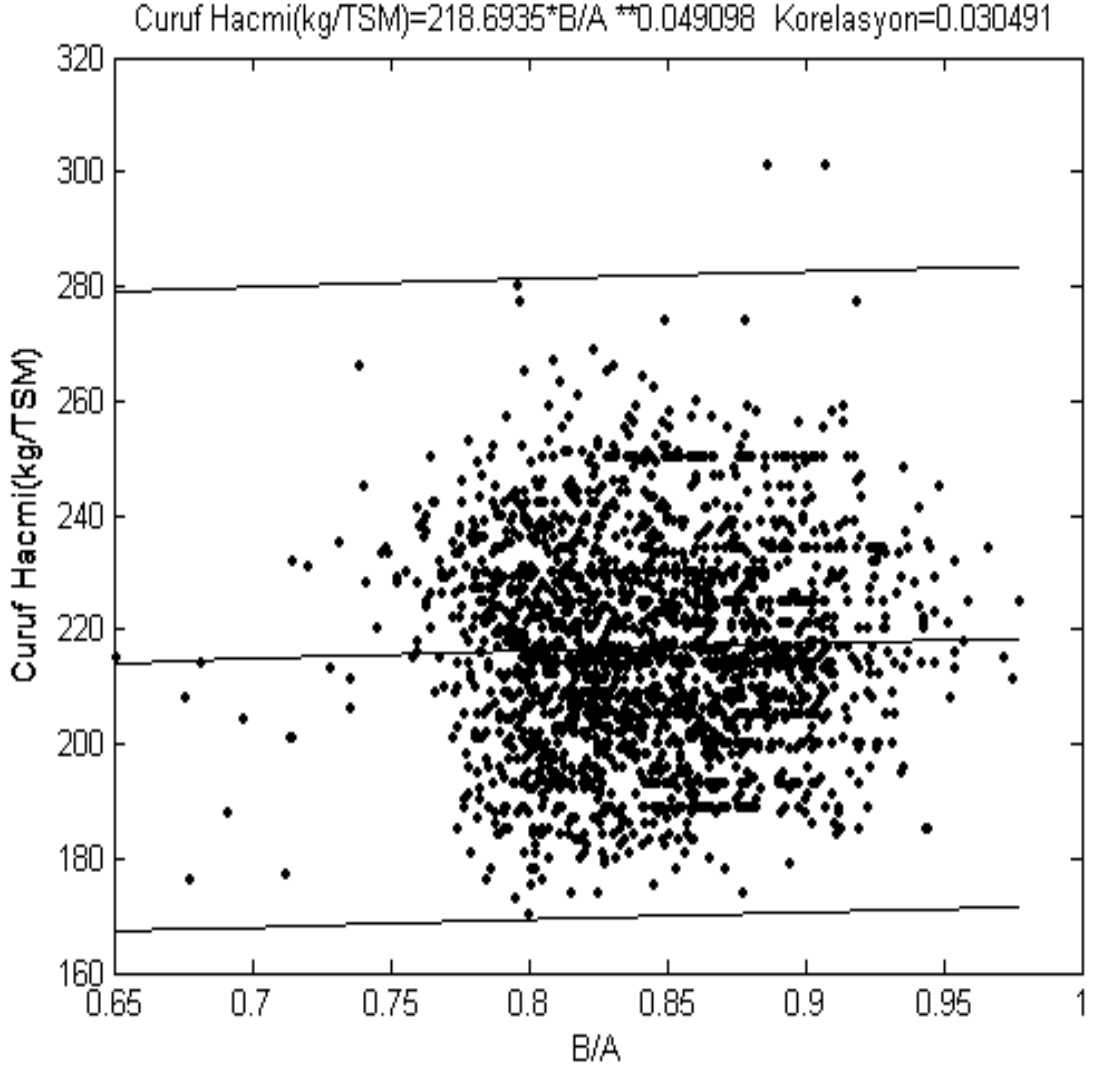
Şekil 11.2 Bazıklık-toplam maden değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın bazıklık ve toplam maden(ton/gün) değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir.Bu eğrideki dataların dağılımı 0,65-1,05 bazıklık ve yaklaşık 1800-6800 ton/gün pik arasındadır.Çizilen bu eğriye göre bazıklık düştükçe üretilen toplam maden(pik) miktarı artmaktadır.Bu da üretim veriminin artması ve pik maliyetinin düşmesini sağlar.Ayrıca bazıklığın düşmesi alkali atımını da arttıracığından refrakter tahribatının azalmasını sağlar.Böylelikle refrakter maliyeti ve pik maliyetinin düşmesiyle daha ekonomik bir üretim sağlanacağından bu grafikte de bazıklığın düşmesinin istenilen bir durum olduğu görülmektedir.



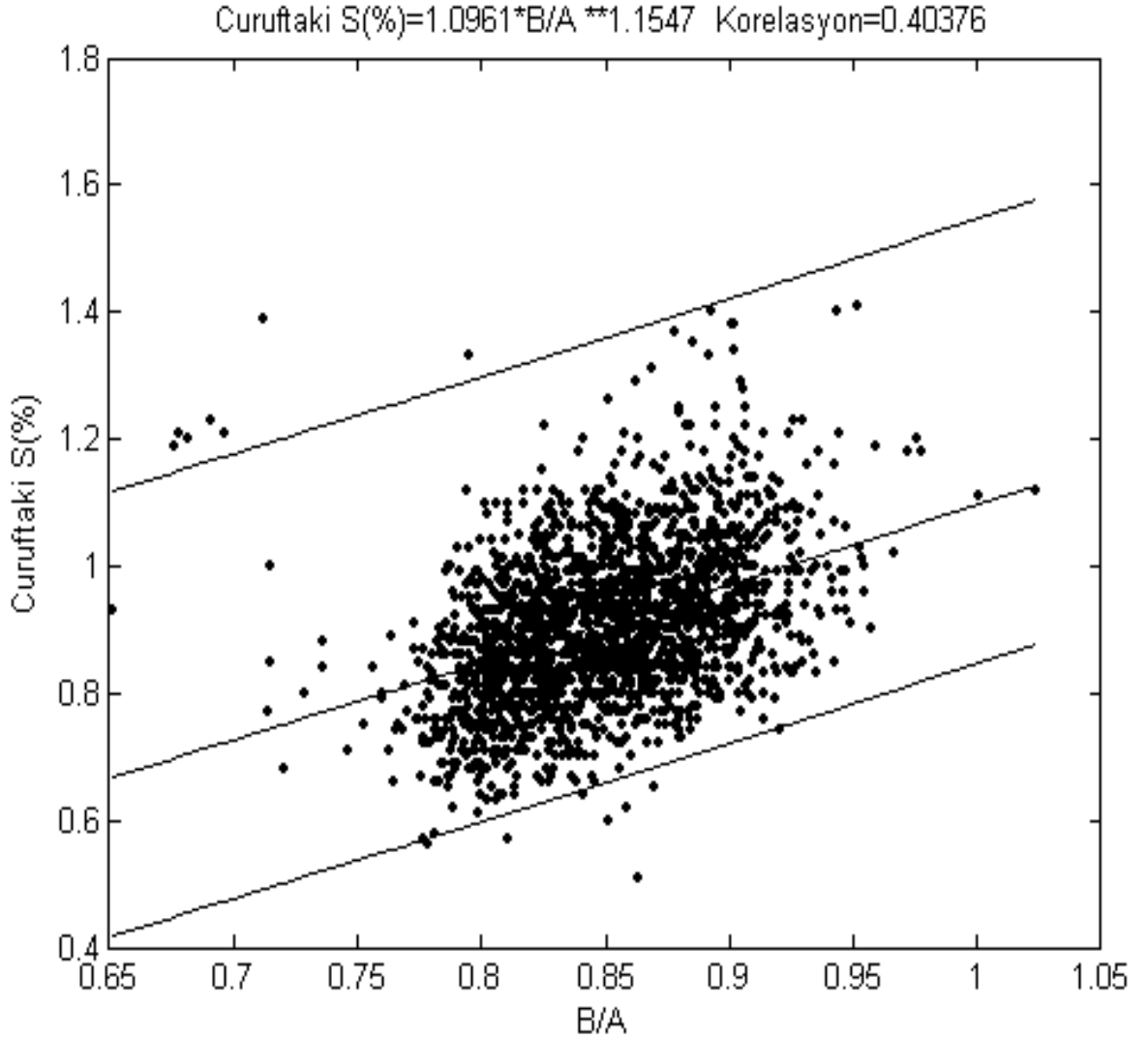
Şekil 11.3 Baziklik-cevher/yakıt değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik ve cevher/yakıt oranı değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu egride dataların dağılımı 0,65-1,05 baziklik ve yaklaşık 2,4-3,5 cevher/yakıt oranı arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe cevher/yakıt oranı artmaktadır. Buradan da baziklik düştükçe harcanan yakıt miktarının azaldığı ve böylelikle yakıta harcanan maliyetin düştüğü görülmektedir. Yani baziklik düştükçe atılan alkali miktarı artmakta, refrakter maliyeti düşmekte, üretilen toplam maden miktarı artmakta ve pik üretim maliyeti düşmekte, harcanan yakıt miktarı azalmakta ve yakıt maliyeti de düşmektedir.



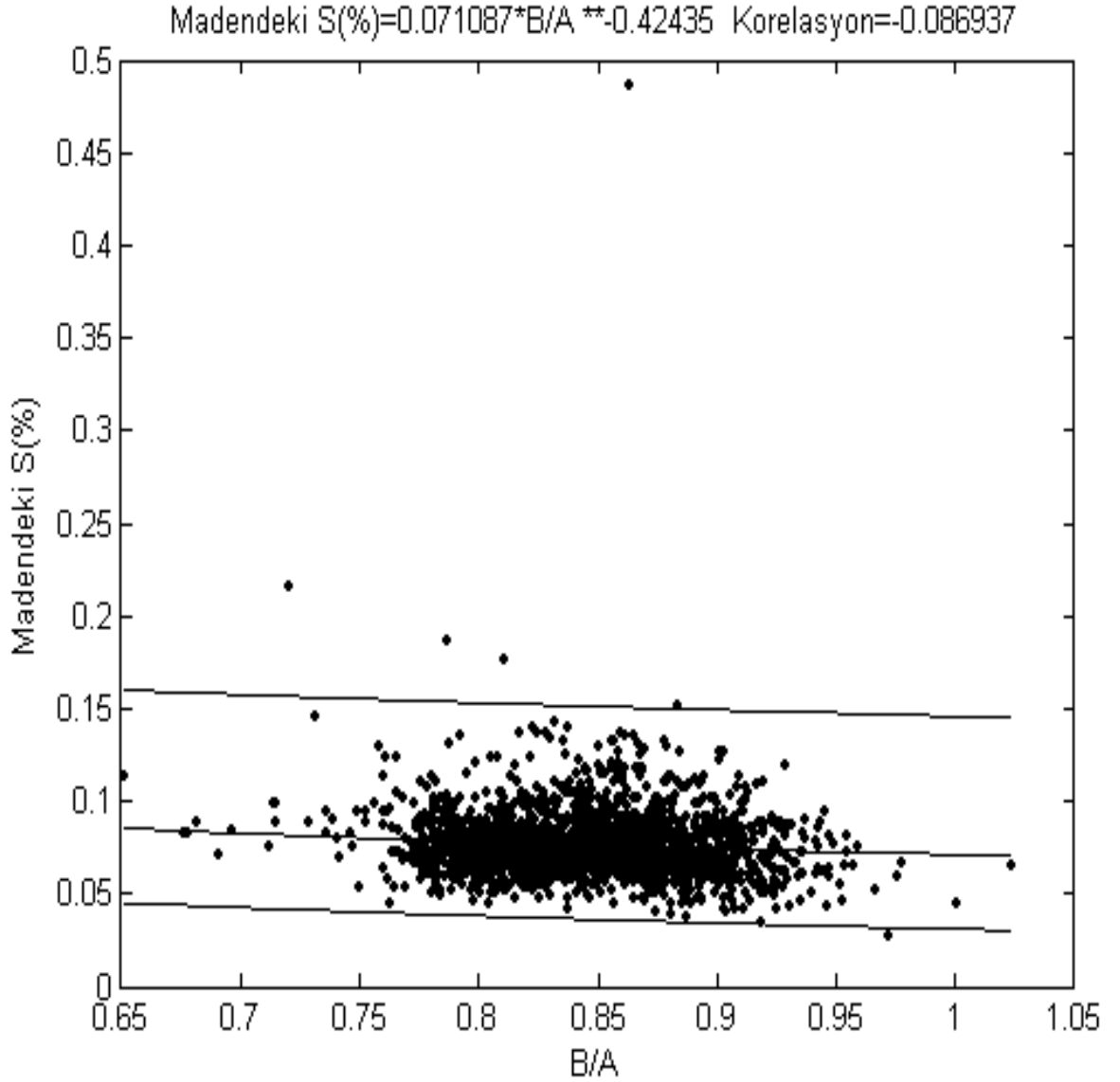
Şekil 11.4 Baziklik-curuf hacmi değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik ve curuf hacmi(kg/TSM) değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir.Bu eğride dataların dağılımı 0,65-1 baziklik ve yaklaşık 165-280(kg/TSM) curuf hacmi arasında değişmektedir.Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe ton sıvı maden başına düşen curuf hacmi azalmaktadır.Bu da üretim veriminin yüksek olduğunu göstermektedir.Yani baziklik düştükçe üretim verimi artmaktadır.



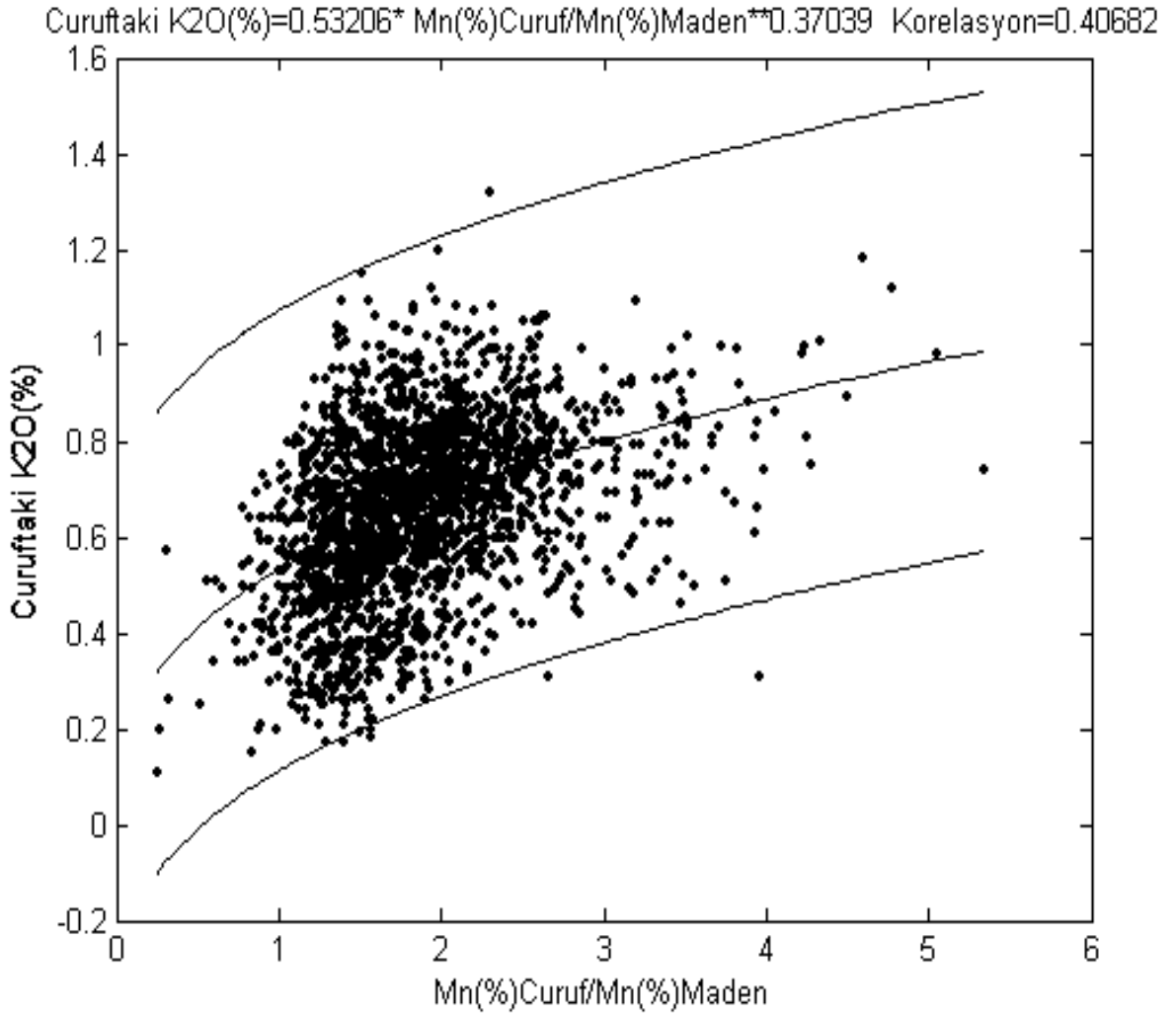
Şekil 11.5 Baziklik-curuftaki S(%) değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik ve curuftaki S(%) değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğride dataların dağılımı 0,65-1,05 baziklik ve yaklaşık 0,45-1,3 curuftaki S(%) arasında değişmektedir.Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe curuftaki kükürt miktarı azalmaktadır.Bu da curufla atılan alkali miktarı arttıkça yine curufla atılan kükürt miktarının azaldığını göstermektedir.Buradan da hem curufla atılan kükürt miktarını kabul edilebilir bir seviyede tutmak hem de gerçekleştirilebilecek maksimum alkali atımını sağlamak için en uygun optimum baziklik değerini belirlemek gerektiği görülmektedir.Bunun yanında baziklik düştükçe üretim veriminin arttığı ve yakıt,refrakter maliyetlerinin düştüğü ve oluşan curuf miktarının azaldığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 11.6 Baziklik-madendeki S(%) değişim grafiği

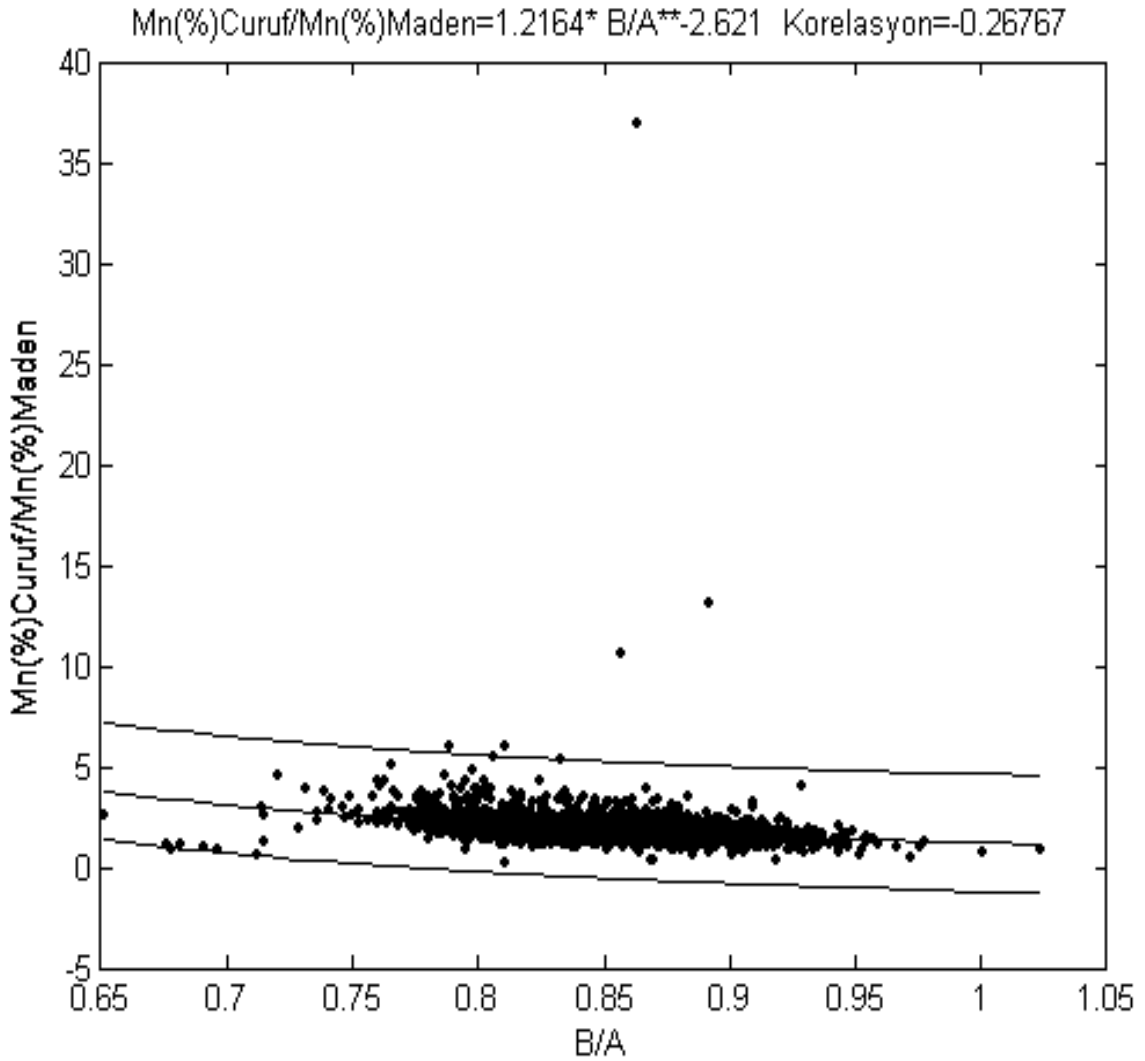
Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik ve madendeki S(%) değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu egride dataların dağılımı 0,65-1,05 baziklik ve yaklaşık 0,05-0,15 madendeki S(%) arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe madendeki(pikteki) S miktarı yükselmekte ve madende oluşan fazla S'ün atılması için yapılan fazladan işlemler ekstra maliyet gerektirmektedir. Ancak bazikliğin yüksek tutulması da alkalilerin refrakter tahribatına sebep olması ve pik üretim miktarının düşmesinden ve bunların getirdikleri maliyetlerin oldukça yüksek olmasından dolayı pek tercih edilmemektedir. Bu nedenle madendeki S'ün kabul edilebilir maksimum sınırlarda kalması şartıyla en uygun optimum baziklik değeri kullanılmalıdır.



Şekil 11.7 Curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn)Mn-curuftaki K₂O değişim grafiği

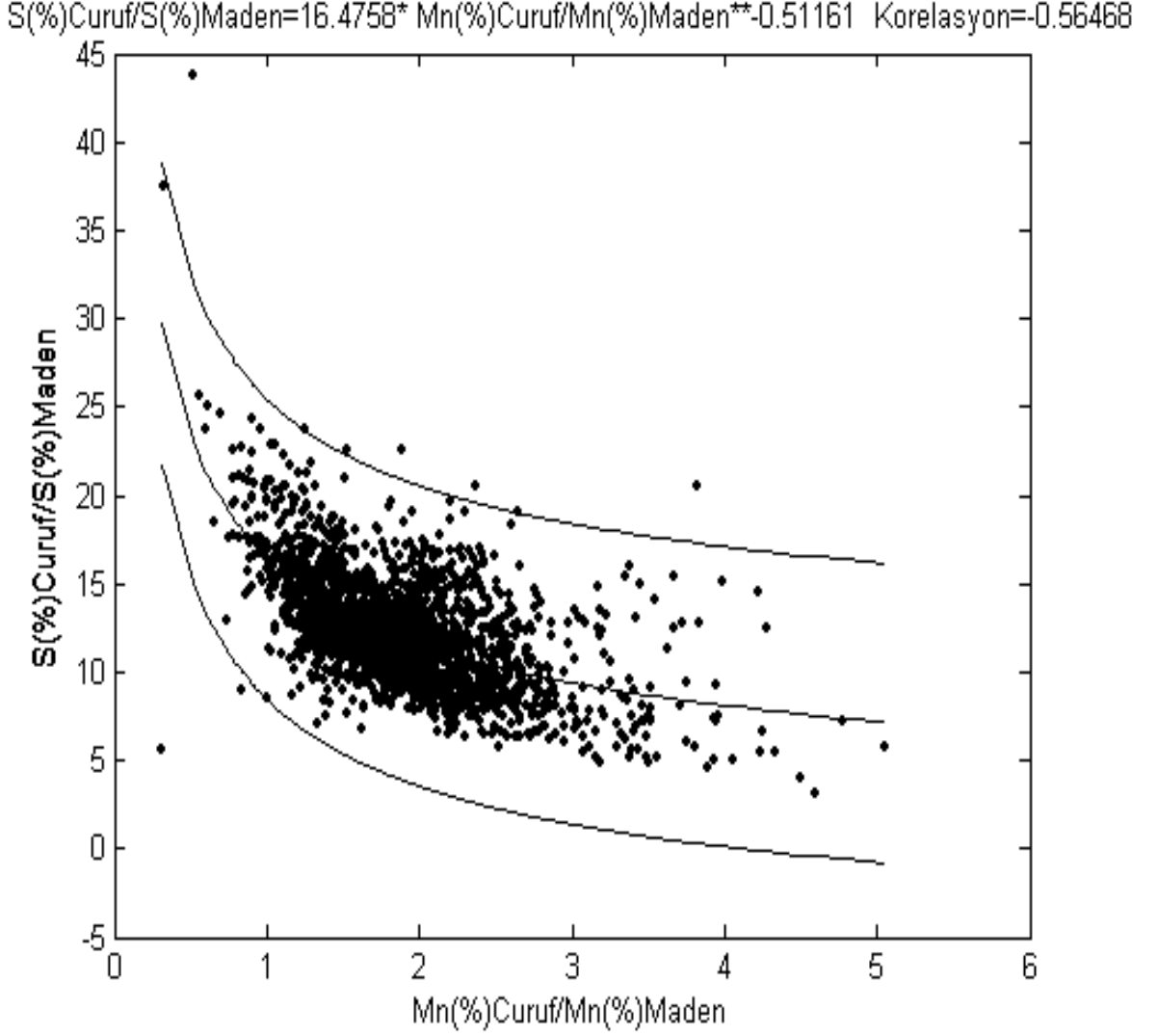
Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın curuftaki (Mn) / madendeki (Mn) ve curuftaki K₂O değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğride dataların dağılımı yaklaşık 0,1-5,5 Curuftaki(%)Mn/Madendeki (Mn) ve 0,1-1,1 curuftaki K₂O arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre curuftaki Mn yüzdesinin madendeki Mn yüzdesine olan oranı arttıkça curufı atılan alkali miktarı artmaktadır. Buradan curufı atılan alkali miktarı arttıkça zaman madendeki Mn miktarının düştüğü görülmektedir. Mn kükürt'ün curufa geçmesini sağladığı için ve kükürt'ü bağlayarak zararlı etkilerini önlediğinden faydalı bir bileşendir bu nedenle de madende belirli bir oranda bulunması istenmektedir. Ancak fırındaki alkali refrakterlere önemli ölçüde zarar verdiğinden ve refrakter maliyetini artırdığından dolayı curufı atılan alkali miktarı mümkün olan en yüksek seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. Bunun sonucunda da madendeki Mn miktarındaki eksikliğin giderilmesi için

ilave Mn takviyesi yapılması gerekmektedir. İlave Mn'ın getirdiği ekstra maliyette göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 11.8 Baziklik- curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn değişim grafiği

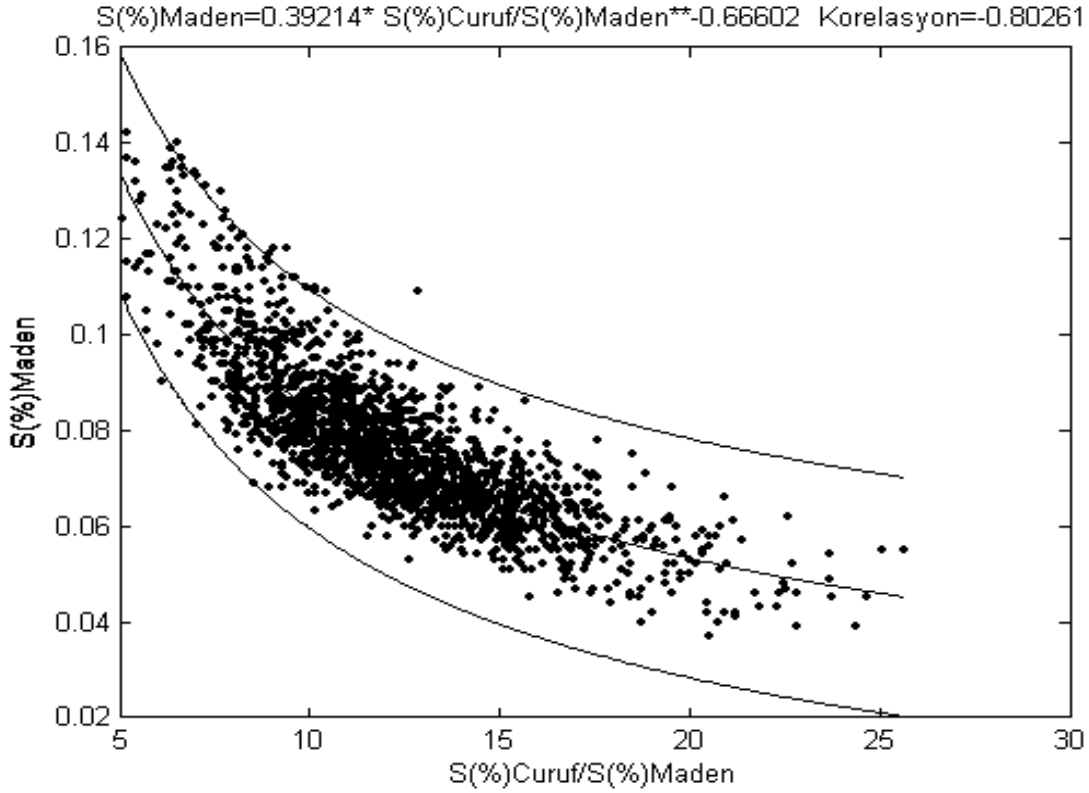
Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik ve curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn) değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu egride dataların dağılımı yaklaşık 0,65-1,05 baziklik ve yaklaşık 1-7 curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn) arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe curuftaki Mn yüzdesinin madendeki Mn yüzdesine olan oranı artmakta ve bu da madendeki Mn yüzdesinin düştüğünü göstermektedir. Ancak alkalilerin curufla atımını arttırmak için baziklik düşük tutulmalıdır. Bu nedenle de madendeki Mn miktarındaki eksikliğin giderilmesi için ilave Mn takviyesi yapılması gerekmektedir.



Şekil 11.9 Curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn) -curuftaki(%)S/madendeki(%)S değişim grafiği

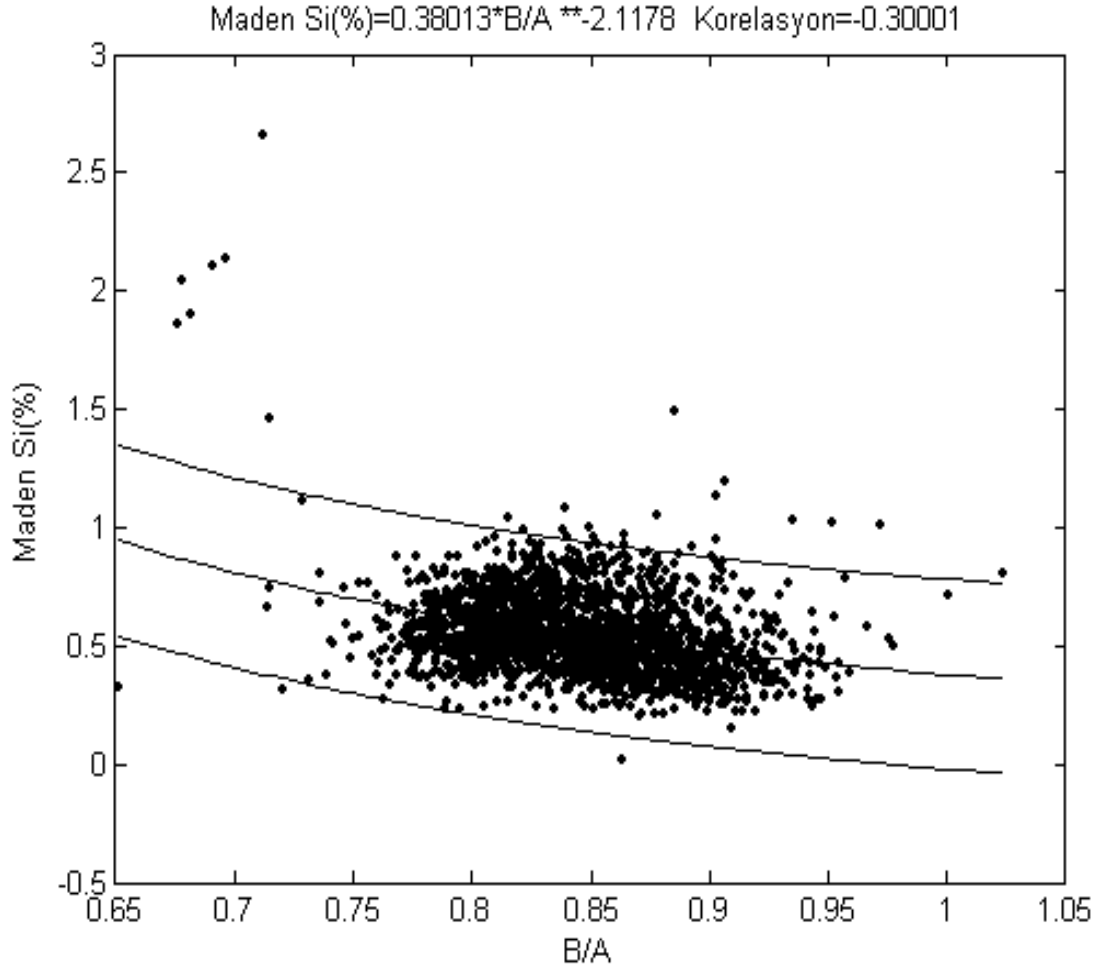
Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın curuftaki(%) Mn/madendeki (Mn) ve curuftaki(%)S/madendeki(%)S değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu egride dataların dağılımı yaklaşık 0,3-5 curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn) ve 9-39 curuftaki(%)S/madendeki(%)S arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn) oranı arttıkça curuftaki(%)S/madendeki(%)S oranı düşmektedir. Burada curuftaki(%)Mn/madendeki (Mn) oranının artması madendeki Mn bulunma oranının düştüğünü göstermektedir. Curuftaki(%)S/madendeki(%)S oranının düşmesi ise madendeki S bulunma oranının arttığını göstermektedir. Yani madendeki Mn bulunma oranı düştükçe madendeki S bulunma oranı artmaktadır. Bu da beklenen bir sonuçtur. Bazı kük düştükçe curufla atılan alkali miktarı artmakta ve refrakter tahribatı maliyeti, yakıt maliyeti, üretim maliyeti düşmekte ve bunun sonucunda madendeki Mn bulunma oranı düşmekte, S bulunma oranı ise artmaktadır. Mn faydalı bir bileşen olduğundan

ilave Mn takviyesi yapılmalı ve S'te zararlı bir bileşen olduğundan sıvı madene ilave S giderme işlemi uygulanmalıdır. Bu ekstra işlemlerin getirdiği maliyetler de göz önünde bulundurulmalı ve buna göre olabilecek en iyi kalitede ürünü en uygun maliyette üretebilmek için optimum baziklik değeri belirlenmelidir.



Şekil 11.10 Curuftaki(%) S/madendeki(%)S-madendeki(%)S değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın curuftaki (%)S/ madendeki (%)S ve madendeki (%)S değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğride dataların dağılımı yaklaşık 5-25 curuftaki (%)S/madendeki (%)S ve 0,11-0,14 madendeki (%)S arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre curuftaki (%)S/madendeki (%)S oranı azaldıkça madendeki (%)S oranı artmaktadır. Buradan da madendeki kükürt oranı arttıkça curuftaki kükürt oranının düştüğü görülmektedir. Baziklik düştükçe alkali atımı artmakta ve curuftaki kükürt oranı düşmekte, madendeki kükürt miktarı ise artmaktadır. S'te zararlı bir bileşen olduğundan sıvı madene ilave S giderme işlemi uygulanmalıdır. Bu ekstra işlemlerin getirdiği maliyetler de göz önünde bulundurulmalı ve buna göre olabilecek en iyi kalitede ürünü en uygun maliyette üretebilmek için optimum baziklik değeri belirlenmelidir.



Şekil 11.11 Baziklik-madendeki (%) Si değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik-madendeki (%) Si değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğride dataların dağılımı yaklaşık 0,65-1,05 baziklik ve 0,5-1,5 madendeki (%)Si arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe madendeki Si miktarı artmaktadır.Bazikliğin düşük olması alkali atımının artması ve refrakter tahribatı maliyetinin düşürülmesi açısından istenilen bir durumdur.Si ise zararlı bir bileşen olduğundan madende yüksek miktarda olması istenmez.Bu nedenle madendeki fazla silisin giderilmesi için harici silis giderme işlemleri uygulanır.Buda yüksek fırın işletmeciliğinde ekstra maliyet artışı5na sebep olmaktadır.Buna göre olabilecek en iyi kalitede ürünü en uygun maliyette üretebilmek için optimum baziklik değeri belirlenmelidir.

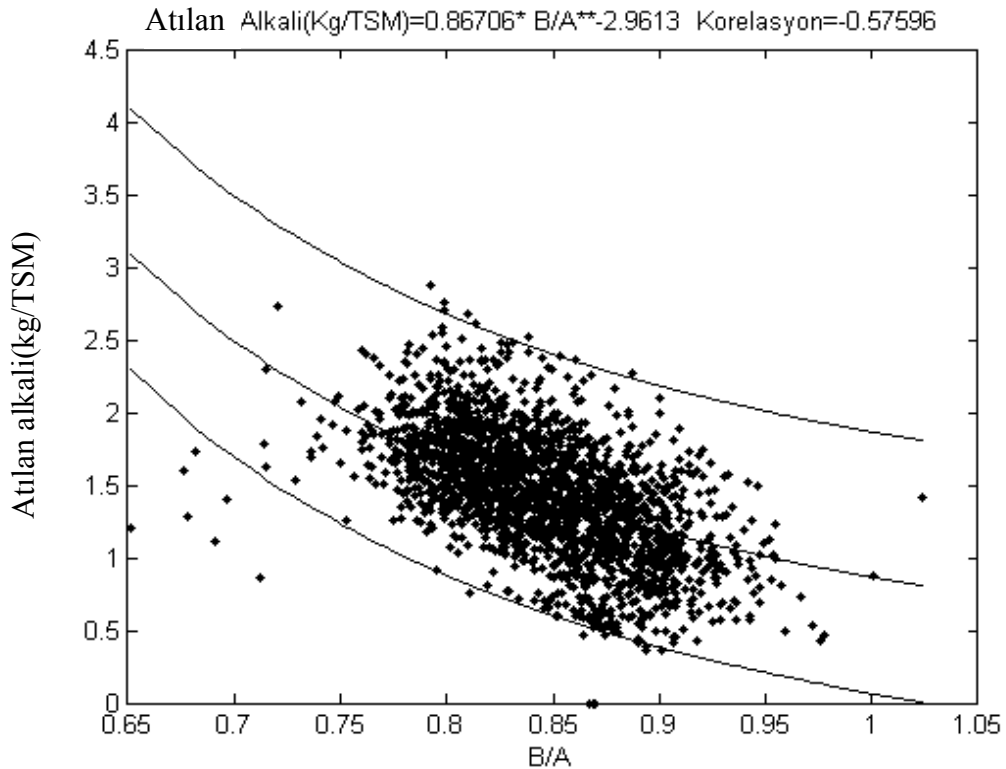
Ekonomik datalarla çizilen bu grafiklere göre:

Bazırlık düştükçe;

- Refrakter tahribatı maliyeti,
- Yakıt maliyeti,
- Pik üretim maliyeti, düşmekte;
- Piktaki fazla Si giderme maliyeti
- Piktaki fazla S giderme maliyeti
- Pik'e ilave edilmesi gereken Mn maliyeti,
- Çakmaktaşı maliyeti, artmaktadır.

11.3. Yüksek Fırın Matematiksel Bağıntılarının Kullanılması İle Optimum İşletme Şartlarının Araştırılması

Ereğli Demir Çelik fabrikası işletme sınırları değerleri alınmış ve yüksek fırın 2 datalarıyla matematiksel analiz yapılarak aşağıdaki grafikler çizilmiştir. Bu grafiklere göre Erdemir işletme sınırları değerlerine uyarak alkali gideriminin yapılacağı en uygun üretim şartları belirlenmiştir.



Şekil 11.12 Bazırlık-atılan alkali değişim grafiğı

Yukarıdaki grafikte Ereğli Demir-Çelik fabrikası yüksek fırın baziklik-atılan alkali(kg/TSM) değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğride dataların dağılımı yaklaşık 0,65-1,05 baziklik ve 0,5-3 atılan alkali(kg/TSM) arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe ton sıvı maden başına atılan alkali miktarı artmaktadır.Yukarıdaki grafiğin denklemi:

$$\text{Atılan Alkali(kg/TSM)}=0,86706*B/A^{**}-2,9613\text{'t}{\ddot{u}}r.$$

Bu denklem kullanılarak yukarıdaki korelasyon eğrisine göre, Erdemir kabul edilebilir minimum ve maksimum baziklik değerlerine karşılık gelen atılan alkali miktarı(kg/TSM) belirlenmiştir.

Minimum curuf bazikliğinde atılan alkali miktarı:

$$\text{Minimum curuf bazikliği:0,75}$$

Korelasyon denklemi:

$$\text{Atılan Alkali(Kg/TSM)}=0,86706*B/A^{**}-2,9613$$

$$\text{Atılan Alkali(Kg/TSM)}=0,86706*0,75^{-2,9613}$$

$$\text{Atılan Alkali(Kg/TSM)}=2,03\text{'t}{\ddot{u}}r.$$

Maksimum curuf bazikliğinde atılan alkali miktarı:

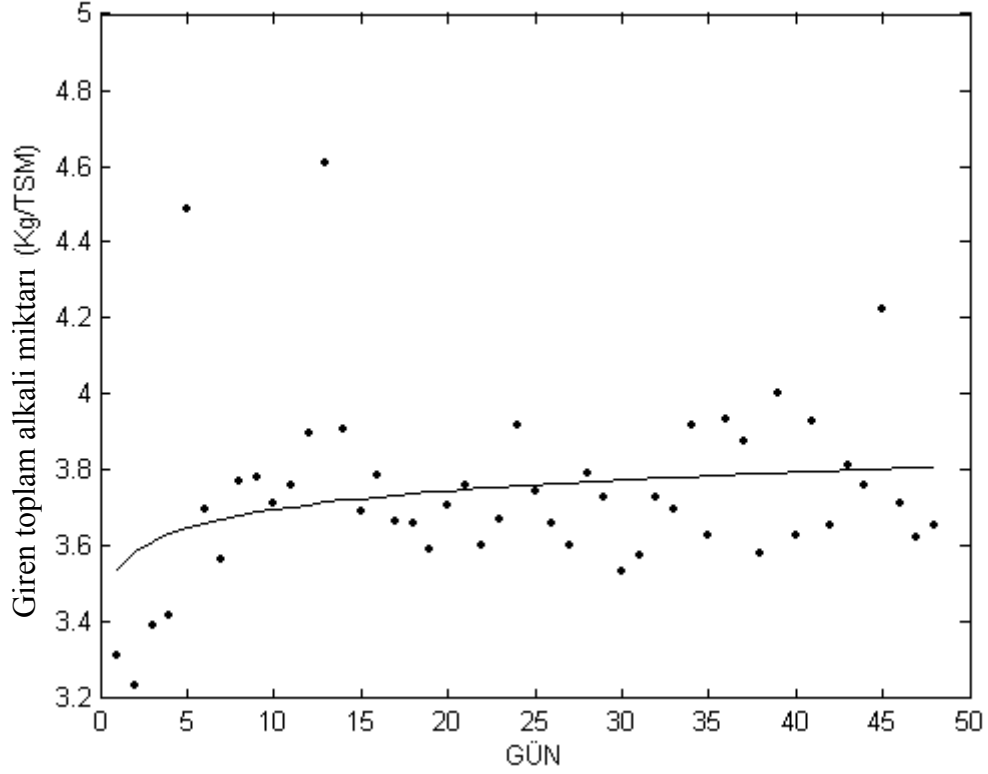
$$\text{Maksimum curuf bazikliği:0,85}$$

$$\text{Atılan Alkali(Kg/TSM)}=0,86706*0,85^{-2,9613}$$

$$\text{Atılan Alkali(Kg/TSM)}=1,40\text{'t}{\ddot{u}}r.$$

Denklem sonuçlarından da görüldüğü gibi baziklik düştükçe atılan alkali miktarı artmaktadır.Kabul edilebilir maksimum baziklik(0,85) değerinden kabul edilebilir minimum baziklik(0,75) değerine doğru gidildikçe atılan alkali miktarı artmaktadır.Erdemir işletme sınırlamalarına göre kabul edilebilir minimum baziklik değerinde ton sıvı maden başına atılan alkali miktarının maksimum olduğu görülmektedir.Kabul edilebilir maksimum baziklik değerinde ise atılan alkali miktarının oldukça düşük olduğu görülmektedir.Yani alkali atımının arttırılması için işletme sınırlarına göre minimum olan(0,75) baziklik değerlerinde çalışılmasının daha uygun olacağı düşünülebilir.

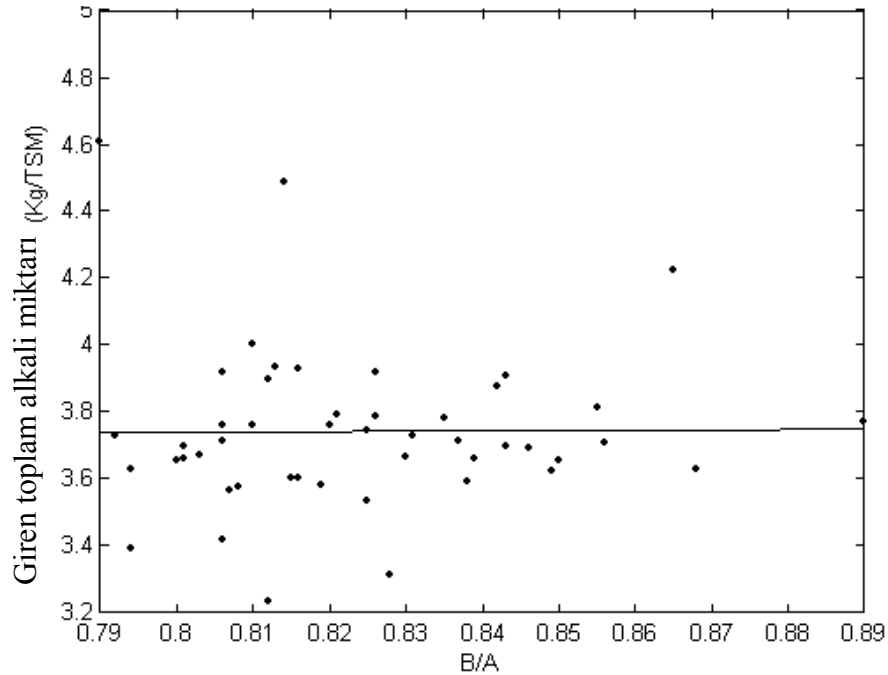
Giren toplam alkali miktarı(Kg/TSM)=3.5404*GÜN **0.018861 Korelasyon=0.13819



Şekil 11.13 Giren alkalinin güne bağlı değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte ton sıvı maden başına günlük ortalama olarak sisteme giren alkali miktarı çizilen korelasyon eğrisiyle belirlenmiştir. Grafikten görüldüğü gibi ton sıvı maden başına giren alkali miktarı 3,2-4,6 kg arasında değişmektedir. Ortalama olarakta 3,75 kg civarındadır.

Giren toplam alkali miktarı(Kg/TSM)=3.758*B/A **0.02188 Korelasyon=0.011125



Şekil 11.14 Baziklik-giren alkali değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte 0,79-0,85 baziklik değerlerinde ton sıvı maden başına günlük ortalama olarak sisteme giren alkali miktarı çizilen korelasyon eğrisiyle belirlenmiştir. Bu grafikten de giren alkali miktarının ortalama olarak günlük 3,75 kg/TSM olduğu görülmektedir. Yukarıdaki grafiğin denklemi:

$$\text{Giren alkali (Kg/TSM)} = 3,758 \cdot B/A^{**0,02188}$$

Minimum baziklik değerinde sisteme giren alkali miktarı:

$$\text{Giren alkali (Kg/TSM)} = 3,758 \cdot 0,75^{0,02188}$$

$$\text{Giren alkali (Kg/TSM)} = 3,734$$

İşletme sınırlamalarına göre kabul edilebilir minimum ve maksimum baziklik değerlerinde atılan alkali miktarı ve atılan alkalinin giren alkalinin ne kadarına karşılık geldiği grafiklere ait korelasyon denklemleriyle hesaplanmıştır.

Minimum curuf bazikliğinde atılan alkali miktarı:

$$\text{Minimum curuf bazikliği: } 0,75$$

Korelasyon denklemi:

$$\text{Atılan Alkali (Kg/TSM)} = 0,86706 \cdot B/A^{*-2,9613}$$

$$\text{Atılan Alkali (Kg/TSM)} = 0,86706 \cdot 0,75^{-2,9613}$$

$$\text{Atılan Alkali (Kg/TSM)} = 2,03 \text{ 'tür.}$$

Minimum curuf bazikliğinde sisteme giren alkali miktarı:

$$\text{Minimum curuf bazikliği: } 0,75$$

Minimum baziklik değerinde sisteme giren alkali miktarı:

$$\text{Giren alkali (Kg/TSM)} = 3,758 \cdot 0,75^{0,02188}$$

$$\text{Giren alkali (Kg/TSM)} = 3,734$$

$$\text{Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi: } (2,03 \cdot 100) / 3,734 = 54,36 \text{ 'dır.}$$

Maksimum curuf bazikliğinde atılan alkali miktarı:

$$\text{Maksimum curuf bazikliği: } 0,85$$

Korelasyon denklemi:

$$\text{Atılan Alkali (Kg/TSM)} = 0,86706 \cdot 0,85^{-2,9613}$$

$$\text{Atılan Alkali (Kg/TSM)} = 1,40 \text{ 'tır.}$$

Maksimum curuf bazikliğinde sisteme giren alkali miktarı:

Maksimum curuf bazikliği:0,85

Maksimum baziklik değerinde sisteme giren alkali miktarı:

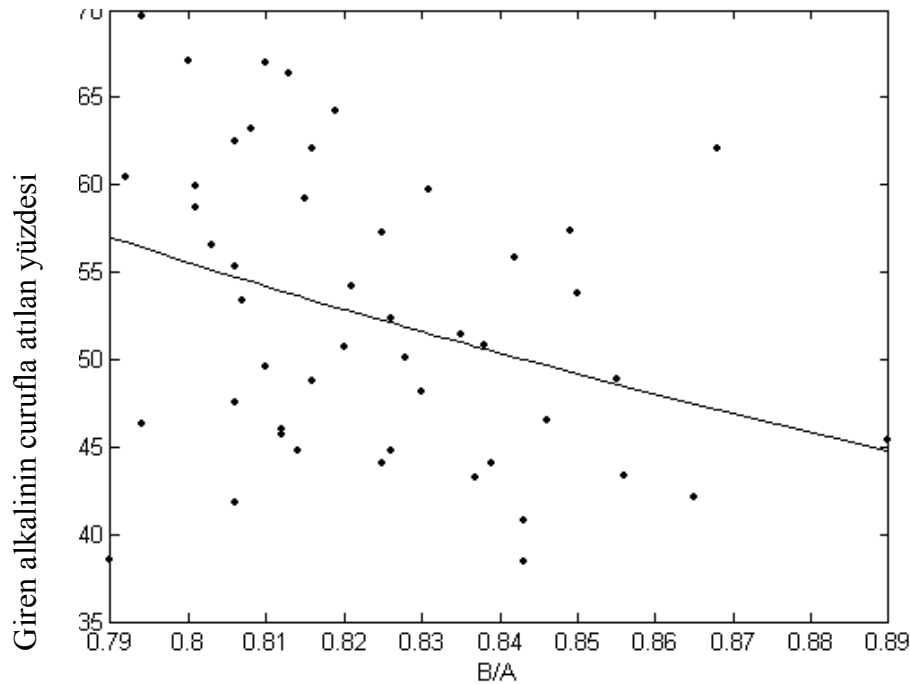
$$\text{Giren alkali(Kg/TSM)} = 3,758 * 0,85^{0,02188}$$

Giren alkali(Kg/TSM)=3,744'tür.

Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi: $(1,40 * 100) / 3,744 = 37,39$ 'dur.

Yukarıdaki grafiğe ait korelasyon denklemiyle yapılan hesaplamalara göre kabul edilebilir maksimum baziklik(0,85) değerinden kabul edilebilir minimum baziklik(0,75) değerine doğru gidildikçe atılan alkali miktarı ve fırına giren alkalinin curufla atılan yüzdesi artmaktadır. Erdemir işletme sınırlamalarına göre kabul edilebilir minimum baziklik(0,75) değerinde atılan alkali miktarının ve giren alkalinin curufla atılan yüzdesinin en yüksek olduğu görülmektedir. Minimum baziklik değerinde atılan alkali miktarı 2,03(kg/TSM) ve giren alkalinin curufla atılan yüzdesi %54,36'tır. Kabul edilebilir maksimum baziklik değerinde ise bu değerlerin çok daha düşük olduğu görülmektedir. Maksimum baziklik değerinde atılan alkali miktarı 1,40(kg/TSM) ve giren alkalinin curufla atılan yüzdesi ise %37,39'tür. Buradan da alkali atımının artırılması için işletme sınırlarına göre minimum olan(0,75) baziklik değerlerinde çalışılmasının daha uygun olacağı düşünülebilir.

Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi $y = 35.4396 * B/A^{**2.0154}$ Korelasyon=-0.3254



Şekil 11.15 Baziklik-giren alkalinin curufla atılan yüzdesi değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte baziklik-atılan alkali ve baziklik-giren alkali değişim grafiğinde daha önceden belirlendiği belirlendiği gibi baziklik düştükçe giren alkalinin curufla atılan yüzde miktarında artış sağlandığı görülmektedir.

Şekil 11.6 baziklik-madendeki S(%) değişim grafiğindeki korelasyon denkleminde yararlanılarak Erdemir işletme sınırlarına göre pikteki kabul edilebilir maksimum S değerlerine karşılık gelen baziklik değeri belirlenmiştir.

Pikteki kabul edilebilir maksimum %S: %0,08

Korelasyon Denklemi:

$$\text{Madendeki } S(\%) = 0,071087 \cdot B/A^{**} - 0,42435$$

$$0,08 = 0,071087 \cdot B/A^{-0,42435}$$

$$B/A = 0,7558 \text{ 'dir.}$$

Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe madendeki(pikteki) S miktarı yükselmekte ve madende oluşan fazla S'ün atılması için yapılan fazladan işlemler ekstra maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle işletme sınırlarına göre kabul edilebilir maksimum S değerine karşılık gelen baziklik değeri bulunarak sağlanabilecek maksimum alkali atımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle kabul edilebilir S sınırları içerisinde kalarak ekstra S giderilme işlemi maliyetinden de tasarruf sağlanmaktadır. Bu denklemden görüldüğü gibi 0,7558 gibi oldukça düşük baziklik değerinde çalışıldığı zaman pikteki S kabul edilebilir maksimum sınırdan kalmakta ve daha önceki denklemlerden de görüldüğü gibi atılan alkali maksimuma yaklaşmaktadır.

Şekil 11.11 baziklik-madendeki (%) Si grafiğindeki korelasyon denkleminde yararlanılarak Erdemir işletme sınırlarına göre pikteki kabul edilebilir maksimum Si değerlerine karşılık gelen baziklik değeri belirlenmiştir.

Pikteki kabul edilebilir maksimum %Si: %0,6

Korelasyon Denklemi:

$$\text{Maden Si}(\%) = 0,38013 \cdot B/A^{**} - 2,1178$$

$$0,6 = 0,38013 \cdot B/A^{-2,1178}$$

$$B/A = 0,806 \text{ 'dır.}$$

Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe madendeki Si miktarı artmaktadır. Bu nedenle madendeki fazla silisin giderilmesi için harici silis giderme işlemleri uygulanır. Buda yüksek

fırın işletmeciliğinde ekstra maliyet artışına sebep olmaktadır. Bu nedenle işletme sınırlarına göre kabul edilebilir maksimum S değerine karşılık gelen baziklik değeri bulunarak sağlanabilecek maksimum alkali atımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle kabul edilebilir Si sınırları içerisinde kalarak ekstra Si giderilme işlemi maliyetinden de tasarruf sağlanmaktadır. Bu denklemden görüldüğü gibi 0,806 baziklik değerinde çalışıldığı zaman pikteki Si kabul edilebilir maksimum sınırdadır ancak alkali atımını oldukça yüksek miktarda sağlamak da amaçlandığından pikte kabul edilebilir maksimum S'e karşılık gelen baziklik değerinde iken pikteki Si miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Maden Si(\%)} = 0,38013 * B/A^{** -2,1178}$$

$$\text{Maden Si(\%)} = 0,38013 * 0,7558^{-2,1178}$$

$$\text{Maden Si(\%)} = 0,687 \text{ dir.}$$

Bu denklemden görüldüğü gibi baziklik minimum sınırdayken pikteki Si(%) 0,687 dir ve bu değer kabul edilebilir işletme sınırının çok az üzerindedir. Bu nedenle alkali atımının daha fazla olması ve yüksek alkalili çalışma şartlarındaki ekstra maliyetlerin düşürülmesi isteniyorsa (refrakter maliyeti, yakıt maliyeti vs.) pikteki bu az miktarda Si fazlalığı harici silis giderme işlemi uygulanarak giderilip, baziklik 0,806'dan 0,7558'lere indirilebilir.

Şekil 11.4 Baziklik-curuf hacmi değişim grafiğinde baziklik düştükçe curuf hacminin azaldığı görülmektedir. Bu grafikte işletme sınırlamalarına göre kabul edilebilir maksimum ve minimum baziklik değerine karşılık gelen curuf hacimleri korelasyon denkleminde yararlanılarak belirlenmiştir.

$$\text{Kabul edilebilir maksimum curuf hacmi (Kg/TSM): } 240 \text{ (Kg/TSM)}$$

Korelasyon denklemi:

$$\text{Curuf Hacmi (kg/TSM)} = 218,6935 * B/A^{** 0,049098}$$

$$\text{Minimum curuf bazikliği: } 0,7558$$

$$\text{Curuf Hacmi (kg/TSM)} = 218,6935 * 0,7558^{0,049098}$$

$$\text{Curuf Hacmi (kg/TSM)} = 215,70 \text{ dir.}$$

$$\text{Maksimum curuf bazikliği: } 0,85$$

$$\text{Curuf Hacmi (kg/TSM)} = 218,6935 * 0,85^{0,049098}$$

$$\text{Curuf Hacmi (kg/TSM)} = 216,95 \text{ tir.}$$

Bu denklemlerden de görüldüğü gibi minimum curuf bazikliğinde(0,75) çalışıldığında curuf hacmi 215,70(kg/TSM) olup kabul edilebilir sınır olan 240(kg/TSM)'nin çok altında kalmaktadır. Baziklik arttırıldığında ise curuf hacmi artmaktadır. Bu nedenle minimum baziklik değerlerinde(0,7558) çalışılarak curuf hacminin düşürülmesiyle üretim veriminin arttığı da görülmektedir.

Şekil 11.2 Baziklik-toplam maden değişim grafiğinde baziklik düştükçe üretilen pik miktarının arttığı görülmektedir.

Bu grafikte işletme sınırlamalarına göre kabul edilebilir maksimum ve minimum baziklik değerine(S için) karşılık gelen üretilen toplam maden(pik) miktarı korelasyon denkleminde yararlanılarak belirlenmiştir.

Minimum günlük pik üretim hedefi:4800(ton/gün)

Korelasyon denklemi:

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 3567,4279 * B/A^{** -0,95257}$$

Minimum curuf bazikliği:0,7558

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 3567,4279 * 0,7558^{-0,95257}$$

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 4657$$

Maksimum curuf bazikliği:0,85

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 3567,4279 * 0,85^{-0,95257}$$

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 4164,47$$

Kabul edilebilir maksimum Si sınırına karşılık gelen baziklik değeri:0,806

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 3567,4279 * 0,806^{-0,95257}$$

$$\text{Toplam Maden(ton/gün)} = 4381,04$$

Yukarıdaki denklemlerden de görüldüğü baziklik değeri minimuma yaklaştığında(0,7558) üretilen toplam pik miktarı yükselmekte ve hedeflenen miktara yaklaşmaktadır. Bu nedenle pikteki fazladan silisin giderilmesi göz önüne alınarak, kabul edilebilir maksimum S sınırına karşılık gelen 0,7558 baziklik değeri kullanılarak maksimum alkali atımı sağlanabilir. Ayrıca bu değerde curuf hacmi maksimum sınırın çok altında olup üretim verimi artmakta ve S istenilen maksimum sınırlar içerisinde kalmaktadır. Böylelikle harici S giderilme işlemine gerek olmamaktadır.

Şekil 11.3 Baziklik-cevher/yakıt değişim grafiğinde baziklik düştükçe harcanan yakıt miktarı düşmektedir. Grafiğe ait korelasyon denkleminde yararlanılarak maksimum ve minimum baziklik değerlerinde harcanan yakıt miktarları belirlenmiştir.

Kabul edilebilir maksimum yakıt tüketimi: Kok tüketimi: 395 (Kg/TSM), Kömür tüketimi: 100 (Kg/TSM)

Korelasyon Denklemi:

$$\text{Cevher/Yakıt} = 2,9226 * B/A^{**} - 0,14559$$

$$\text{Cevher/Yakıt} = 2,9226 * 0,75^{-0,14559}$$

$$\text{Cevher/Yakıt} = 3,04$$

Erdemir datalarına göre cevher/Yakıt oranı: 3,04 olduğunda yaklaşık

$$\text{Kok tüketimi: } 425 \text{ (Kg/TSM)}$$

Kömür Tüketimi: 76,09 (Kg/TSM)'dir. Bu değerlerde toplam yakıt tüketim sınırlarını çok az geçmektedir.

$$\text{Cevher/Yakıt} = 2,9226 * 0,7558^{-0,14559}$$

$$\text{Cevher/Yakıt} = 3,04$$

$$\text{Cevher/Yakıt} = 2,9226 * 0,85^{-0,14559}$$

$$\text{Cevher/Yakıt} = 3,01$$

Yukarıdaki denklemlerden görüldüğü gibi bazikliğin en düşüğe yakın olduğu 0,7558 değerinde harcanan yakıt miktarı en düşüktür.

12.TARTIŞMA

Erdemir 2.yüksek fırında kullanılan hammaddelerin içerdikleri alkali oranları aşağıdaki gibidir:

- Koktaki % alkali: %0,4
- Kömürdeki %alkali: %0,198
- Sinterdeki %alkali: %0,186
- Peletteki % alkali: %0,0509
- Cevherdeki % alkali: %0,0663

Yüksek fırına yukarıdaki hammaddelerle giren alkalilerin miktarları, curuftaki alkali miktarı ve giren toplam alkalinin curufla atılan yüzdesi hesaplanmıştır. Aşağıdaki tablolarda 2004 yılı

ocak ve şubat ayının bazı günleri için bu hesaplamaların sonuçları örnek olarak gösterilmiştir. Erdemir 2. yüksek fırın (1-4) ocak 2004 yılı tablosu aşağıdaki gibidir:

Çizelge 12.1 Erdemir 2. yüksek fırın (1-4) ocak 2004 yılı tablosu

2004 Yılı	1 Ocak	2 Ocak	3 Ocak	4 Ocak
Toplam koktaki K ₂ O(ton)	7,7892	7,2048	8,1152	8,074
Toplam kömürdeki K ₂ O(ton)	1,0781	0,9997	1,1992	1,1012
Toplam sinterdeki K ₂ O(ton)	5,1152	4,8451	5,3575	5,236
Toplam peletteki K ₂ O(ton)	2,1834	2,0856	2,3039	2,251
Toplam cevherdeki K ₂ O(ton)	0,4936	0,4726	0,5205	0,508
Toplam mangandaki K ₂ O(ton)	0	0	0	0
Curuf hacmi(kg/TSM)	213	208	204	207
Toplam sıcak maden için oluşan curuf hacmi(ton)	1070,75	1003,39	1052,64	1039,14
Curuftaki alkali miktarı(ton)	8,3519	7,1241	8,105	7,17
Giren toplam alkali miktarı(ton)	16,66	15,608	17,4966	17,1719
Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi	50,133	45,644	46,32517	41,75461
B/A	0,828	0,812	0,794	0,806

Yukarıdaki tabloda fırına en büyük alkali girdisinin koktan geldiği görülmektedir. Hammaddelerle fırına giren alkalinin giren toplam alkalinin ne kadarına karşılık geldiği aşağıda hesaplanmıştır.

1 Ocak 2004

Giren toplam alkali miktarı(ton): 16,66

Toplam koktaki K₂O(ton): 7,7892

Toplam kömürdeki K₂O(ton): 1,0781

Toplam sinterdeki K₂O(ton): 5,1152

Toplam peletteki K₂O(ton): 2,1834

Toplam cevherdeki K₂O(ton): 0,4936

Giren toplam alkalinin koktan gelen yüzdesi: $(778,92/16,66)=\%46,75$

Giren toplam alkalinin kömürden gelen yüzdesi: $(107,81/16,66)=\%6,47$

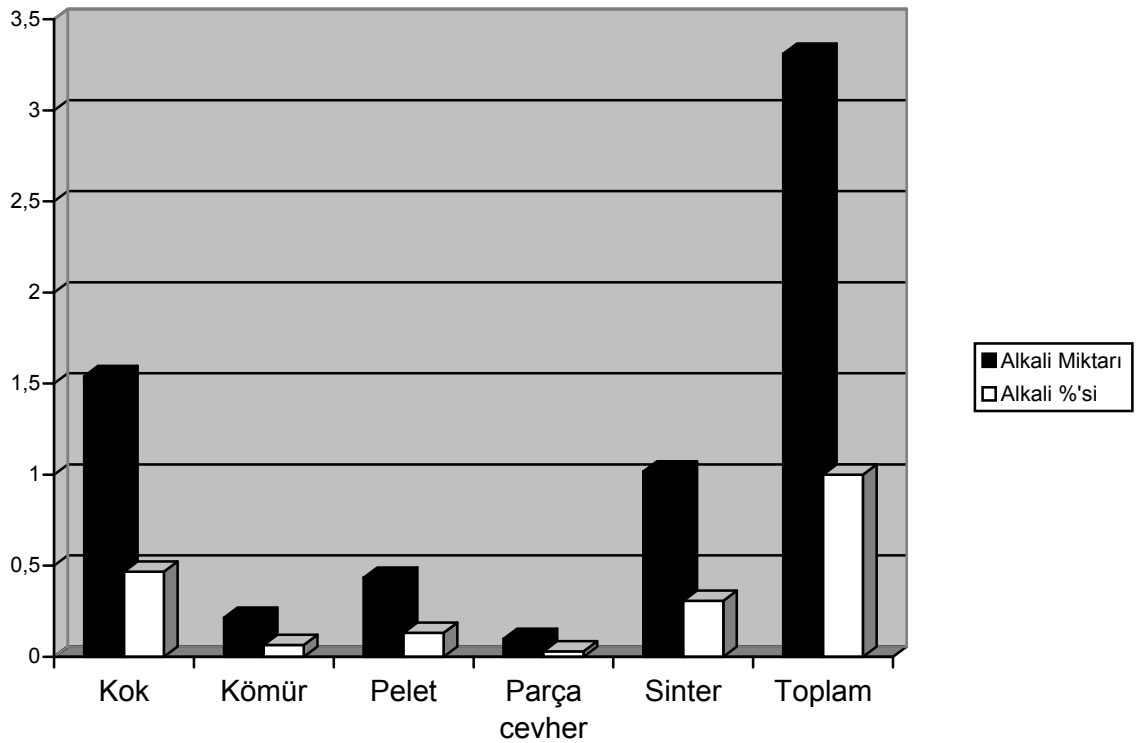
Giren toplam alkalinin sinterden gelen yüzdesi: $(511,52/16,66):\%30,70$

Giren toplam alkalinin peletten gelen yüzdesi: $(218,34/16,66):\%13,10$

Giren toplam alkalinin cevherden gelen yüzdesi: $(49,36/16,66):\%2,96$

Çizelge 12.2 Şarj malzemelerindeki alkali miktar ve yüzdeleri(1 Ocak 2004)

Giren Alkali Dağılımı		
Şarj Maddesi	Alkali Miktarı	Alkali %'si
Kok	7,7892 ton/gün; 1,54 kg/TSM	%46,75
Kömür	1,0781 ton/gün;0,214 kg/TSM	%6,47
Pelet	2,1834 ton/gün;0,434 kg/TSM	%13,10
Parça cevher	0,4936 ton/gün;0,098 kg/TSM	%2,96
Sinter	5,1152 ton/gün;1,017 kg/TSM	%30,70
Toplam	16,66 ton/gün ; 3,31 kg/TSM	%100



Şekil 12.1 Hammadelerdeki alkali miktarları

Erdemir 2.yüksek fırın (3-6) şubat 2004 yılı tablosu aşağıdaki gibidir:

Çizelge 12.3 Erdemir 2.yüksek fırın (3-6) şubat 2004 yılı tablosu

2004 Yılı	3 Şubat	4 Şubat	5 Şubat	6 Şubat
Toplam koktaki K ₂ O(ton)	8,0592	7,925	7,956	7,592
Toplam kömürdeki K ₂ O(ton)	1,172	1,117	1,208	0,915
Toplam sinterdeki K ₂ O(ton)	6,96	6,658	6,510	5,950
Toplam peletteki K ₂ O(ton)	2,264	2,164	2,10	1,902
Toplam cevherdeki K ₂ O(ton)	0	0	0	0
Toplam mangandaki K ₂ O(ton)	0	0	0	0
Curuf hacmi(kg/TSM)	238	242	249	244
Toplam sıcak maden için oluşan curuf hacmi(ton)	1228,318	1160,148	1196,943	1019,188
Curuftaki alkali miktarı(ton)	11,669	10,67	10,652	8,561
Giren toplam alkali miktarı(ton)	18,4564	17,865	17,774	16,36
Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi	63,224	59,742	59,93	52,32
B/A	0,808	0,831	0,801	0,826

Erdemir 2. yüksek fırın (14-15)ocak-(14-15) şubat 2004 yılı tablosu aşağıdaki gibidir:

Çizelge 12.4 Erdemir 2.yüksek fırın (14-15)ocak-(14-15) şubat 2004 yılı tablosu

2004 Yılı	14 Ocak	15 Ocak	14 Şubat	15 Şubat
Toplam koktaki K ₂ O(ton)	8,41	6,278	7,167	7,01
Toplam kömürdeki K ₂ O(ton)	0,171	0,294	0,831	0,709
Toplam sinterdeki K ₂ O(ton)	4,957	3,919	5,795	6,051
Toplam peletteki K ₂ O(ton)	1,696	1,35	1,378	1,458
Toplam cevherdeki K ₂ O(ton)	0,421	0,333	0,532	0,357
Toplam mangandaki K ₂ O(ton)	0	0	0	0
Curuf hacmi(kg/TSM)	231	223	238	239
Toplam sıcak maden için oluşan curuf hacmi(ton)	926,079	735,9	1022,686	977,271
Curuftaki alkali miktarı(ton)	6,38	5,66	10,53	7,622
Giren toplam alkali miktarı(ton)	15,66	12,17	15,70	15,59
Giren alkalinin curufla atılan yüzdesi	40,80	46,53	67,07	48,882
B/A	0,843	0,846	0,8	0,855

Yukarıdaki tablolardan görüldüğü gibi Erdemir 2.yüksek fırınına hammaddelerle giren alkalilerin curufla atılan yüzdesi %40 ile %70 arasında değişmektedir.

Daha önce Kanada’da yüksek fırında alkali kontrolü üzerine bir çalışma yapılmıştır.Bu çalışmada:

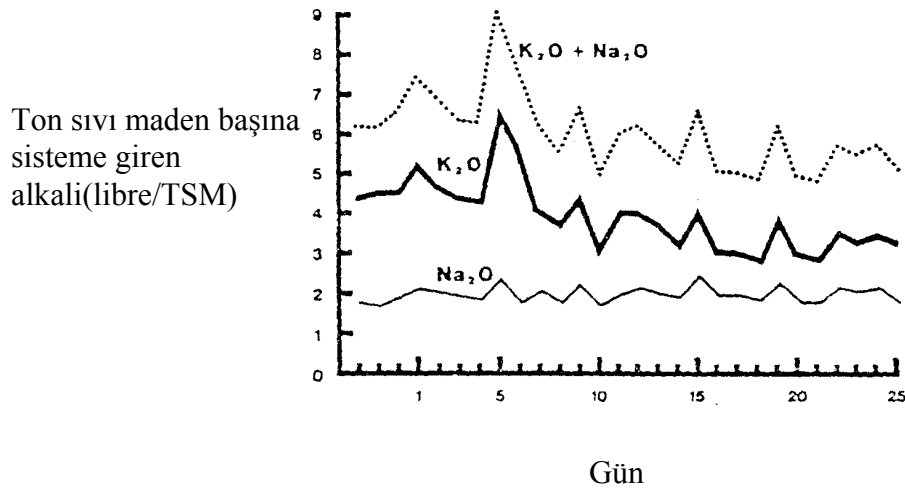
1. Şarjda sinter kullanılmamıştır.Böylece alkalilerin fırına dışarıdan geri dönüşümü olmamaktadır.
2. Sıvı madendeki kükürt’ün maksimum %0,025 olması hedeflenmiştir.
3. Fırına giren alkali yükü kullanılan bilgisayar programıyla periyodik olarak kontrol edilerek tehlikeli sınırların altında tutulmuştur.
4. K_2O ’nun Na_2O ’ya göre daha büyük ve önemli bir alkali girdisi olduğu ve yüksek fırına girip çıkan malzemelerdeki K_2O analizinin X-Ray yöntemiyle kolaylıkla yapılmasına karşı Na_2O analizinin çok zaman tüketen atomik absorpsiyonla yapılmakta olduğu ,ayrıca curuftaki K_2O içeriğinin curuf bazikliğinin ayarlanmasıyla direkt olarak kontrol edilebileceği belirlenmiştir.
5. Yüksek curuf bazikliği,yüksek fırın sıcaklığı,yükleme esnasında bazı malzemelerin düşük konsantrasyonda bulunması fırında hızla birikimlere sebep olmakta ve bunun sonucunda:
 - Fiziksel aşınma ve kimyasal etkiler sonucu refrakterin yıpranmasından dolayı astar ömrünün kısılması,
 - Yüksek fırın basıncı,askılanma,kabuk oluşumu ve kokun kalitesinin düşmesi gibi işletme problemlerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Dofasco yüksek fırın dataları aşağıdaki gibidir:

Çizelge 12.5 Dofasco yüksek fırın şeması

Dofasco Yüksek Fırın	
Hammaddeler-Libre/TSM Sherman pelet-900 Adams pelet-900 Wabush pelet-900 Hurda-250 B.O.F.Curuf-150 Kireçtaşı-60 Dolomit-180 Kok-900 Yağ-180	Günlük Üretim-TSM #2 B.F.-1750 #3B.F.-1850 #4B.F.-2800
	Sıvı Maden %Si=1,00 %Mn=1.10 %S=0,025
	Curuf Baziklık=1,20

12.1)Fırına girenler:

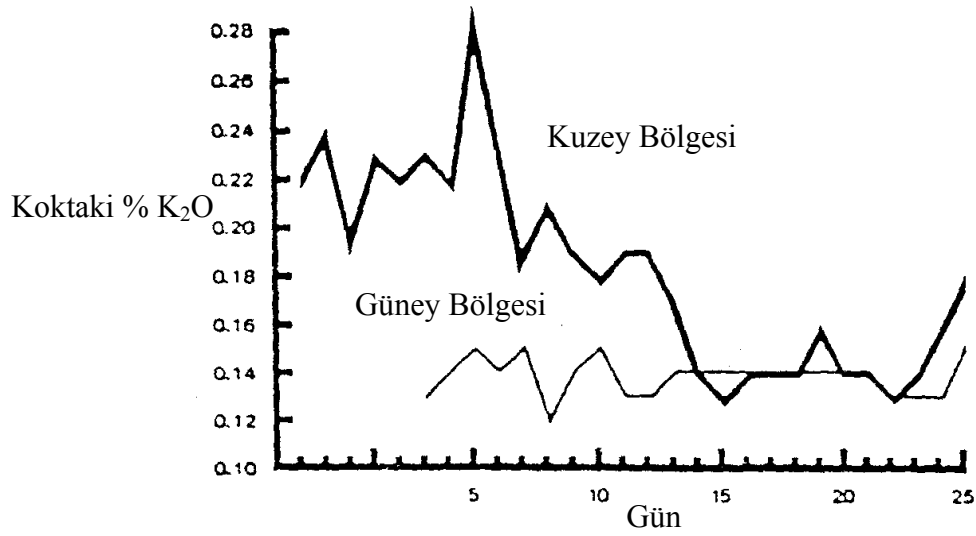
1.Alkali:



Şekil 12.2 Ton sıvı maden başına sisteme giren alkali(libre/TSM)-gün grafiği

Yukarıdaki grafikte y ekseninde ton sıvı metal başına fırına giren alkali yüzdesi ve x ekseninde günler gösterilmiştir.Grafikten görüldüğü gibi ton sıvı metal başına fırına giren alkali miktarı 5-9(libre/TSM) arasında değişmektedir.Bu değer yaklaşık olarak 2,5-4,5 kg/TSM'e karşılık gelmektedir. Ereğli'de ton sıvı maden başına fırına giren alkali miktarı 3,75 kg/TSM'e karşılık gelmektedir.Dofasco ve Erdemir'de ton sıvı maden başına fırına giren alkali miktarlarının aynı sınırlarda kaldığı görülmektedir.

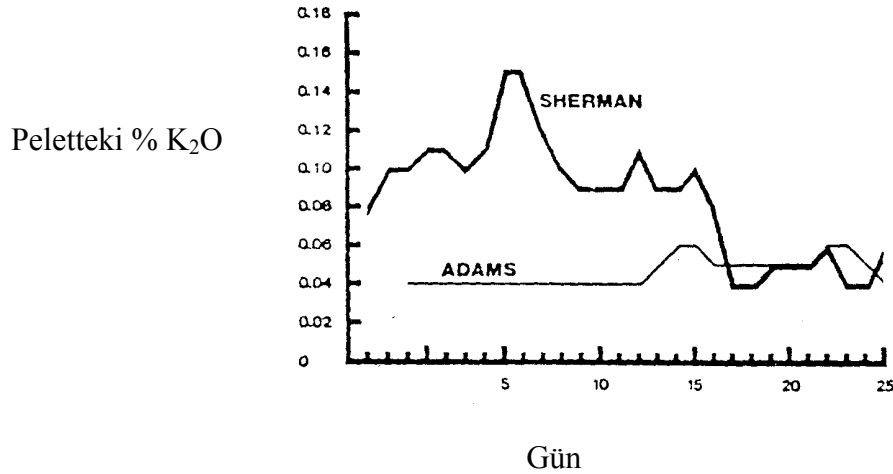
2.Kok:



Şekil 12.3 Koktaki %K₂O-gün grafiği

Yukarıdaki grafikte koktaki K₂O yüzdesinin günlere bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi koktaki K₂O oranı %0,12-0,28 arasında değişmektedir. Ereğli’de koktaki K₂O oranı %0,291 dir. Erdemir’de koktaki K₂O oranının dofasco’daki ile yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir.

3.Pelet:



Şekil 12.4 Peletteki %K₂O-gün grafiği

Yukarıdaki grafikte Sherman ve Adams peletlerindeki %K₂O’nun günlere bağlı değişimi gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi peletteki K₂O %0,04-0,14 arasında değişmektedir. Erdemir’de peletteki K₂O oranı % 0,0509 olup dofasco’daki değer sınırları içinde kaldığı görülmektedir.

12.2)Ürünler:

Kanada’da yapılmış olan bu çalışmada curufun ve baca gazı bileşenlerinin(uçucu kül,yağ,atık,yıkama suyu) atılan alkalinin esas taşıyıcısı olduğu belirlenmiştir.Tüm fırınlar için atılan curufun yapısı($S, K_2O, CaO, SiO_2, MgO, Al_2O_3, Mn, Fe$) bir saat içinde XRF ile izlenebilmektedir.Bu analiz oldukça doğru bir şekilde yapılmakta fakat baca gazı analizi yapmak oldukça zor ve problemlidir.Seçilen iki gün için curuf ve baca gazı ile atılan alkalinin dağılımı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 12.6 Curuf ve baca gazı ile atılan alkali dağılım tablosu

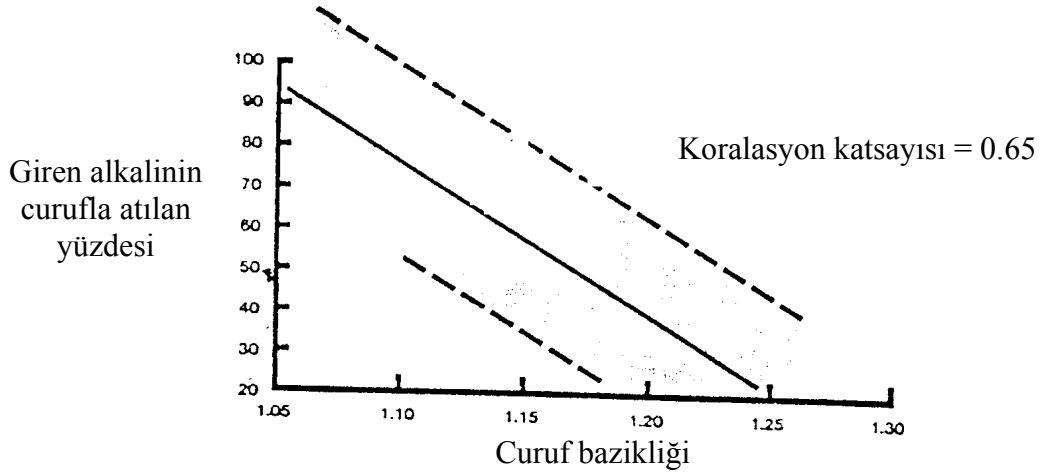
Atılan K_2O Dağılımı				
Giren K_2O	Fırında herhangi bir günde atılan K_2O		Fırında herhangi bir günde biriken K_2O	
	4,42 libre/TSM		6,59 libre/TSM	
Atılan K_2O	libre/TSM	Toplamdaki(%)	libre/TSM	Toplamdaki(%)
Curuf				
Kül	3,44	62,0	1,88	39,1
Atık	0,45	8,1	0,87	18,1
Su	0,25	4,5	0,31	6,4
Toplam	1,41	25,4	1,75	36,4
	5,55	100,0	4,81	100,0
Giren K_2O ’nun curufla atılan yüzdesi	%78		%28,5	

12.3)Alkali Tehlike Seviyesinin Belirlenmesi:

Normal işlem şartlarında ton sıvı maden başına %3,5 K_2O belirlenen tehlike sınırıdır.

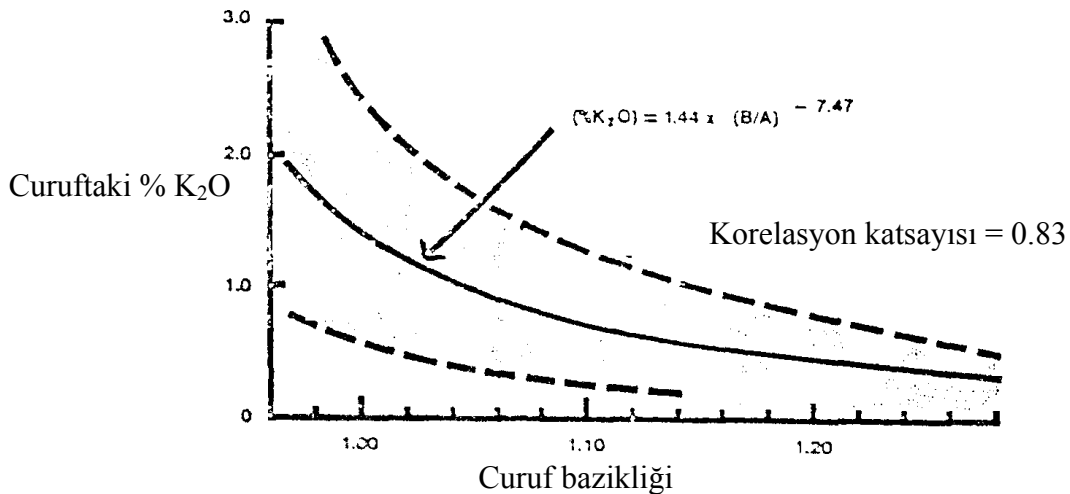
12.4)Yüksek Fırın Dataları Kullanılarak Grafiklerin Çizilmesi ve Yorumlanması:

Aşağıdaki grafiklerde Dofasco yüksek fırındaki çalışma şartlarındaki değişimlere bağlı olarak atılan alkali miktarları belirlenmiştir.



Şekil 12.5 Curuf bazikliği -giren alkalinin curufla atılan yüzdesi değişim grafiği

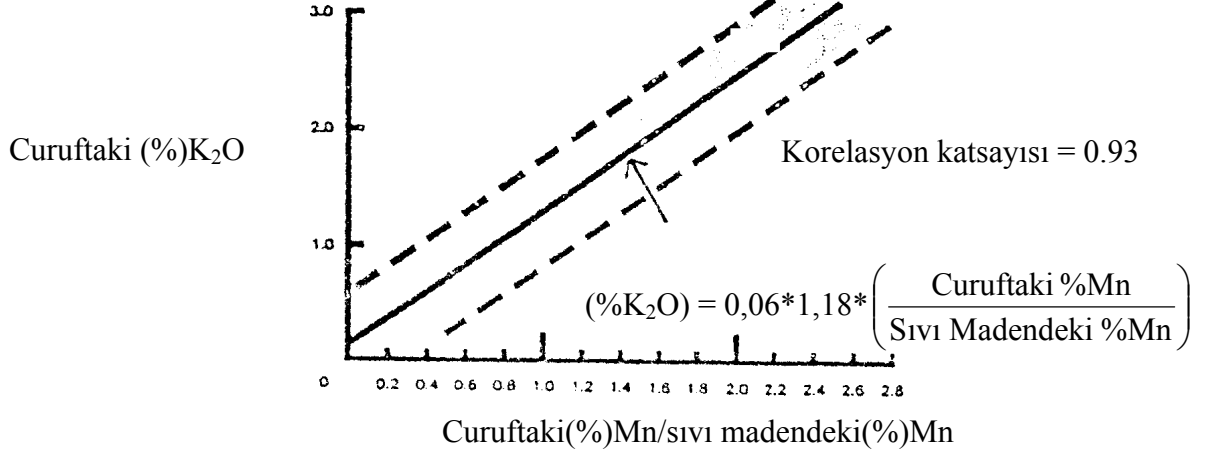
Yukarıdaki grafikte curuf bazikliğine bağlı olarak giren alkalinin curufla atılan yüzdesindeki değişim belirtilmiştir. Grafikte curuf bazikliği 1,05-1,25 ve giren alkalinin curufla atılan yüzdesi ise %25-%90 arasında değişmektedir. Şekilden görüldüğü gibi baziklik düştükçe atılan alkali miktarı artmaktadır. Bazikliğin 1,10 ile 1,20 arasında değiştiği durumda giren alkalinin curufla atılan yüzdesi %40-%80 arasında değişmektedir. Buda oldukça iyi bir değerdir. Erdemir 2. yüksek fırında ise bazikliğin 0,75-0,85 arasında değiştiği şartlarda giren alkalinin curufla atılan yüzdesi %40-70 arasında değişmektedir. Bu da Kanada'da yapılmış olan bu çalışmanın sonuçlarıyla aynı sınırlar içerisindedir. Ayrıca Erdemir 2. yüksek fırındaki alkali miktarını azaltmak için fırın öncesi alkali giderme işlemlerinin yapılması tavsiye edilebilir.



Şekil 12.6 Curuf bazikliği -curuftaki K₂O yüzdesi değişim Grafiği

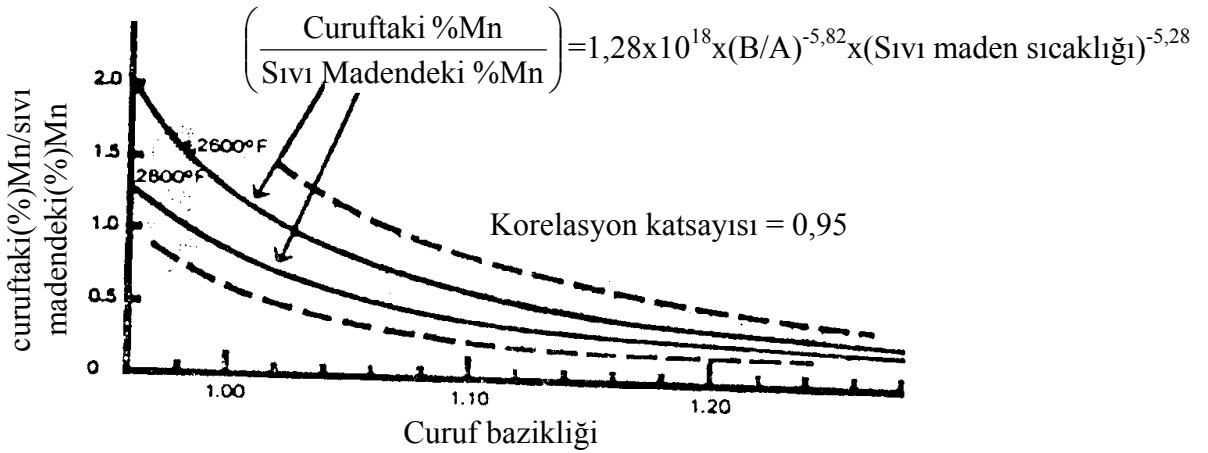
Yukarıdaki grafikte curuf bazikliğine bağlı olarak curuftaki alkali yüzdesi değişimi belirtilmiştir. Grafikte curuf bazikliği yaklaşık 0-1,25 arasında ve curuftaki alkali yüzdesi ise yaklaşık %1,0-%3,0 arasında değişmektedir. Şekilden görüldüğü gibi baziklik düştükçe

curuftaki alkali miktarı artmaktadır. Curuf bazikliği 1,00-1,20 arasında alındığında curuftaki K_2O %1-%2 civarındadır. Erdemir 2. yüksek fırında ise baziklik kabul edilebilir en düşük değer olan 0,75 olarak alındığında curuftaki K_2O %1 civarında olup bu çalışmadaki değerlere yakındır.



Şekil 12.7 Curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn-curuftaki (%) K_2O değişim grafiği

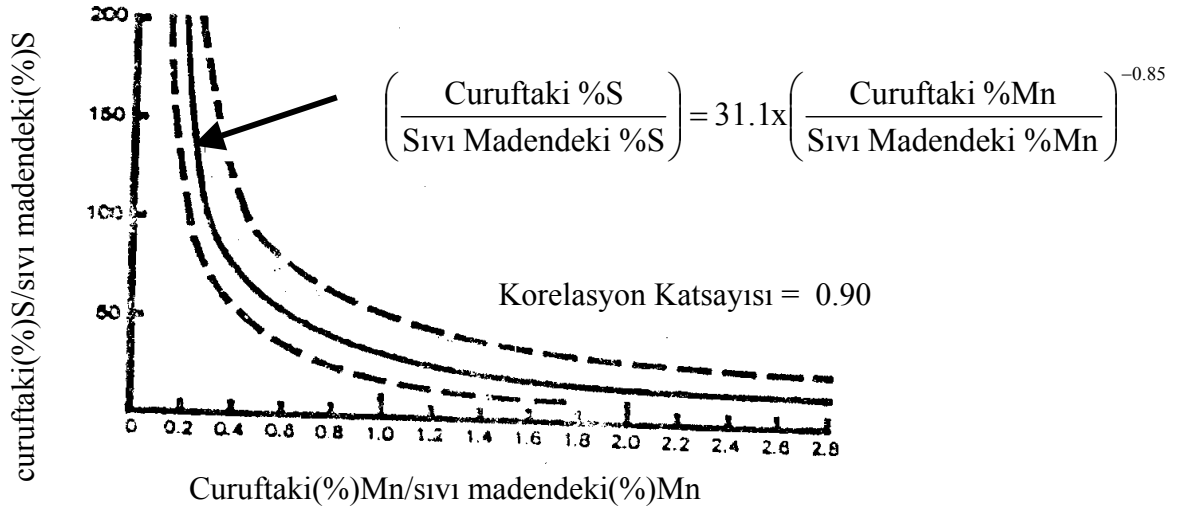
Yukarıdaki grafikte dataların dağılımı yaklaşık 0,1-2,7 Curuftaki(%)Mn/Madendeki (%)Mn ve 0,1-3 curuftaki K_2O arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre curuftaki Mn yüzdesinin madendeki Mn yüzdesine olan oranı arttıkça curufla atılan alkali miktarı artmaktadır. Buradan curufla atılan alkali miktarı arttığı zaman madendeki Mn miktarının düştüğü ve Mn takviyesi yapılması gerektiği görülmektedir. Erdemir 2. yüksek fırın için çizilen curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn-curuftaki (%) K_2O değişim grafiğinde de bu grafiktekine yakın sonuçlar elde edilmiş ve curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn oranı 0,1-2,7 arasında değiştiğinde curufla atılan alkali miktarının 0,1-1,1 arasında olduğu görülmüştür.



Şekil 12.8 Curuf bazikliği- curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn değişim grafiği

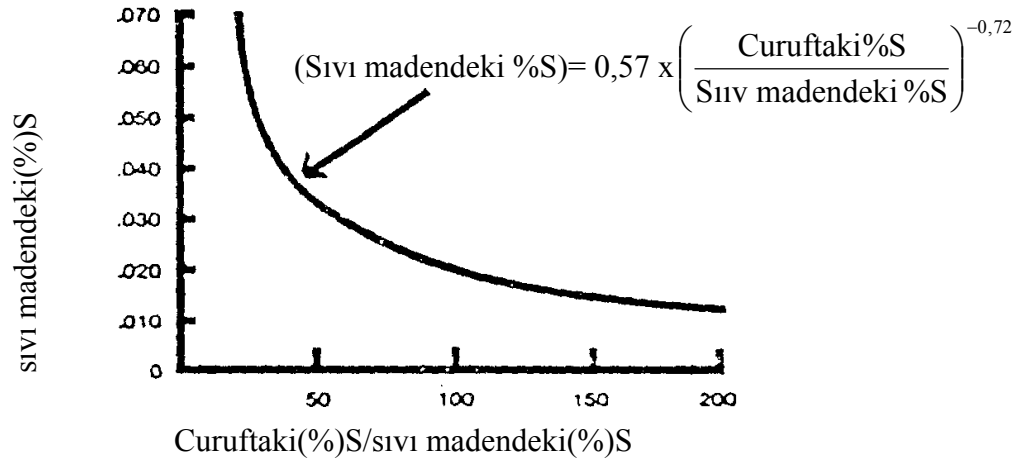
Yukarıdaki grafikte yüksek fırın baziklik ve curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn değerleri kullanılarak korelasyon eğrisi çizilmiştir. Bu eğride dataların dağılımı yaklaşık 0-1,25

baziklik ve yaklaşık 1-2 curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre baziklik düştükçe curuftaki Mn yüzdesinin madendeki Mn yüzdesine olan oranı artmakta ve bu da madendeki Mn yüzdesinin düştüğünü göstermektedir. Erdemir 2. yüksek fırın için çizilen curuf bazikliği- curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn değişim grafiğinde de baziklik düştükçe sıvı madendeki Mn oranının düştüğü ve curuf bazikliği 0,75-0,85 arasında değiştiğinde curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn oranının 1-7 arasında değiştiği görülmüştür. Erdemir dataları kullanılarak çizilen grafiğin sonuçlarına göre 0,75 baziklik değeri için sıvı madendeki Mn miktarı azalmasının daha fazla olduğu görülmektedir. Buda daha yüksek miktarda ilave Mn 'a ihtiyaç duyulmasına neden olur.



Şekil 12.9 Curuftaki(%)Mn/sıvı madendeki(%)Mn- curuftaki(%)S/sıvı madendeki(%)S değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte dataların dağılımı yaklaşık 0,2-2,8 curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn ve 10-200 curuftaki(%)S/madendeki(%)S arasında değişmektedir. Çizilen bu eğriye göre curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn oranı arttıkça curuftaki(%)S/madendeki(%)S oranı düşmektedir. Burada curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn oranının artması madendeki Mn bulunma oranının düştüğünü göstermektedir. Curuftaki(%)S/madendeki(%)S oranının düşmesi ise madendeki S bulunma oranının arttığını göstermektedir. Yani madendeki Mn bulunma oranı düştükçe madendeki S bulunma oranı artmaktadır. Erdemir datalarıyla çizilen curuftaki(%)Mn/madendeki (%)Mn - curuftaki(%)S/madendeki(%)S grafiğinde de madendeki Mn bulunma oranı düştükçe madendeki S bulunma oranı arttığı belirlenmiştir.



Şekil 12.10 Curuftaki(%S)/sıvı madendeki(%S) - sıvı madendeki(%S) değişim grafiği

Yukarıdaki grafikte curuftaki(%S)/sıvı madendeki(%S) oranı azaldıkça madendeki(%S) oranı artmaktadır. Buradan da madendeki kükürt oranı arttıkça curuftaki kükürt oranının düştüğü görülmektedir. Bazılık düştükçe alkali atımı artmakta ve curuftaki kükürt oranı düşmekte, madendeki kükürt miktarı ise artmaktadır. S'te zararlı bir bileşen olduğundan sıvı madene ilave S giderme işlemi uygulanmalıdır. Yukarıdaki grafikte curuftaki(%S)/sıvı madendeki(%S) oranı yaklaşık 25-200 ve sıvı madendeki(%S) oranı 0,10-0,70 arasında değişmektedir (Ashton, 1974). Erdemir yüksek fırın dataları kullanılarak çizilen curuftaki(%S)/sıvı madendeki(%S) - sıvı madendeki(%S) değişim grafiğinde de madendeki kükürt oranı arttıkça curuftaki kükürt oranının düştüğü görülmekte ve curuftaki(%S)/sıvı madendeki(%S) oranı yaklaşık 5-25 ve sıvı madendeki(%S) oranı 0,11-0,14 arasında değişmektedir.

12.5) Demir Cevher ve Konsantrelerine Alkaliler ve Diğer Empüritelerin Azaltılması Amacıyla Klorlayıcı Buharlaştırma Yönteminin Uygulanması

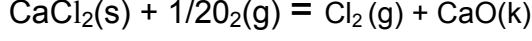
Erdemir'de fırına giren alkali miktarını azaltmak amacıyla fırın öncesi ön işlemler yapılması tavsiye edilebilir.

Klorlayıcı buharlaştırma yöntemi, metal oksit ve sülfürlerinden kolay oluşan ve düşük sıcaklıklarda yüksek buhar basıncına sahip metal klorürlerin oluşturulması prensibine dayanmaktadır.

12.5.1) Kalsiyum Klorürün Klorlayıcı Madde Olarak Kullanılması

Klorlayıcı buharlaştırma yönteminde kullanılacak klorlayıcı maddenin, empüriteler uçucu klorür bileşiklerine dönüşene dek buharlaşmadan sistemde kalması gereklidir. Kalsiyum klorür, buharlaşma sıcaklığının yüksek olması (1727 °C) ve oldukça düşük buhar

basıncına sahip olması nedeniyle klorlayıcı buharlaştırma yöntemi için çok uygun bir klor kaynağıdır. Ayrıca CaCl_2 'ün parçalanması sonucu açığa çıkan CaO 'de zaten demir yapım prosesinde curuflaştırıcı olarak kullanılan bir katkı malzemesidir. Aşağıdaki denklemden görüleceği gibi CaCl_2 oldukça kararlı bir bileşiktir ve parçalanması da oldukça zor görünmektedir.



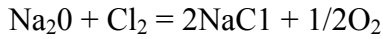
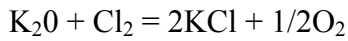
$$\Delta G^\circ_{1223} = 27300 \text{ cal/mol}$$

12.5.2) Alkali Klorürlerin Oluşumu

Demir cevherlerinin içerdiği alkali silikatların çoğu uygun cevher hazırlama işlemleri sırasında giderilebilir. Kalan alkalilerin giderilmesinde ise yöntemin ekonomik olması için yeterince yüksek bir reaksiyon hızına ulaşılması gereklidir. Bu da ancak demir cevherlerinin aglomerasyonu (peletleme, sinterleme) sırasında yüksek sıcaklık peryodunda gerçekleştirilebilir. Alkalilerin bu işlemler sırasında giderilmesinde tek seçenek bunların gaz faza alınmasıdır. Demir cevherlerine uygulanan peletleme, sinterleme gibi aglomerasyon proseslerindeki, oksijen potansiyeli ve sıcaklık değerlerinde, alkali metal buharları ve alkali siyanür buharları kararlı değildir. Aglomerasyon proseslerindeki şartlarda alkali klorür bileşikleri ise oldukça kararlıdır.

Üstelik alkali klorürlerin buhar basınçları da, klorlayıcı buharlaştırma ile yeterince giderilebilecek kadar yüksektir. Bu durumda demir cevher veya konsantrelerindeki alkalilerin giderilmesi için uygun bir klorür bileşiğinin seçilmesi gereklidir. CaCl_2 alkalilerin giderilmesi için de oldukça uygun bir klor kaynağıdır.

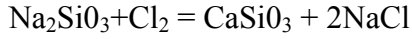
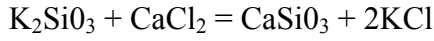
Alkali oksitlerin Cl_2 gazı ile klorürleşme reaksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir:



Ayrıca alkali klorür bileşikleri CaCl_2 'den daha kararlıdır. Bu durumda CaCl_2 katkısı ile hazırlanmış demir cevher veya konsantrelerindeki alkaliler sinter veya pelet üretim proseslerindeki sıcaklıklarda kolaylıkla klorür bileşiklerine dönüşebileceklerdir.

Demir cevherlerinde alkaliler çoğunlukla kompleks silikat bileşikleri şeklinde bulunduğu için, alkali silikatların klorürleşme reaksiyonlarının incelenmesi de gereklidir.

Alkali silikatların CaCl_2 ile reaksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir.



Alkali silikatların ve alkali oksitlerin klorürleşme reaksiyonlarına ait entalpi ve serbest enerji değerleri aşağıda gösterilmiştir.

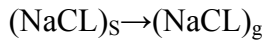
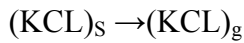
Reaksiyon	ΔH_{298}° cal/mol	ΔG_{1200}° cal/mol	ΔG_{1400}° cal/mol
$\text{Na}_2\text{O} + \text{CaCl}_2 = 2\text{NaCl} + \text{CaO}$	-58020	-59654	-60463
$\text{K}_2\text{O} + \text{CaCl}_2 = 2\text{KCl} + \text{CaO}$	-83340	-86192	-
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CaCl}_2 = 2\text{NaCl} + \text{CaOSiO}_2$	-22030	-20587	-21313
$\text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{CaCl}_2 = 2\text{KCl} + \text{CaOSiO}_2$	-37440	-33324	-32832

Şekil 12.11. Alkalilerin Klorürleşme Reaksiyonlarına Ait Standart Serbest Enerji ve Entalpi Değerleri

Alkali silikat ve oksitlerin klorürleşme reaksiyonlarına ait standart serbest enerji değerlerinden sinterleme veya peletleme proseslerindeki sıcaklıklarda, bu reaksiyonların gerçekleşmesinin termodinamik açıdan mümkün olduğu görülmektedir (Aydın, 1987)

12.5.3) Alkali Klorürlerin Buharlaşması

Alkali oksit ve silikatların CaCl_2 ile reaksiyonu sonucu oluşan sıvı haldeki alkali klorürlerin buharlaşma reaksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir:



12.6) Dofasco ve Ereğli yüksek fırın analiz sonuçlarının karşılaştırılması:

1. Her iki fırın içinde yapılan çalışmalar sonucunda yüksek miktarda alkali atımının,

- Fırına düşük miktarda alkali girdisinin sağlanması
- Düşük curuf bazıklığı
- Düşük sıvı maden sıcaklığı ile sağlandığı tespit edilmiştir.

2. Curuftaki alkali miktarının artmasıyla madendeki Mn yüzdesinin azaldığı bu nedenle ilave Mn takviyesi yapılması gerektiği belirlenmiştir.

3. Curuftaki alkali miktarının artmasıyla madendeki S yüzdesinin arttığı ve bu nedenle harici S giderme işlemi yapılması gerektiği belirlenmiştir.
4. Kanada’da yapılan çalışmada tüm yüksek fırınlar için ton sıvı maden başına giren K_2O ’nun %0,35’i geçmemesi gerektiği bunun üzerindeki değerlerin fırın için tehlike oluşturacağı belirlenmiş ve Erdemir’de ton sıvı maden başına giren K_2O ’nun %0,0331 civarında olup sınırın altında olduğu belirlenmiştir.
5. Erdemir’de 0,75-0,85 arası baziklik değerleri için giren alkalinin curufla atılan yüzdesi %40-70 arasında,Dofasco yüksek fırınında da 1,10-1,20 baziklik değerleri için giren alkalinin curufla atılan yüzdesi %40-80 arasında değişmekte olup bu değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.
6. Erdemir’de en fazla alkali girdisinin kok(% 46,75) ve sinterden(% 30,70) olduğu belirlenmiştir.

13.GENEL SONUÇLAR

Erdemir 2. yüksek fırında alkali kontrolü amacıyla,işletme sınırlamaları ve fırın dataları alınarak yapılan optimizasyon çalışmasının genel sonuçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Fırındaki yüksek miktarda alkali girdisi,refrakter tahribatı,kok kalitesinin bozulması,üretilen pik miktarında azalma ve yakıt tüketim miktarında artma ile üretim kayıplarına neden olmaktadır. Alkalilerin giderilmesi için baziklik değeri düşük tutulmalıdır.
2. Curuf bazikliğinin düşürülmesi sonucunda curuftaki alkali yüzdesinin arttığı belirlenmiştir.Erdemir İşletme sınırlamalarına göre baziklik 0,75-0,85 değerleri arasındadır ve yaklaşık olarak kabul edilebilir en düşük baziklik değeri (0,7558) kullanıldığında curufla atılan alkali miktarının 2,03(kg/TSM) maksimum olduğu görülmektedir.
3. Curuf bazikliği düştükçe(0,7558) üretilen toplam maden(pik) miktarı(4657 ton) artmaktadır.Bu da üretim veriminin artması ve pik maliyetinin düşmesini sağlamaktadır.Ayrıca bazikliğin düşmesi alkali atımını da arttıracığından refrakter tahribatının azalmasını sağlamaktadır.
4. Baziklik düştükçe(0,7558) cevher/yakıt oranı(3,04) artmaktadır.Buradan da baziklik düştükçe harcanan yakıt miktarının azaldığı ve böylelikle yakıta harcanan maliyetin düştüğü görülmektedir.

5. Baziklik düştükçe(0,7558) ton sıvı maden başına düşen curuf hacmi(215,70kg/TSM) azalmaktadır.Bu da üretim veriminin yüksek olduğunu göstermektedir.Yani baziklik düştükçe üretim verimi artmaktadır.
6. Baziklik düştükçe curuftaki kükürt miktarı azalmaktadır.Bu da curufla atılan alkali miktarı arttıkça yine curufla atılan kükürt miktarının azaldığını göstermektedir.
7. Curuftaki Mn yüzdesinin madendeki Mn yüzdesine olan oranı arttıkça curufla atılan alkali miktarı artmaktadır.Buradan curufla atılan alkali miktarı arttığı zaman madendeki Mn miktarının düştüğü görülmektedir.Mn kükürt'ün curufa geçmesini sağladığı için ve kükürdü bağlayarak zararlı etkilerini önlediğinden faydalı bir bileşendir bu nedenle de madende belirli bir oranda bulunması istenmektedir. Bu nedenle de madendeki Mn miktarındaki eksikliğin giderilmesi için ilave Mn takviyesi yapılması gerekmektedir.Buda ekstra bir maliyet getirmektedir.
8. Baziklik düştükçe curufla atılan alkali miktarı artmakta, bunun sonucunda madendeki Mn bulunma oranı düşmekte,S bulunma oranı ise artmaktadır. S'te zararlı bir bileşen olduğundan sıvı madene ilave S giderme işlemi uygulanmalıdır. Buda ekstra bir maliyet getirmektedir.
9. Baziklik düştükçe(0,7558) madendeki Si(%0,687) miktarı artmaktadır. Si zararlı bir bileşen olduğundan madende yüksek miktarda olması istenmez.Bu nedenle madendeki fazla silisin giderilmesi için harici silis giderme işlemleri uygulanır.Buda yüksek fırın işletmeciliğinde ekstra maliyet artışına sebep olmaktadır.
10. Yaklaşık olarak kabul edilebilir en düşük baziklik değeri (0,7558) kullanıldığında atılan alkalinin 2,03(kg/TSM) olmasının yanında,bu baziklik değeri S için madende kabul edilebilir sınır değere(%0,08) karşılık geldiğinden bu baziklik değeri kullanıldığında ekstra S giderme işlemine gerek olmamakta ve üretim maliyeti düşürülmektedir.
11. Yaklaşık olarak kabul edilebilir en düşük baziklik değeri (0,7558) kullanıldığında,oluşan curuf hacminin(215,70 kg/TSM) kabul edilebilir maksimum curuf hacmine(240kg/TSM) göre oldukça düşük olması üretim veriminin yüksek olduğunu göstermektedir.
12. Yaklaşık olarak kabul edilebilir en düşük baziklik değeri (0,7558) kullanıldığında,Sıvı madendeki Si miktarı(%0,687) kabul edilebilir sınırları(%0,6) çok az miktarda aşmakta ve ilave Si giderme işlemiyle bu fazlalık giderilebilmektedir.
13. Yaklaşık olarak kabul edilebilir en düşük baziklik değeri (0,7558) kullanıldığında, hedeflenen günlük maden miktarına(4800ton/gün) çok yaklaşılarak günlük ortalama 4657

tonluk üretim yapılmaktadır ve kullanılan yakıt miktarı ise istenilen sınır değerler civarında kalmaktadır.

14. Yüksek fırında giren alkalinin curufla atılan yüzdesi%40-70 arasında değişmektedir. Yani şarj esnasında fırına giren alkalinin büyük bir kısmı curufla atılmakta ve daha fazla alkali giderimi için fırın öncesi ön işlemler yapılması gerekmektedir.

14.ÖNERİLER

- Fırındaki alkali miktarını azaltmak amacıyla fırın öncesi ön işlemler yapılabilir.
- Fırın öncesi alkali giderimi sinter harmanına ve pelet kekinde klorlayıcı buharlaştırma yönteminin uygulanarak alkalilerin gaz faza alınması şeklinde uygulanabilir.
- Bu prosesin maliyete etkisi incelenebilir.
- Deneylerde klor kaynağı olarak kullanılan CaCl_2 'nin yerine geçebilecek farklı klor kaynaklarının aranması konusunda araştırmalar yapılabilir.
- Fırına giren alkalinin önemli bir kısmı koktan geldiği için kok üzerinde çalışmalar yapılarak,bunun içerdiği alkali fırın öncesi işlemlerle giderilebilir yada farklı kaynaklardan kok temin edilebilir.

KAYNAKLAR

- Akdemir İ. ve Dağabak R.Y.,(2005),“Demir Çelik Fabrikalarında Manganez Kullanımı”,Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi,Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı,İstanbul.
- Andersson A.J. ve Andersson M.A.T. ve Jönsson P.G.,(2004),”Use of an optimisation model for the burden calculation for the blast furnace process”,Scandinavian Journal of Metallurgy,172-182.
- Ashton J.D.ve Gladysz C.V. ve Walker G.H. ve Holditch J.,(1974)”Alkali Control At Dofasco”,Journal of Metals,5:1-12.
- Aydın S.,Divriği A Kafası Manyetit Cevherlerindeki Alkalilerin Klorlayıcı Buharlaştırma Yöntemiyle Giderilmesi,İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü,Doktora Tezi,1987.
- Erol,M.Ş. ve Sevinç N.,(1995), “Yüksek Fırınlarda Alkali Kontrolü”, İnternational Metallurgy and Materials Congress,6-9 June 1995,İstanbul.
- Erol,M.Ş.,(1995), Yüksek Fırında Alkali Kontrolü,Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş.,Zonguldak.
- Gorbachev V.P ve Denisov YU.M. ve Dolinskii V.A. ve Bugaev S.F.,(2003),”Developing a blast furnace smelting technology with low basicity pellets in the charge”,Metallurgist,47:345-348.
- Habashi, F.,(1997), Handbook of Extractive Metallurgy, Wiley-VCH,1:12,54-60.
- Malhotra S.K. ve Tehri S.P.,(1996), “Development of bricks from granulated blast furnace slag”, Central Building Research Institsute, Construction and building materials,10:191-193.
- Olexiy I. ve Luben S. ve Dieter J.(2004), ”Alkali capacity and physical properties of blast furnace type slags”,Steel Research İnternational,75:433-441.
- Özgen O ve Dervişoğlu K.,(1991), Yüksek Fırın Prosesi, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları Eğitim Müdürlüğü Yayınları,Zonguldak.
- Proctor D.M. ve Fehling K.A.,(2000),”Physical and chemical characterics of blast furnace”,Environ.Sci.Technol.,2-15.
- Savaşkan T.,(1999), Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimleri Anabilim Dalı,Zonguldak.

Tang M.,(1999), ,”Injection of flux into the blast furnace via tuyeres for optimising slag formation”,Lulea Univ.of Technology ISIJ International,39:697-704.

YangY.D ve McLean A. ve Sommerville I.D. ve Poveromo J.J.,(2000),” The correlation of alkali capacity with optical basicity of blast furnace slags”, Iron and Steel maker,27:103-111.

Yeniçeri M.,(1991), Demir-Çelik Madenciliğın El Kitabı, Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları,Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	13.11.1979
Doğum yeri	İstanbul
Lise	1994-1998 Yabancı Dil Ağırlıklı Kurtuluş Lisesi
Lisans	1999-2003 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Müh.Anabilim Dalı,Üretim Programı