

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKSEKİ BOKSİT CEVHERİNİN REFRAKTER**  
**SANAYİ İÇİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**Barış G. YILDIRIM**

**Ağustos, 2005**

**İZMİR**

**AKSEKİ BOKSİT CEVHERİNİN REFRAKTER  
SANAYİ İÇİN KULLANILABİLİRLİĞİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı**

**Barış G. YILDIRIM**

**Ağustos, 2005**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**BARIŞ G. YILDIRIM** tarafından **Doç. Dr. TURAN BATAR** yönetiminde hazırlanan “**AKSEKİ BOKSİTİN REFRAKTER SANAYİNDE KULLANILABİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
**Doç. Dr. TURAN BATAR**  
-----

Yönetici

.....  
**Prof. Dr. ALİ AKAR**  
-----

(Jüri Üyesi)

.....  
**Prof. Dr. CAHİT HELVACI**  
-----

(Jüri Üyesi)

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Gerek akademik kariyer, gerekse iş kariyerimde beni destekleyen, yalnız bırakmayan, her zaman daha çok çalışmak gerektiğini öğütleyen hocam Prof. Dr. Cahit Helvacı' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımız sırasında bizleri cesaretlendiren, çalışmalarımızı sabırla dinleyen eleştiren hocam Prof. Dr. Ali Akar'a teşekkür ederim.

Yüksek lisansım süresince çalışmalarımı titizlikle inceleyen bana yol gösteren danışman Hocam Doç. Dr. Turan Batar'a teşekkür ederim.

Proje konusu, Dünyadaki pazar durumu, boksit jeolojisi ile ilgili katkılarından dolayı Almin Madencilik Teknik Müdürü Dr. Alexander Horkel'e teşekkür ederim.

Bu projeyi destekleyen, katkılarını esirgemeyen hocam Doç. Dr. Erol Kaya'ya, İstanbul Üniversitesi Laboratuvarlarını kullanmama izin veren hocam Yrd. Doç.Dr. İlgin Kurşun'a, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Arş. Görv. Kenan Çinku'ya teşekkür ederim.

Jeolojik çalışmaların hazırlanması ve ince kesitlerin yorumlanması yardımcı olan, imkanları kullanmama izin veren hocam, Prof. Dr. Özkan Pişkin' e ve Arş. Görv. Mehmet Akbulat'a teşekkür ederim.

Akademik hayatım boyunca hep motive eden, yol gösteren, katkılarını bizlerden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Timur Ustaömer' e teşekkür ederim.

Otomasyon sisteminin geliştirilmesinde birlikte çalıştığımız arkadaşım, Mepsan AR-GE Müdür Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Tolga Çırak' a teşekkür ederim.

3D çizimleri hiç üşenmeden titizlikle çizen arkadaşım, Maden Mühendisi M.Furkan Özkan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans kariyerim sırasında, farklı bir üniversitede yüksek lisans yapmanın yabancılığını bana yaşatmayan, deneyler sırasında da yardımcı olan arkadaşım Maden Yük. Mühendisi Barış Özalp'a, ve diğer sınıf arkadaşlarıma teşekkür ederim

Proje sırası analizler ve deneylerin yapılmasında yardımcı olan, Kimyager Fatih Turan, Necmettin Ayçelik'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezinin yazılmasında, sunum için posterin hazırlanmasında yardımcı olan Marmara Üniversitesi Bilişim bölümü araştırma görevlilerinden abim Arif Yıldırım'a ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak bütün hayatım boyunca beni hep destekleyen, yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Barış G. YILDIRIM

# **THE INVESTIGATION OF AKSEKI BAUXITE FOR THE REFRACTORY INDUSTRY**

## **ABSTRACT**

In this study, refractory bauxite process was investigated, the method of processing is mainly leaching. A raw material that is using for refractory bauxite, has to consist of 2%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (McCracken, 2000). The raw material from Akseki bauxite mine that belongs to the Almin Mining Co. is consist of average 12%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Dr.Alexander Horkel, 2004), using HCl acid, is decreased the iron oxide ratio to less than 1%. Every year, Turkey refractory industries import 50.000-60.000 tones refractory bauxite (DPT, 2001). After the solid-liquid separation, solid phase is the concentrate, liquid phase is also high grade iron oxide.

To put ammonia into the liquid phase, iron oxide is precipitated, and solid-liquid separation again. Solid phase is high grade iron oxide, liquid phase is HCl, this HCl goes to the conduction tank, it is used in process three times. After three times, The water that consist of HCl is gone to the another tank that is added NaOH, and heated, is precipitated salt ( $\text{NaCl}\cdot x$ ).

Mainly, the process occurred leaching, solid-liquid separation and precipitation using the chemicals. After the processing, could get three different economic concentrates.

This process has to controlled by an automation system. A process control system is investigated for this process. But it has not finished yet. This is a beginning of process control system. Using this system is measured the temperature and pressure automaticly, and can be control the system.

This investigation stage has got a different approach that called ellips model for management of the mineral processing stages. In this model, before the decide which process will use, has to understand what the ore evaluation model. For example, bauxite evaluate model is leaching, aluminium is residual, can be precipitated a

suitable area. But the natural acid is not strong enough to solve iron oxide. That's why aluminium and iron oxide are precipitated together. If the natural system is going on with strong acid can get pure iron oxide and aluminium. This is an approach of this investigation.

**Keywords:** Refractory bauxite; leaching; hydrochloric acid, process control system.

# AKSEKİ BOKSİT CEVHERİNİN REFRAKTER SANAYİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Bu çalışmada, refrakter boksit prosesi araştırılmıştır. Refrakter boksit %2 oranında demir oksit içeren alüminyumca zengin ( $< \%86 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ), hammaddedir (McCracken, 2000). Bu araştırma Akseki bölgesinden Almin Madencilik'e ait sahadan alınan numunelerle deneyler yapılmıştır. Ortalama % 12  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeren bohmit minerali, seyreltik HCl kullanılarak zenginleştirilmiştir. Ülkemizde her yıl 50.000-60.000 ton arasında refrakter boksit ithalatı yapılmaktadır (DPT, 2001). HCl asitle çözeltiye alma işleminde sonra tükenerler vasıtasıyla katı ve sıvı faz ayrılır. Katı faz, yüksek alüminyum düşük demir oksit ( $< 1\%$ ) içeren hammaddedir. Sıvı kısım ise yüksek oranlı demir oksit çözeltisidir.

Prosesin bundan sonraki aşamasında, sıvı faza amonyak eklenerek ve sıcaklık artırılarak demir oksit çöktürülür. Yeniden katı-sıvı ayrımı işleminden sonra elde edilen katı kısım yüksek demir oksit içeren konsantredir. Sıvı kısım ise seyreltik HCl içeren bir çözeltidir. Bu sıvı, kondüsyon tankına gönderildikten sonra tekrar proses de kullanılmaktadır. Çözme yeteneğini kaybeden sıvı ayrı bir tanka alındıktan sonra NaOH ilavesi ve ısıtma sonucunda,  $\text{NaCl} \cdot x$  tuzu oluşturulur.

Ana olarak bu proses de çözeltiye alma, katı-sıvı ayrımı ve değişik kimyasallarla çökeltme metodları kullanılmıştır.

Bu prosesin kontrolü için otomasyon sistemi geliştirilmiştir. Şu anda sadece sıcaklık ve basınç ölçülebilen bu devre, elde ettiği verileri bilgisayara göndermekte ve proses bilgisayardan kontrol edilebilmektedir. Bu çalışma proses otomasyon sistemleri için bir başlangıç niteliğindedir. Refrakter boksit prosesi için geliştirilen bu otomasyon sistemi içinde daha önceden yapılan referans deneyleri elde edilen sonuçları hatırlayan ve bunların dışında bir değerle karşılaştığı zaman hata veren bir programda yazılmıştır.

Yapılan bütün bu araştırma aşamaları, elipsin geometrik özelliğinden yararlanılarak yapılmış, bir modelle açıklanmaya çalışılmıştır. Bu modele göre zenginleştirme prosesine karar verilmeden önce, cevherin oluşum sistemi anlaşılmalıdır. Eğer bu sistem bütünüyle anlaşılırsa, verilecek karar daha verimli çalışacak tesislerin ilk aşaması olacaktır. Örneğin; boksit oluşum mekanizması, alüminyum, doğada meydana gelen asit ile çözünmemesi, diğer safsızlıkların kısmen veya tamamen çözünmesi neticesinde oluşmuştur. Taşınan ya da yerinde çökelen alüminyumca zengin süspansiyon, zengin alüminyum yataklarını oluşturmaktadır. Fakat alüminyumla beraber bulunan demir oksidi çözecek nitelikte olmayan asit yerine daha güçlü bir asit kullanılarak doğal proses devam ettirilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Refrakter boksit; çözeltiye alma; hidroklorik asit, proses kontrol sistemi

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖZET .....	viii
<b>BÖLÜM 1 – GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2 – GENEL TANIMLAMA</b> .....	<b>3</b>
2.1. Alüminyum.....	3
2.2. Kimyasal Özellikleri.....	4
2.3. Alüminyumun Tabiatta Bulunuşu .....	4
2.4. Minerolojik Yapılarına Göre Boksitler .....	5
2.5. Alüminyum Üretim Teknolojisi .....	6
2.5.1. Elektroliz Prosesi .....	8
2.5.2. Dökümhane Prosesi .....	10
2.5.3. Haddehane .....	11
2.6. Dünya’ daki Durum.....	11
2.6.1. Rezerv Durumu.....	11
2.6.2. Üretim Durumu.....	11
2.6.4. Fiyat Durumu.....	16
2.7. Türkiye’ de Durum.....	17
2.7.1. Rezerv Durumu.....	17
2.7.2. Üretim Durumu.....	19
2.7.3. Tüketim Durumu .....	19
2.8. Alüminyumun Kullanım Alanları .....	20

<b>BÖLÜM 3 – REFRAKTER BOKSİT PROSESİ</b> .....	23
3.1. Giriş .....	23
3.2. Proses Geliştirmede Farklı Bir Bakış Açısı.....	23
3.3. Boksit Jeolojisi .....	25
3.3.1. Demir Oksitler .....	26
3.3.2. Kil mineralleri.....	26
3.3.3. Boksit Oluşumu .....	28
3.4. Refrakter Boksit Olarak Kullanılabilirliği.....	29
3.4.1. Refrakter Boksit.....	29
3.4.1.1 Tarihçe .....	30
3.4.1.2 Genel Üreticiler.....	32
3.4.1.2.1 Çin .....	32
3.4.1.2.2 Brezilya .....	33
3.4.1.2.3 Guyana .....	33
3.4.1.3 Boksit Tüketimi .....	34
3.4.1.4 Gelecekte Piyasaların Durumu .....	35
3.5. Prosesde Kullanılan Ana Kimyasal.....	38
3.5.1. Hidroklorik Asit.....	38
3.5.1.1 Üretim .....	39
3.5.1.1.1 Direkt Sentez .....	39
3.5.1.1.2 Organik Sentez .....	40
3.5.1.2 Endüstriyel Market.....	40
3.5.1.3 Kullanım Alanları .....	40
3.5.1.3.1 İyon Değiştiriciler .....	41
3.5.1.3.2 pH Kontrolü ve Nötralizasyon .....	41
3.5.1.3.3 Çelik Pickling.....	41
3.5.1.3.4 İnorganik Bileşiklerin Üretimi .....	41
3.5.1.3.5 Organik Bileşiklerin Üretimi.....	41
3.5.1.3.6 Diğer Uygulamaları.....	42
3.5.1.4 Güvenlik.....	42

<b>BÖLÜM 4 – DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>43</b>
4.1. Giriş.....	43
4.2. Deneylerde Kullanılan Numune ve Temini.....	44
4.2.1. Akseki Cevherin Genel Mineralojik ve Kimyasal Analizi.....	44
4.2.1.1 Mineralojik Analiz.....	44
4.2.1.2 Kimyasal Bileşimi.....	45
4.3 Boyut Küçültme İşlemleri.....	46
4.3.1. Primer Kırma.....	46
4.3.2. Primer Kırma Elek Analizi.....	46
4.3.3. Sekonder Kırma.....	49
4.3.4. Öğütme.....	49
4.4. Zenginleştirme Yöntemi Seçimi.....	51
4.4.1. Çözeltiye Alma.....	52
4.4.1.2 Sıcaklık ve Zaman Faktörü.....	54
4.4.2. Prosesin Değerlendirmesi.....	56
4.4.3. Amonyak İlavesi.....	57
4.4.4. NaOH İlavesi.....	57
4.5 Refrakter Boksit Tesisi.....	57
<b>BÖLÜM 5 – OTOMASYON SİSTEMİ.....</b>	<b>62</b>
5.1. Giriş.....	62
5.2. Devre Tasarımı.....	64
5.2.1. Devrenin Çalışması.....	64
5.3. Devrede Kullanılan Elemanlar.....	66
5.3.1. PIC Mikrodenetleyicilerin Üstünlükleri.....	66
5.3.2. DS1721 sıcaklık sensorü.....	67
5.3.3. DS1775 Sıcaklık Sensörü.....	67
5.3.4. TC74 Sıcaklık Sensörü.....	68

	<b>Sayfa</b>
<b>BÖLÜM 6 - SONUÇLAR</b> .....	69
<b>KAYNAKÇA</b> .....	71
<b>EKLER</b> .....	74
Akseki Proje - Proses Kontrol Sistemi Akım Şeması .....	75
Akseki Proje - HCl ve Refrakter Boksit Üretim Tesisi Akım Şeması .....	76

## BÖLÜM 1 GİRİŞ

Ülkemizde boksit madenciliği ve bununla paralel zenginleştirme çalışmaları maalesef gelişmemiştir. Alüminyum üretimde ekonomiklik olarak tek sayılabilecek bir hammadde olan boksit ülkemizde 400 milyon ton civarında bulunmaktadır (UNCTAD, 2000). Yapılacak arama çalışmalarıyla bu rakamın çok daha üstüne çıkılabileceği olasıdır.

Ülkemizde yıllık 60.000 ton alüminyum üreten, 70'lerin Rus teknolojisine sahip özelleştirme kapsamında bir alüminyum tesisi ve boksit kırma-eleme tesislerinden ibarettir (Sönmez, 1997). Bu anlamda yapılan bu çalışma, boksitin ekonomiye katılması, ülkemizde ithal edilen alüminyum, alüminyumlu bileşikler, refrakter boksit gibi ürünleri kendi üretir hale gelmesi açısından bir adım niteliğindedir.

Ülkemizde refrakter sanayi yılda 40000–50000 ton refrakter özellikte boksit kullanmaktadır(DPT - Refrakter,2001). Hali hazırda üretimi yapılmayan refrakter özellikte boksit dışarıdan ithal edilmektedir. Boksitin refrakter sanayide kullanılabilmesi için  $Al_2O_3$  oranının min % 85,  $Fe_2O_3$  oranının max % 2, alkali oranının ise olabildiğince düşük olması istenir (Nagayama,2001).

Dünya refrakter boksit pazarını Çin, Guyana, Brezilya paylaşmaktadır (Bill,2003). Genel olarak dünya refrakter boksit tüketimi 1.000.000 ton/yıl' dan fazladır. Dünya demir – çelik endüstrisinin üçte ikisi boksit tabanlı refrakter ürünler kullanmaktadır. 1 ton çelik üretimi için 10 kg refrakter boksit harcanmaktadır. Diğer refrakter tabanlı malzemeler tarih boyunca önemlerini kaybettiği dönemler olmuştur. Bununla beraber, boksit uzun zamandır önemi korumakta ve kullanımı her geçen gün artmaktadır (McCracken, 2000).

Boksit oluşumunda, değişik modeller vardır. Fakat bu modeller temelde alüminyum ve demirin ortamda oluşan asit tarafından çözülmemesi, kalsit, silis gibi diğer ürünlerin çözülmesi ve pH'ın çeşitli sebeplerden düşmesi sonucu Al ve Fe' in

çökeldiği konusunda birleşmektedir (Valeton, 1972). Refrakter boksit prosesi geliştirilirken, doğanın başlattığı reaksiyon devam ettirilmiş, Düşük pH' da demirde çözeltilere alınarak, pH başka bir yerde yükseltilerek çökmesi sağlanmıştır. Zenginleştirme de, verimin en yüksek olacağı proseslerin, oluşum sistematığı iyi bir şekilde anlaşılabilir olarak dizayn edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Seyreltik HCl asit çözeltisi kullanılarak geliştirilen üretim prosesi, otomasyon şeklinde düşünülmüştür. Proses aşamaları ayrılarak, kontrol kolaylığı sağlanabilir. Fakat burada bütün kademeler birleşik düşünülerek, gerek asit kullanımı sebebiyle ortamda insan bulunmaması, gerekse proses parametrelerinin optimize edilmesinden sonra verimliliğin ve nispeten kontrol daha etkin yapılacağı amacıyla proses kontrol sisteminin ilk adımları atılmıştır.

Ölçme ve ölçme teknikleri endüstriyel hayatın olmazsa olmazlarından. Günümüzde bütün sektörlerde ölçme tasarımların temelini teşkil eder. Çevresel etmenlerden kaynaklı, parametreleri değişen ortamlara kendisini uyarlayabilen tasarımlar daha uzun süre çok daha kararlı çalışırlar. Yapılan tasarım gelecekte bu düşünce hedeflenerek yapılmıştır. Çünkü cevher hiçbir zaman homojen değildir. Bütün bunları hesaplayabilen parametreleri çalışırken güncelleyebilen veya değiştirilebilen bir sistem cevher zenginleştirme tesisleri için çok önemlidir.

## BÖLÜM 2

### GENEL TANIMLAMA

#### 2.1. Alüminyum

Danimarkalı Oersted tarafından (1825) yılında, alüminyum klorürü ( $AlCl_3$ ) potasyum amalgamlarıyla ısıtarak metalik alüminyumunu toz halinde elde etmiştir. Bu neticeyi Wöhler' e bildirmiş, Wöhler de amalgam yerine saf potasyum kullanarak külçe halinde ilk ham alüminyum metalini elde etmeyi başarmıştır (1827) (Edwards, J.D., Frary F.C., and Jeffries Z. 1989).

Gümüş parlaklığında beyaz bir metal olan, düşük özgül ağırlığına sahip alüminyum, demirden üç kez daha hafiftir.

#### 2.2. Kimyasal Özellikleri

Alüminyum ısı etkisi ile halojenler, oksijenler, kükürt, azot ile ve yüksek sıcaklıkta karbonla doğrudan reaksiyona girer. En önemlisi oksijene karşı olan büyük ilgisidir. İnce dağılmış alüminyum tozu oksijenle hızla birleşerek alüminyum oksit meydana gelir. Bu sırada yüksek ısı açığa çıkar (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001).

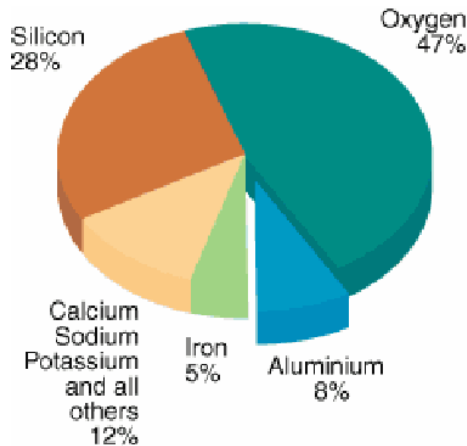


Oksijene olan bu yüksek ilgisi nedeniyle iyi bir indirgendir. Bu özelliğinden faydalanarak demir kaynağı yapımında, krom, mangan eldesinde kullanılır. Alüminotermi veya Goldschmidt yöntemi denilen bu yolla elde edilen metaller, karbonla indirgenerek elde edilenden çok daha saftır.

Amalgamlaştırılmış bir alüminyum levhası kısa bir süre havada bırakılırsa, havadaki nemin etkisiyle meydana gelen alüminyum hidroksitten ibaret olan beyaz lifler elde edilir. Bu suretle elde edilen alüminyum hidroksit ve bunların kızdırılmasıyla elde edilen oksit son derece geniş hacimli olup dış yüzeyi oldukça

aktiftir. Organik kimyada indirgen olarak kullanılmaktadır.

### 2.3. Alüminyumun Tabiatta Bulunuşu



Yerkabuğunda % 7.45 oranıyla tabiatta en bol bulunan metaldir. Alüminyumun tabiatta hiçbir zaman metal olarak bulunmaması ve son derece kararlı bileşikler oluşturmaması, yakın zamana kadar keşfedilmesine engel olmuştur. Tablo 2.1' de Alüminyumun tabiatta bulunuşu mineral isimleri ve kimyasal förmülleriyle verilmiştir. Şekil 2.1'de alüminyumun tabiatta bulunuşu verilmiştir.

Şekil 2.1 : Alüminyumun tabiatta bulunuşu yüzdesel olarak verilmiştir (Gitzen W.H. 1985).

Tablo 2.1 : Alüminyumun Tabiatta Bulunuşu (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001).

Mineralin Adı	Kimyasal Förmüllü
Jipsit	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$
Böhmit	$Al_2O_3 \cdot H_2O$
Diaspor	$Al_2O_3 \cdot H_2$
Korendon	$Al_2O_3$
Kriyolit	$Na_3AlF_6$
Kaolinit	$Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$
Ortoklas	$KAlSi_3O_8$
Plajjoklas	$NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8$
Muskovit	$KAl_2(AlSi_3O_8)(F,OH_2)$
Biotit	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}$
Nefelin	$NaAlSiO_5$

Alüminyum üretiminde kullanılan en önemli cevher boksittir. Boksit üç ayrı mineralin oluşturduğu orak bir grup adıdır. Değişik boyutlarda boksit fotoğrafları Şekil 2.2' de verilmiştir.

## 2.4. Minerolojik Yapılarına Göre Boksitler

1 – Diyasporitik Boksitler (Monohidratik) : Yüksek sıcaklıklarda teşekkül ettikleri ileri sürülmektedir (Valeton, 1972).



Şekil 2.2 : Diyasporit – Ayrancı

2 – Gibsitik Boksitler (Trihidratik) : Püskürük kayalardaki feldspat ve korundun düşük sıcaklıklarda ayrışması ile oluşur.

3- Böhmitik Boksitler (Monohidratik) : Gibsitin dehidratasyonu sırasında bir ara ürün olarak ortaya çıkmışlardır.

## 2.5. Alüminyum Üretim Teknolojisi

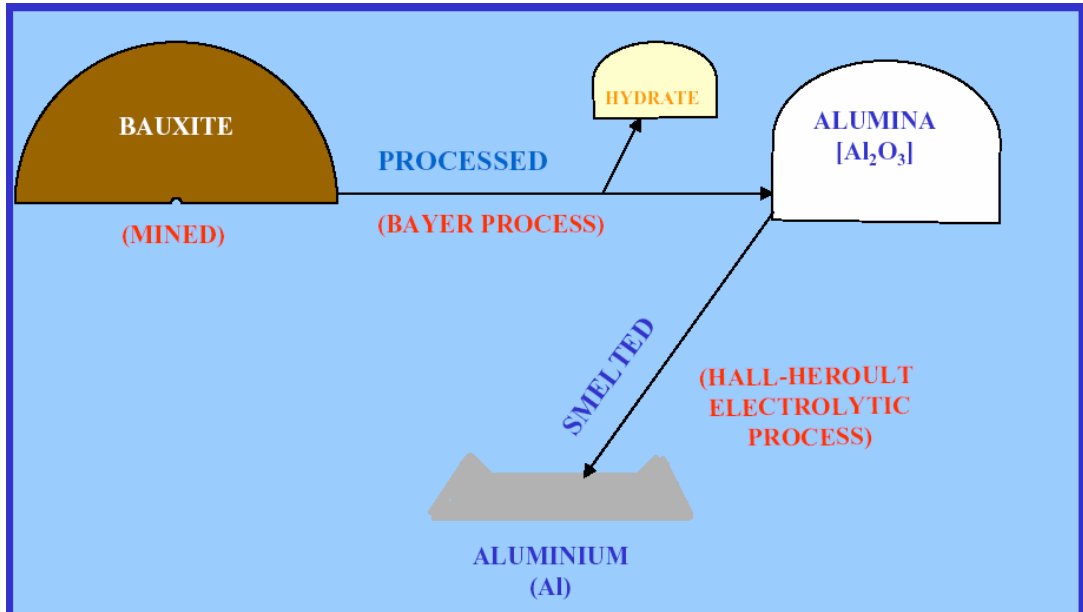
Prosesin temel kuramı 1887 yılında Karl Joseph Bayer tarafından geliştirilmiştir. İlk Patent, sodyum alüminat çözeltisinin alüminyum hidroksit aşırı kristalleri veya karbonik asit çözünürleştirme prosesi denilen boksitlerin  $Al_2O_3$  içeriğinin sodyum hidroksit çözeltilerinde sodyum alüminat oluşumu ile çözünebileceği kavramını ifade eder (Edwards, J.D., Frary F.C., and Jeffries Z. 1989).

Bayer tarafından ortaya konulan temel ilkeler yıllar boyunca önemli değişikliğe uğramamıştır. Sadece gelişen teknolojiyle prosesde kullanılan kimyasallar değişmiş etkisi artırılmıştır.

Genellikle Bayer Prosesi % 50' den fazla alümina % 15' ten az silis içeren yüksek kaliteli boksit işlenmesini gerektirir. Bununla birlikte proses teknolojisindeki uygun değişiklikler ve daha başka bazı teknolojik birikimlerin ilavesi ile, daha

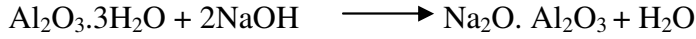
yüksek oranda silis ve daha düşük oranda alümina (% 40 – 45 ) bulunan boksitlerden de alüminayı ekonomik olarak üretmek mümkündür. Nitekim, Çin % 15, Fransa’ da % 16, A.B.D.’ de % 24 ve Rusya’ da % 32  $\text{SiO}_2$  içeren boksitlerin işletildiği bilinmektedir. Fakat prosesdeki bu değişikliklerin neler olduğu bilinmemektedir (Sönmez, 1997).

Boksitteki  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ’ e bir yada üç molekülü bağlanmış olmasına göre iki ayrı yöntem geliştirilmiştir. Düşük kostik konsantrasyonunda ve düşük sıcaklıkta gibsitik boksitlere uygulanan Amerikan Prosesi, daha yüksek konsantrasyon ve sıcaklık gerektiren, böhmitli boksitlere uygulanan Avrupa Prosesidir. Ancak sıcaklık ve kostik konsantrasyonundaki farklılıklara rağmen her iki proses de birbirine özdeştir. Boksit cevherinin basitleştirilmiş üretim yöntemi Şekil 2.3’ de verilmiştir (Edwards, J.D., Frary F.C., and Jeffries Z. 1989).

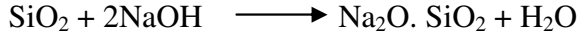


Şekil 2.3 : Boksit Cevheri Basitleştirilmiş Üretim Yöntemi (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001)

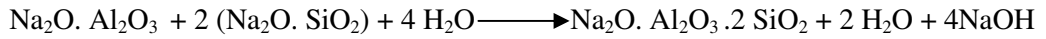
Bu prosesde, kırılan cevher sodyum hidroksit çözeltisi ve sirküle çözeltiyle beraber bilyalı değirmenlerde 270 mesh ( $53 \mu$ )’ e öğütülür. Bazen karışıma biraz kireç ilave edilir. Öğütülmüş ham pülp çözünürleştirme işlemi için otoklavlara pompalanır.  $100^\circ \text{C}$ ’ nin üzerinde boksitteki alüminyum hidroksit sodyum hidroksitle reaksiyona girip sodyum alüminat oluşturmaya başlar.



Boksitteki  $\text{SiO}_2$  sodyum hidroksitle reaksiyona girip sodyum silikat oluşturur.



Sodyum silikat sodyum alüminatla reaksiyona girip sulu çözeltilerde çözünmeyen sodyum alüminyum silikat yapar.



Sonuç olarak sodyum alüminat çözeltisinde silisin sebep olduğu safsızlık kalmaz. Fakat bir miktar sodyum hidroksit ve çözünmüş alüminyum oksit kaybolur.

Boksitte bulunan % 2 – 3 civarında titan çözünürleştirme işleminde etkilenmeden kalır. Fakat  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  gibi safsızlıklar çözeltiliye geçerler. Çözünürleştirme işlemi  $250^\circ \text{C}$  ve kadar sıcaklıkta 30 atm basınç altında 190 gr / lt kadar kostik konsantrasyonlarında otoklavlarda yapılır. Isıtma buharla yapılmaktadır.

Otoklavlardan çıkan pülp sodyum alüminat çözeltisi ve kırmızı çamur içerir. Çöktürücülerde kırmızı çamurdan ayrılan sodyum alüminat çözeltisi filtre edilerek katı safsızlıklardan arındırılır.

Dekompozörlerde sodyum alüminat çözeltisinden alüminyum hidroksit ayrıştırılır. Alüminyum hidroksit içeren pülp filtre edilerek hidrat çözeltisinden ayrılır.

Hidrat kalsine edilerek alüminaya çevrilir. Çözelti tekrar kullanılmak üzere buharlaştırıcılarda konsantrasyonu yükseltildikten sonra değirmenler gönderilir.

Bu proseste 1 ton alümina üretimi için 2 – 2.5 ton boksit, 0.07 – 0.16 ton NaOH, 3 ton buhar ve 300 Kwh elektrik enerjisi kullanılır. Boksitten  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kazanılması

verimi % 90' a ulaşabilir. Diğerlerine göre ekonomik olduğu ve iyi kalitede alümina üretimi sağladığından en yaygın kullanılan prosestir. Boksitin içerdiği her kg  $\text{SiO}_2$  için 0.85 kg  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve 0.67 kg NaOH kaybı gerektirdiğinden düşük silisli boksitler en uygun prosestir (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001).

### 2.5.1. Elektroliz Prosesi

Elektroliz olayı ana maddesi kriyolit olan elektrolit içinde meydana gelir. Elektroliz ünitesi Şekil 2.4' de verilmiştir. Tipik bir kriyolit bileşimi şöyledir :

**F % 51**

**$\text{Al}_2\text{O}_3$  % 12.5**

**Na % 30**

**$\text{SiO}_2$  % 0.3**

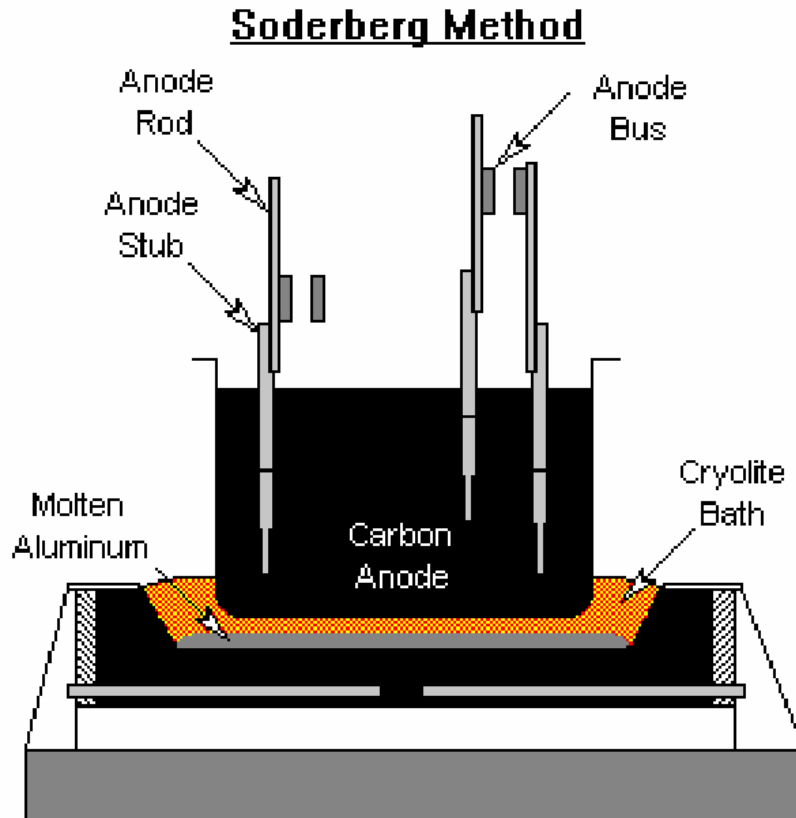
Elektrolitin bileşimi aşağıdaki gibidir :

**Kriyolit % 86 – 90**

**Alümina % 2 – 10**

**$\text{AlFe}_3$  % 2 – 5**

**$\text{CaFe}_2$  % 3 – 5**



Şekil 2.4: Elektroliz Ünitesi (Sönmez, 1997)

Ergimiş elektrolit saydam, akışkan ve oldukça koroziv bir sıvıdır. Özgül ağırlığı  $2.95 \text{ gr / cm}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ ' de),  $2.1 \text{ gr / cm}^3$  ( $960^\circ\text{C}$ 'da ) dır. Diğer bazı özellikleri şöyle özetlenebilir (Sönmez , 1997).

- 1 Ergime sıcaklığı alüminyumun ergime sıcaklığına yakındır.
- 2 Viskozitesi düşüktür.
- 3 Özgül ağırlığı sıvı alüminyumun özgül ağırlığından düşüktür.
- 4 Alüminayı % 16 oranında eritebilir.
- 5 Elektrik iletkenliği yeterli düzeydedir.
- 6 Karbonla reaksiyona girmez.
- 7 Nem çekici değildir.
- 8 Proses sıcaklığında aşırı uçucu madde içermez.
- 9 Alüminyum üretim maliyetine etkisi azdır.

Elektrolitin ergime, yoğunluk, viskozite, elektrik iletkenliği, yüzey gerilimi ve alüminayı erime kabiliyeti gibi özelliklerini iyileştirmek için LiF, NaF, BeFe<sub>2</sub>, MgFe<sub>2</sub>, CaFe<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, AlFe<sub>3</sub> gibi maddeler ilave edilir. Bunların içinde en faydalısı LiF olmasına rağmen pahalı olduğundan tesislerde AlFe<sub>3</sub> ve CaFe<sub>2</sub> kullanılmaktadır.

Anottan açığa çıkan CO ve CO<sub>2</sub> gazları hücre brülörüne verilir. Burada CO yakılarak gaz kanalları ve gaz temizleme ünitesine gönderilir. Temizlenen gaz atmosfere verilir (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001).

### 2.5.2 Dökümhane Prosesi

Elektroliz hücrelerinden refrakter astarlı potalarla  $900^\circ \text{C}$  sıcaklıkta gelen sıvı alüminyum, katkı maddeleri ve çeşitli kaynaklardan gelen alüminyum hurdalarla birlikte işlenir.

Dökümhane, gerek tesis içinde kullanım amacı ile gerekse yurt içindeki sanayinin ihtiyacına cevap vermek için çeşitli bileşim ve şekilde alüminyum yarı ürünleri döker ve ısıl işlemlerini yapar. Bir ton külçe için 0.698 ton sıvı alüminyum, 0.175 ton hurda, 0.137 ton alaşım metali, 198 Kwh elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

Ürünler şekil açısından şöyle sınıflandırılabilir:

### **1 – Döküm İngotu :**

Saf ve alaşımlı külçe (14 kg), T – İngot (600 – 1000 kg) ingotlarıdır.

### **2 – İşleme İngotu :**

a ) Yuvarlak İngot: Çekme mamülleri imalatında kullanılır. 800 – 240 mm çaplarında çeşitli boylarda 300 kg ağırlığına kadar olabilirler. Boru imalatı için içi boş olarak dökülmüş olanları da vardır.

b ) Yassı İngot : Hadde mamülleri imalatında kullanılır. Dikdörtgenler prizması şeklinde olup 25000 – 10000 kg kadar olabilir.

c ) Köşeli İngot

### **3 – Sürekli Döküm Çubuk Filaşmin**

### **4 – Sürekli Döküm Levha**

**5 – Platina :** En fazla 40 mm kalınlığa kadar olan plakalardır.

**6 – Granüle Alüminyum :** 3 – 20 mm çapında alüminyum tanecikleri şeklindedir.

**7 – Toz Alüminyum :** Boya sanayinde kullanılmaktadır.

#### *2.5.3 Haddehane*

Alüminyum dökümhanesinden gelen yuvarlak ve yassı ingotları işleyerek, çeşitli profiller ve yassı ürünler üreten haddehane fabrikası, alüminyum üretim zincirinin son halkasıdır (Sönmez, 1997).

## **2.6. Dünya’ daki Durum**

### *2.6.1 Rezerv Durumu*

Dünya’ daki boksit rezervleri Tablo 2.2’de (DPT-Boksit,2001) verilmiştir.

Tablo 2.2 : Dünya Boksit Rezervleri (DPT-Boksit,2001)

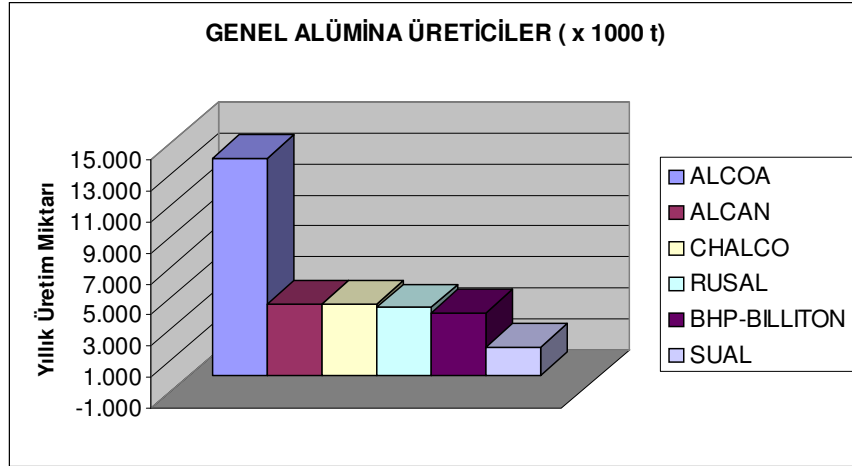
ÜLKE	REZERV	BAZ REZERV
ABD	20	40
Avustralya	3200	7000
Brezilya	3900	4900
Çin	720	2000
Gine	7400	8600
Guyana	700	900
Hindistan	1500	2300
Jamaika	2000	2000
Rusya	200	200
Surinam	580	600
Venezuela	320	350
Yugoslavya	350	400
Yunanistan	600	650
Türkiye	36	400
Diğerleri	3474	3660
<b>TOPLAM</b>	<b>25000</b>	<b>34000</b>

### 2.6.2 Üretim Durumu

Dünya’ da boksit üretimi yapan firmalar Tablo 2.3’ de verilmiştir. Firmalar üretim değerleri ait grafik Şekil 2.5’ de (Dr. Horkel,2004) verilmiştir.

Tablo 2.3 Dünya’da üretim yapan kuruluşlar, üretim miktarları, tesisleri (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001)

COMPANIES	TOTAL ALUMINA PRODUCTION (KMT/YR)	COUNTRIES OF OPERATION	PLANTS
ALCOA	12,115	Australia	Kwinana, Pinjara & Wagerup
		Brazil	Pocos De Caldas & Alumar
		Suriname	Suralco (60%)
		Jamaica	Jamalco (50%)
		Spain	San Ciprian
ALCAN	3,260	Australia	Gove
		Brazil	Saramenha
		Canada	Jonquiere
		India	Indal
RUSAL	4,350	Russia	Achinsk,
		Ukraine	Nikolaev, Zaporozhye
		Kazakhstan	Pavodar*
		Guinea	Friguia
CHALCO	4,590	China	Guizhou, Pingguo, Shaanxi, Shandong, Great Wall & Zhongzhou
PECHINEY	1,330	France	Gardanne
		Greece	Alumina De Greece
GLENCORE	3,580	Jamaica	Kirkvine & Ewarton
		Ireland	Aughinish
		Italy	Euralumina
BILLITON	4,000	Australia	Worsley
		Suriname	Suralco
KAISER	3,000	USA	Gramercy
		Jamaica	Alpart
		Australia	QAL (12%)
SUAL	1,800	Russia	Uralski, Bogovslowski



Şekil 2.5 : Firmaların üretim değerleri, 2004 verileri ile güncelleştirilmiştir (Dr. Horkel,2004)

Şu anda sektörde üretim yapan bu firmaların en büyüğü Alcoa' dır. Alcoa, Pechiney ve Kaiser' de satın alarak üretim miktarını artmıştır. Billiton' unda üretim miktarını artırmak için çalışmaları devam etmektedir. Alcoa' yu finanse eden Melon Bank (Amerika) dünya' da alüminyum sektörüne büyük ölçüde yön vermektedir. Fakat belirtmelidir ki Çin' in bu gidiş hattaki önemi fazladır (Litchfield, L. 1990). Tablo 2.4' de Dünya boksit üretimi verilmiştir. Tablo 2.5' de (DPT-Boksit,2001) Dünya Alümina üretimi verilmiştir.

Tablo 2.4 Dünya boksit üretimi (DPT,Boksit,2001)

ÜLKE	1993	1994	1995	1996	1997 e/
Albania e/	2	2	1	1	1
Australia	41320	41733	12655	43063 r/	44065 3/
Bosnia and Herzegovina e/	100	75	75	75	75
Brazil	10001 r/	8673	10214 r/	12307 r/	12300
China e/	3500	3700	5000	6200	8000
Croatia	2	1 e/	2 r/	- e/	-
Ghana	365 r/	452 r/	697 r/	631 r/	519
Greece	2205	2196	2200 r/	2452 r/	2211 3/
Guinea e/4/	15300 r/	13300 r/	15800 r/	16500 r/	16500
Guyana 4/	2125 r/	1732 r/	2028 r/	2485 r/	2502 3/
Hungary	1561	836 r/	1015 r/	1044	743 3/
India	5277	4809	5240 r/	5757 r/	5800
Indonesia	1320	1342	899	1000 e/	1100
Iran	100 e/	68 r/	148 r/	150 r/ e/	150
Italy e/	90	23	11	-	-
Jamaica 4/5/	11307 r/	11564	10857	11863 r/	11875 3/
Kazakistan	3000 e/	2425	3071	3140 e/	3100
Malaysia	69 r/	162	184	219	279 3/
Mozambique	6	10 3/	11	12 r/	8
Pakistan	5	5	3	4	5
Romania	186	184	174	175 r/	127 3/
Russia e/	4260 3/	3000	3100	3300	3350 3/
Serbia and Montenegro	102	-	60	323 r/	470 3/
Sierra Leone	1165	735	-	-	-
Suriname	3421 r/	3772	3530	4000	4000
Turkey 6/	538	445	232	545 r/	500
United States	W	W	W	W	NA
Venezuela	2530 r/	4419	5022 r/	4807 r/	5084 3/
<b>TOTAL</b>	<b>110000 r/</b>	<b>106000 r/</b>	<b>112000 r/</b>	<b>120000 r/</b>	<b>123000</b>

Tablo 2.5 Dünya Alümina Üretimi (DPT-Boksit,2001)

ÜLKE	1993	1994	1995	1996	1997 e/
Australia	12598	12892	13147	13348 r/	13385 4/
Azerbaijan e/	200	100	27 4/	5	10
Bosnia and Herzegovina e/	50	50	50	50	50
Brazil	1853	1868	2141 r/	2725 r/	2750
Canada	1182 r/	1170	1064	1060 r/	1165
China e/	1820	1850	2200	2550 r/	3000
France	367 r/	344 r/	425 r/	352 r/	350
Germany	840	824	825 e/	750 r/	750
Greece	615	548 r/	598	602 r/	602
Guinea	656	640	616 r/	640 r/e/	640
Hungary	421	177	184	208	76 4/
India	1490	1456	1650	1700 e/	1700
Ireland	1103	1140 r/	1186	1234	1200
Italy	549 r/	557 r/	857	881 r/	850
Jamaica	2989	3221	3030	3200	3411 4/
Japan 5/	327	326 r/	363 r/	337 r/	340
Kazakistan e/	1000	900	1022 4/	1083 4/	1050
Romania	293	302	323	261 r/	282 4/
Russia	2500 e/	2254	2300 e/	2105	2300
Serbia and Montenegro	12	-	35 r/	186 r/	200
Slovakia e/	140	75	100	100 e/	100
Slovenia	2 r/	3 r/	14 r/	15 /r	15
Spain 6/	1060 e/	1071	1070 r/	1095 r/	1110 4/
Suriname	1507	1497	1589	1600 e/	1600
Turkey	169	155	172	159 r/	159
Ukraine e/	1010	1070	1100	1000	1000
United Kingdom e/	105	105	108	99 r/4/	100
United States	5290	4860	4533	4700	5090 4/
Venezuela	1500	1300 r/	1641	1778 r/	1800
<b>TOTAL</b>	<b>41700 r/</b>	<b>40800 r/</b>	<b>42400 r/</b>	<b>43800 r/</b>	<b>45100</b>

### 2.6.3 Tüketim Durumu

Boksit tüketim miktarı genel olarak, alüminyum veya alümina tüketim değerlerinden hareketlerle belirlenebilmektedir. Halen dünyada, yaklaşık 2 – 2.5 ton boksitten 1 ton alümina veya 4 – 4.5 ton boksitten 1 ton alüminyum üretilmektedir. Bu orana bağlı olarak ve tüketilen boksitin yaklaşık % 80' inin alüminyum

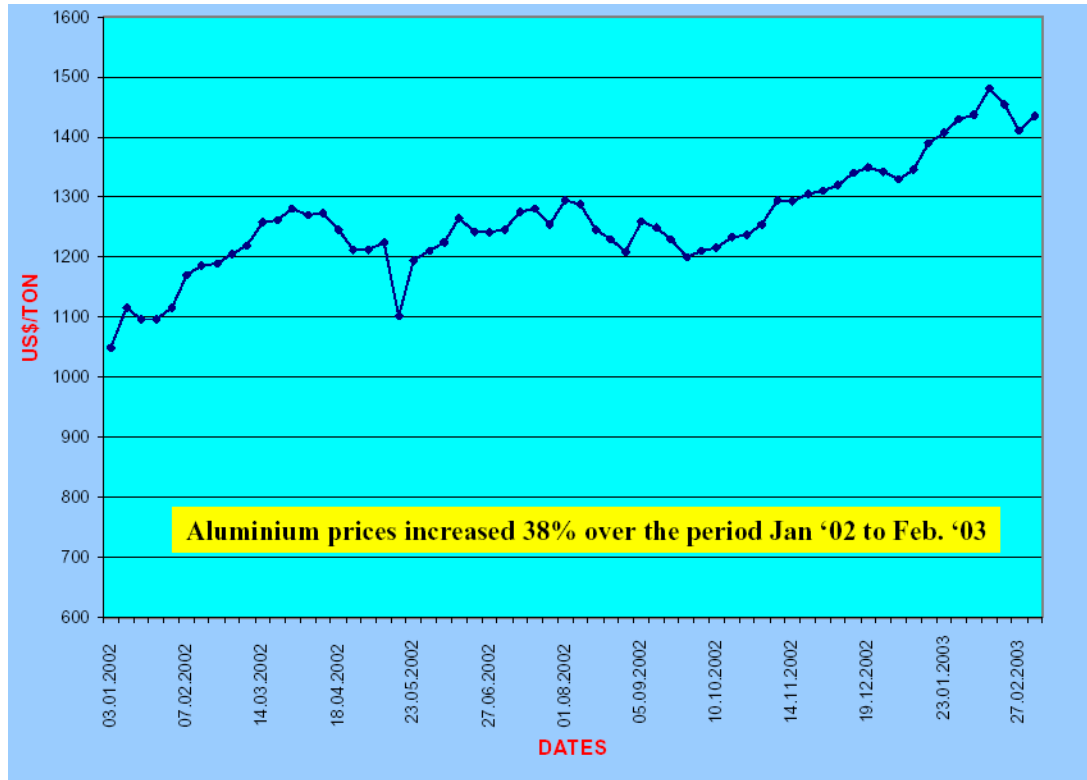
üretiminde kullanıldığı varsayımından gidilerek hesaplanmıştır. Tablo 2.6 'de Dünya alüminyum tüketim değerleri verilmiştir (DPT-Boksit,2001).

Tablo 2.6 Dünya Alüminyum Tüketim Değerleri (DPT-Boksit,2001)

	1995 Al. Üretimi	1996 Al. Üretimi	1995 Boksit Tüketimi	1996 Boksit Tüketimi
<b>Africa</b>				
Cameroon	79	82	404	419
Egypt	180	179	920	915
Ghana	135	137	690	701
South Africa	233	617	1191	3155
<b>Asia</b>				
Azerbaijan	6	-	31	-
Bahrain	454	464	2322	2373
China	1676	1771	8570	9056
India	536	531	2741	2715
Indonesia	228	223	1166	1140
Iran	119	80	609	409
Japan	18	17	92	87
Tajikistan	230	198	1176	1013
Turkey	61	62	312	317
Un. Arab Emirates	247	258	1263	1319
<b>Australasia</b>				
Australia	1297	1372	6632	7016
New Zealand	273	285	1396	1457
<b>Europe</b>				
Croatia	31	30	159	153
France	364	380	1861	1943
Germany	575	576	2940	2945
Greece	131	131	670	670
Hungary	35	33	179	169
Iceland	100	103	511	527
Italy	178	184	910	941
Netherlands	216	227	1105	1161
Norway	847	862	4331	4408
Poland	52	52	266	266
Romania	144	145	736	741
Russia	2724	1874	13930	9583
Serbia&Montenegro	17	36	87	184
Slovakia	59	110	302	563
Slovenia	70	66	358	338
Spain	362	361	1851	1846
Sweden	94	98	481	501
Switzerland	21	27	107	138
Ukraine	95	91	486	465
United Kingdom	238	240	1217	1227
<b>North America</b>				
Canada	2172	2283	11107	11674
United States	3375	3577	17259	18291
<b>Central &amp; South America</b>				
Argentina	185	184	946	941
Brazil	1188	1197	6075	6121
Mexico	10	62	51	317
Surinam	28	26	143	133
Venezuela	627	635	3206	3247
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>19710</b>	<b>20866</b>	<b>100790</b>	<b>106701</b>

#### 2.6.4 Fiyat Durumu

Boksit ve alüminyum sektörü dünya’ da tekel tarafından yönetilmesi, sektörün büyük ve kar payı yüksek olması gibi sebeplerden dolayı gerek prosesle gereksede fiyat ve diğer konularda detaylı bilgilere ulaşmak zordur. Dünya boksit fiyatları ise 20 – 35 \$ / ton değişmektedir. Bu fiyatlar liman teslimdir (FOB). Dünya alüminyum fiyat değişimi Şekil 2.6’ da verilmiştir (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001).



Şekil 2.6 Dünya’ daki alüminyum fiyat değişimi (Hudson L.K., Misra C., Wefers K. 2001).

## 2.7 Türkiye' de Durum

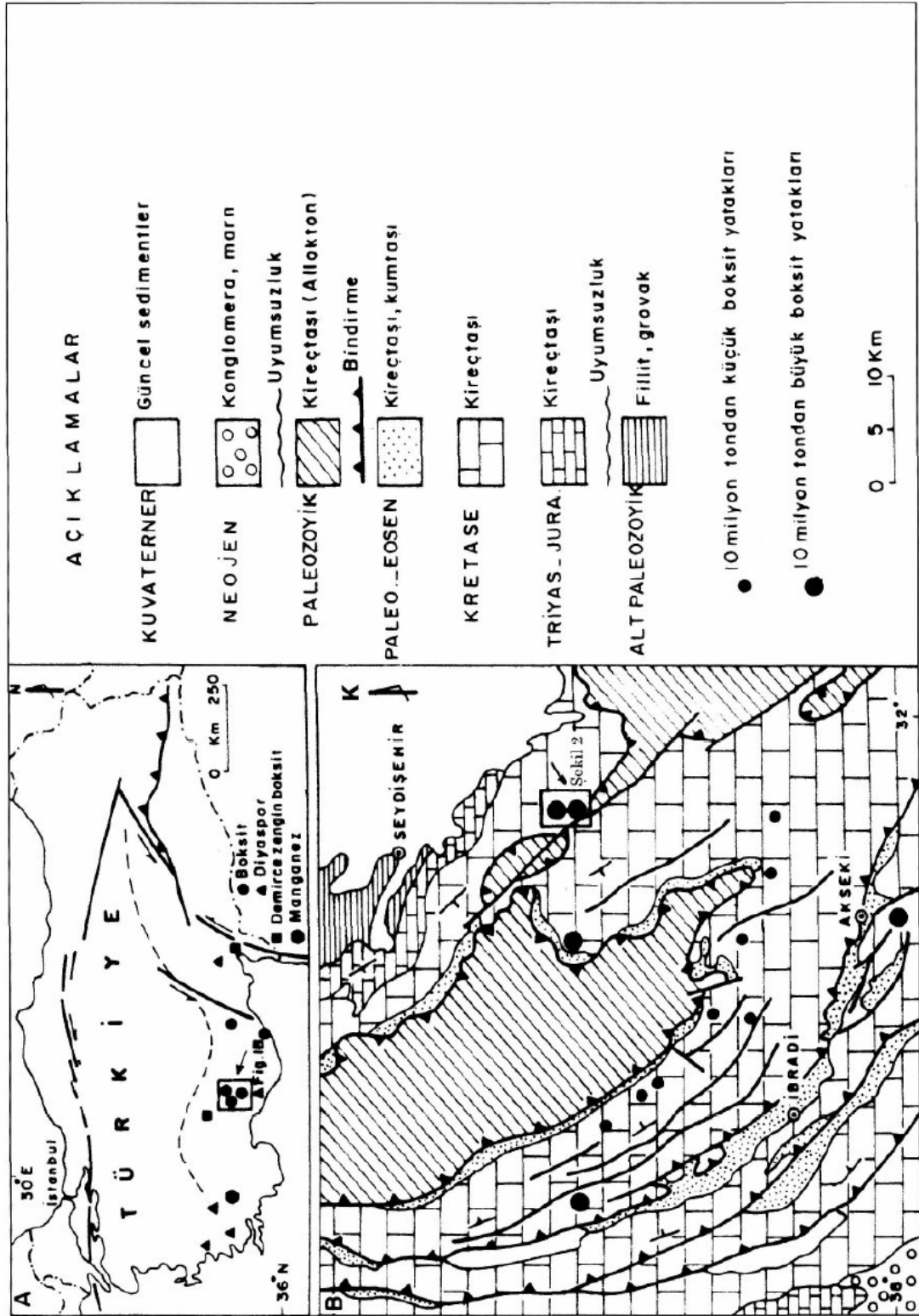
### 2.7.1 Rezerv Durumu

Türkiye boksit yatakları, Kokaksu yatağı (Zonguldak) hariç tamamı Toros kuşağında bulunmakta ve en önemlileri Seydişehir – Akseki arasında yer almaktadır. Eti Holding' e en önemli boksit sahalarından bir tanesi olan Seydişehir' in genel jeolojisi : otkton temel üzerine yerleşmiş allokton birimler bulunmakta, tüm bu allokton ve otkton birimler post tektonik kırıntılarla örtülmektedir. Otkton temel kayaları, Seydişehir güneyinde izlenen ince tabakalı, açık kahve renkli grovıklar ve killi şistlerden oluşur. Bunların üzerine uyumsuz olarak Triyas ve Jura yaşlı, kalın katmanlı mavimsi – gri renkli kireçtaşları gelmektedir. Jura kireçtaşlarının üzerine Kretase yaşlı, oldukça düzgün katmanlanmalı, km ölçeğinde kalınlığa sahip kireçtaşları, bunun üzerine ise Paleosen – Eosen sedimentleri gelmektedir (Şekil 2.7) (Öztürk H., Hanılçı N. 1999).

Türkiye' deki rezerv durumu Tablo 2.7'de (DPT-Boksit,2001) verilmiştir. Fakat yeni arama çalışmaları yapılmaktadır. Bu miktarlardan daha fazla rezerv olduğu tahmin edilmektedir.

Tablo 2.7 Türkiye boksitlerinin rezerv durumu (DPT-Boksit,2001)

Bölge	Tenör (%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	REZERV				
		Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	İşletilebilir
I. Seydişehir	56.68	36.426	1.274		37.700	30.995
Milas	53.00	9.433	8.668	-	18.101	15.386
<b>Toplam</b>		<b>45.903</b>	<b>50.058</b>	<b>1.378</b>	<b>55.801</b>	<b>46.381</b>
II. Muğla (Milas Hariç)				50		
Alanya Havzası				10		
Bolkardağı "				10		
Tufanbeyli "				10		
<b>Toplam</b>				<b>80</b>		
III. İslahiye Pazar				100-120		
Beyşehir Yalvaç Havzası				60		
<b>Toplam</b>				<b>160-180</b>		



Şekil 2.7 Seydişehir – Akseki bölgesi rezerv durumu ve jeolojisi (Öztürk H., Hanılçı N. 1999).

### 2.7.2 Üretim Durumu

Zonguldak Kokaksu yöresinde faaliyet gösteren özel bir kuruluş tarafından yapılmıştır. 1982' den sonra Milas ve Kokaksu' da üretim durmuştur. İhracat imkanlarının ortaya çıkmasıyla, Milas' ta 1987' de tekrar üretime başlanmıştır. Milas ihracata yönelik yapmakta iken 1999 yılında tekrar kapanmıştır. Tablo 2.8 ' da Mortaş Boksit İşletmesi' nin üretimleri verilmiştir (DPT-Boksit, 2001). Şu anda ülkemizde birkaç tane özel şirket tarafından çalışmalar yapılmaktadır.

Tablo 2.8 Türkiye' nin boksit üretimi (Miktar = ton, Tenör = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (DPT-Boksit, 2001)

BÖLGE	1994		1995		1996		1997		1998	
	Miktar	Tenör	Miktar	Tenör	Miktar	Tenör	Miktar	Tenör	Miktar	Tenör
Mortaş	310139	56.80	210159	58.82	501333	57.61	358217	57.19	436077	56.65

### 2.7.3 Tüketim Durumu

Türkiye' de halen sadece Seydişehir' deki Eti Alüminyum A.Ş.' ne ait Boksit işletmesi faaliyet göstermektedir. Bu işletme Seydişehir' de kurulu olan 200.000 ton kapasiteli alümina tesisine boksit üretmektedir. Alümina tesisinin maksimum boksit talebi 450.000 ton / yıl mertebesinde (Normal kapasite 400.000 ton / yıl). Zaman zaman tenör, modül ve diğer hususlara bağlı olarak bu talep 500.000 ton düzeyine çıkabilmektedir. Seydişehir' de üretilen alüminanın 120.000 tonu sıvı alüminyuma dönüştürülmekte, kalan 80.000 tonu uzun vadeli sözleşmeler veya spot piyasaya satılmaktadır (UNCTAD, 2000).

Mevcut durum itibariyle Türkiye kişi başına ancak ve ancak 0.92 kg alüminyum, 3 kg alümina, 7 kg boksit tüketebilmektedir. Ülkemizin ithalatı nazarı dikkate alındığında alüminyum tüketimi 1.5 kg / kişi' nin üzerine çıkmaktadır. Bu değer dahi, ABD' de 22 kg / kişi-yıl, OECD ülkelerinde 13 kg/kişi-yıl ve dünya ortalaması olan 3.8 kg / kişi – yıl değerleri ile mukayese edilemeyecek kadar küçüktür. Bununla beraber Türkiye' de artan bir tüketim talebi gözlenmektedir (DPT-Boksit, 2001).

## 2.8 Alüminyumun Kullanım Alanları

Alüminyum doğada bol miktarda bulunuşu, düşük yoğunluğu, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, paslanmaya karşı direnci, zehirsiz oluşu, dövünelirliği, manyetik olmaması, ağırlığına oranla çok dayanıklı olması gibi özelliklerinden dolayı endüstrinin her dalında kullanılır. Bir çok alanda çelik, magnezyum, kurşun, tahta, plastik ve cam elyafı ile rekabet edebilecek durumdadır.

Alüminyum ve alaşımları başlıca inşaat, ulaştırma, kimya, gıda, elektrik ve elektronik, makine ve ekipman üretim sanayilerinde kullanılmaktadır.

İnşaat sektörü dünya alüminyum üretiminin % 20' sini kullanmaktadır. Bina cephelerinin kaplanmasında, metal doğramacılığı ve süsleme işlerinde alüminyum kullanılmaktadır.

Ulaştırma sektöründe kara, hava, deniz ve demiryolu taşımacılığı alüminyum için önemli kullanım alanlarını oluşturur. Otomotiv endüstrisinde gövde ve motor silindir bloğu yapımında kullanılır.

Hafifliđi, yüksek ısı iletkenliği ve kolay işlenme özellikleri nedeni ile uçak ve gemi endüstrisinde, demiryollarında vagon yapımında ve iç donatımında çok miktarda alüminyum kullanılmaktadır.

Kimya ve gıda sanayinde sağlığa zarar vermemesi ve iyi ısı iletkenliği nedeni ile ev ve mutfak eşyaları ile dayanıklı tüketim malları üretiminde kullanılmaktadır. Alüminyum aynı zamanda çok iyi bir ambalajlama malzemesidir. Konserve kutusu yapımı ile ilaç sanayinde koruyucu olarak kullanılır.

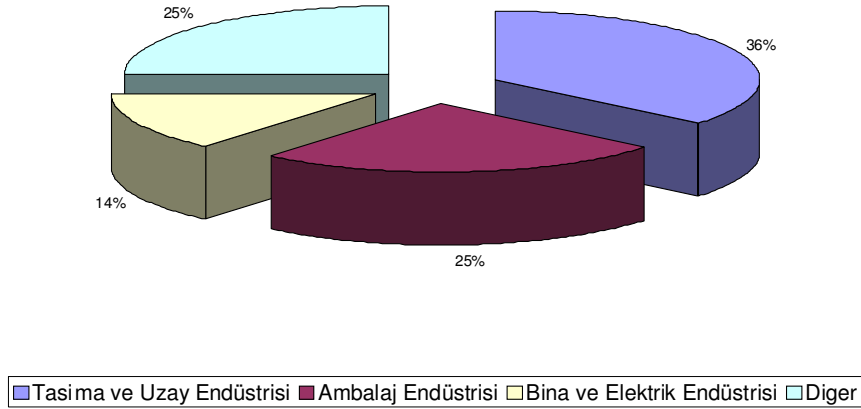
Elektrik iletimi ve elektrikle ilgili aletlerde bakırın yerini birçok sahada alüminyum almıştır. Alüminyum, eşdeğer ağırlıkta bakıra oranla iki kat daha fazla

iletkenliğe sahiptir.

Alüminyum çok ince yaprak haline getirilebilir. Bu nedenle kondansatör yapımında da kullanılır. Alüminyum ve alaşımlar suların aşındırıcı etkisine ve aitlere dayanıklı olduklarından süt, içki, derişik asit tankı ve musluk yapımında uygun bir malzemedir.

Alüminyum tozu metalurjide özellikle mangan, molibden, krom, volfram, titanyum oksitlerine indirgemek için kullanılır.

Bunların dışında petrol rafinerilerinde, atom enerjisi endüstrisinde, tarım, tekstil, matbaa, maden makineleri imalinde, kağıt endüstrisinde, gübre, roket yakıtı, mineral asiti, askeri araç ve silah yapımında kullanılmaktadır. Şekil 2.8'de alüminyumun kullanıldığı sektörler verilmiştir (Sönmez, 1997).



Şekil 2.8: Alüminyumun kullanım alanları (Sönmez, 1997)

## **BÖLÜM 3**

### **REFRAKTER BOKSİT PROSESİ**

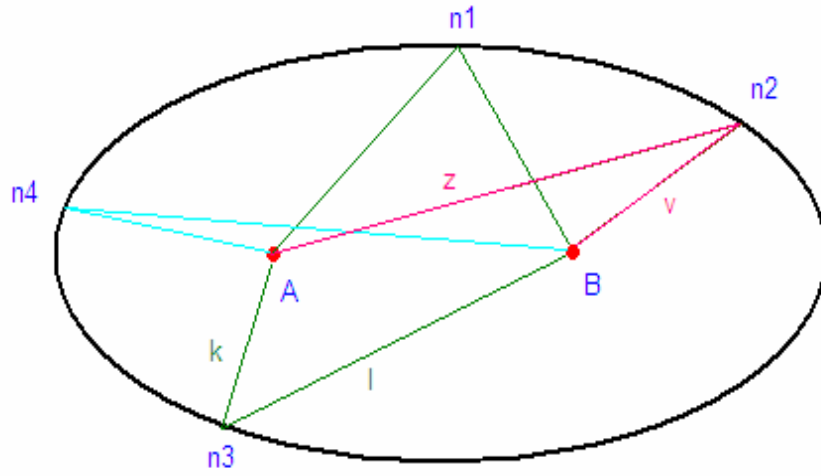
#### **3.1 Giriş**

Refrakter boksit, alüminyum ve demir çelik sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden bir tanesidir (Krause C., 1997). Ülkemizde bulunan boksit rezervleri demir ve alkali içeriği yönünden zengin olması sebebiyle, bu hammadde refrakter olarak kullanılarak ancak bir proses sonucunda kullanılabilir. Refrakter boksit, alüminyum ve demir çelik sanayinin vazgeçilmez hammaddelerinden bir tanesidir (Krause C., 1997). Ülkemizde bulunan boksit rezervleri demir ve alkali içeriği yönünden zengin olması sebebiyle, bu hammadde refrakter olarak kullanılarak ancak bir proses sonucunda kullanılabilir.

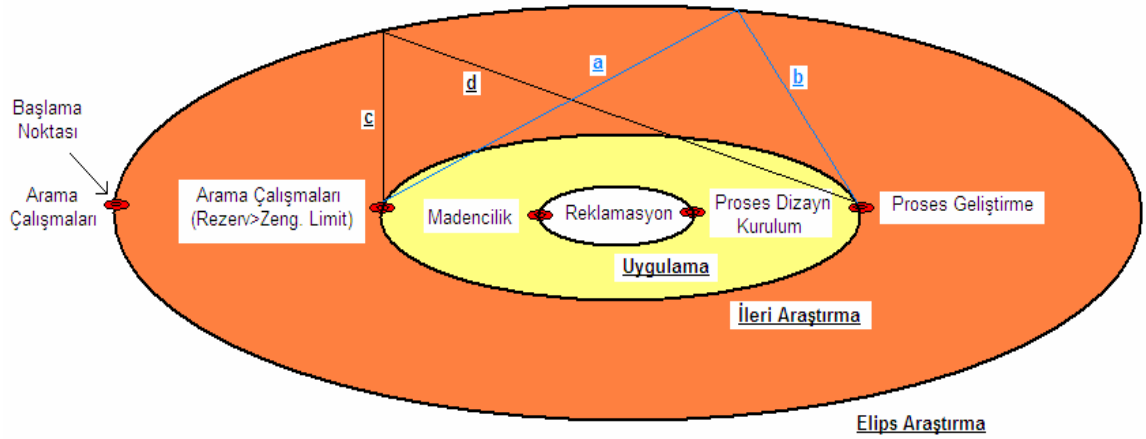
Refrakter boksit prosesi araştırması yapılırken, geliştirilen geometrik yaklaşım çerçevesinde, sistematik bir düşünce ile sonuca gidilmiştir. Bu modelde proses geliştirilirken, cevherin oluşum sistematığı açıklanmalı ve anlaşılmalıdır. Bu yaklaşımın temeli aslında yer kabuğunda belli oranlarda bulunan elementlerin, farklı sistemlerle zenginleştirilerek ekonomik cevher yataklarını oluşturmasıdır. Doğanın gerçekleştirdiği bu zenginleştirme teoride kabul edilebilecek limit verimliliğidir. Bu anlamda, boksit jeolojisi incelenmiş ve uygulanacak proses, temelde doğa tarafından gerçekleştirilen prosesin devamı niteliğindedir.

#### **3.2 Proses Geliştirmede Farklı Bir Bakış Açısı**

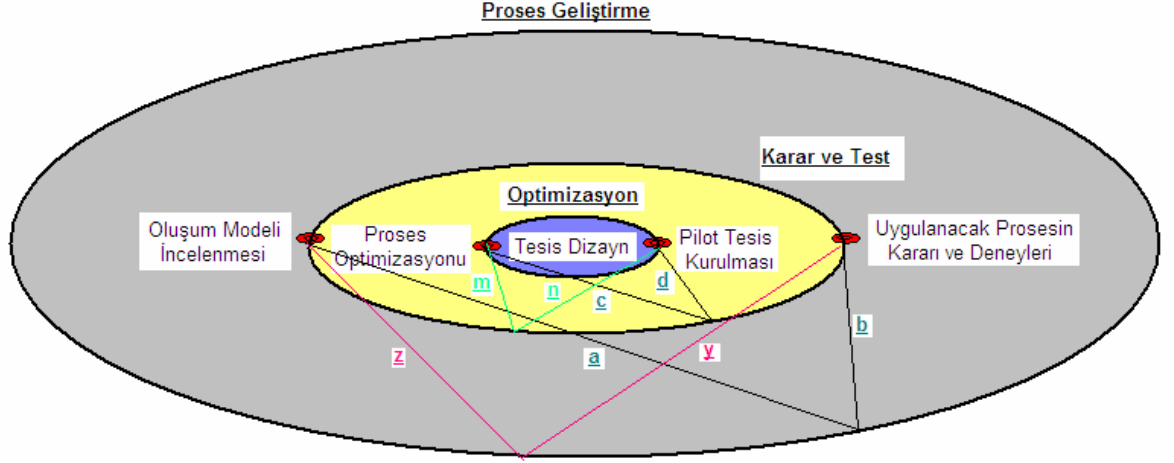
Geliştirilen bu modelde, madencilik aşamaları veya bu aşamalarındaki diğer adımlar kolayca gösterilebilmektedir. Ayrıca madencilik yönetim stratejisine farklı bir bakış açısıdır. Örneğin tespit edilen rezerv miktarı, o gün koşullarında eğer zenginleştirilebilme (maden açabilme) değerinin üstündeyse, proses deneyleri başlamalıdır. Bu model de aşamaların bütçe, zaman gibi parametrelerde gösterilebilir. Elipsin bir odağından elips üzerindeki bir noktaya oradan diğer odağa sonsuz sayıda doğru çizilebilir. Bu da bütün parametrelerin tek bir şekilde gösterilmesi kolaylığını sağlayacaktır.



Şekil 3.1 Bir elips, iki odakta oluşur. Elips üzerinde herhangi bir nokta ( $n_1, n_2, n_3, n_4, \dots$ ) seçilirse, bir odakta (A), elips üzerinde seçilen noktaya ( $n_1, n_2, n_3, n_4, \dots$ ) oradan diğer odağa (B) olan uzaklık toplamı, elips üzerinde seçilen bütün noktalar için aynıdır ( $k+l = z + v$ )



Şekil 3.2 Genel Madencilik aşamaları gösterilmiştir. Bu aşamalar arasındaki ilişki elipsin geometrik özelliğinden faydalanarak istenildiği gibi ortaya konulabilir. Noktaları oluşturan elipsler ise o noktaya ait aşamanın detay basamaklarını göstermektedir



Şekil 3.3 Örneğin proses geliştirme elipsi açılarak, bu aşamada yapılacakları görmek mümkündür

Bu düşünce sistematığına göre uygulanacak prosesin kararı, oluşum modeli incelenmesi ile beraber yürütülmeli, sadece karakterizasyon çalışmasıyla yetinilmemelidir. Bu düşünce temelde doğanın zenginleştirme sistemi anlaşılmasıyla, en yüksek verimde tesis kurulabileceğine dayanmaktadır. Örneğin; günümüzde bakteri prosesinde kullanılan *Thiobacillus ferrooxidans*'ın aslında demir cevheri oluşumunda önemli bir rol oynayan bir bakteridir. Bu kimyasal reaksiyon bu bakteri yardımıyla gerçekleşmektedir :  $2\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O} \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$ ; ferrus sülfat, ferrik sülfat ve ferrik hidrokside oksitlenir (Groudev, S. N., Groudeva, V.L., Genchev, F.N., Petrov, E.C., 1993).

### 3.3 Boksit Jeolojisi

Boksitler alüminyum minerallerinin yanında genelde demir, kil, titanyum ve nadir toprak elementleri bulundurlar. Bu safsızlıklarının kaynağı, nereden nasıl geldiği proses çözümlemesi için verilmesi gereken cevaplardır.

### 3.3.1 Demir Oksitler

Boksitlerdeki Fe oksit tenörü % 10 – 30 arasında değişir. Bunlar mineralojik olarak hematit, götit, lepidokrosit ve magnetit biçimlerinde bulunurlar. Bunlardan sonuncu, korindonla birlikte zımparalarda, boksitlerin metamorfik şekillerine katılırlar (Valeton,1972)..

Boksitler, içerdikleri demir oksitlerden dolayı renklenirler. Kırmızı boksitler hematitten, sarı olanlar götitten, beyaz olanlar da demirsizlikten ileri gelir.



Şekil 3.4 a) Ayrancı Diasporit Yatağı



b) Akseki Böhmit Cevheri

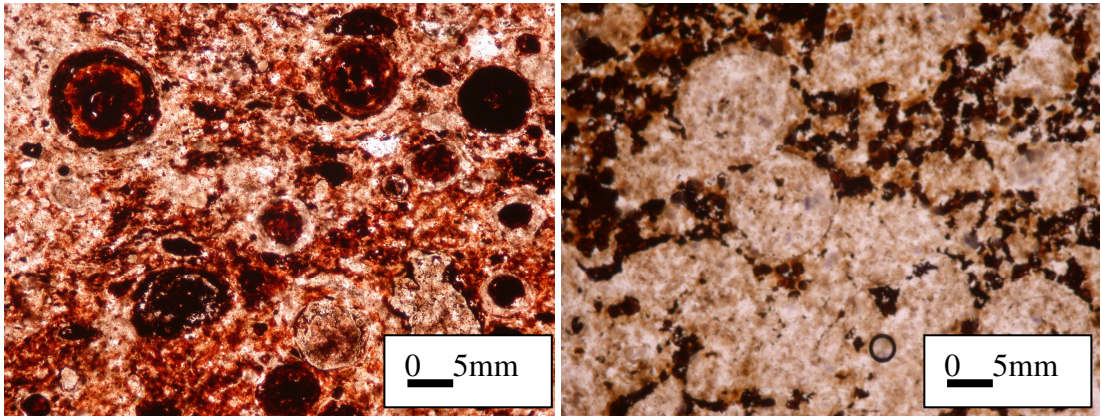
### 3.3.2 Kil mineralleri

Başlıca kaolinitten ibarettir. Silisin varlığı alümino silikatlardan ileri gelir. Opal ve kuvars olarak çok nadirdir. Kalıntı boksit yatakları ile kalıntı kil yatakları arasında tam bir ayırım yapılamaz. Yalnız birinciler sadece Al hidroksitlerden ibarettir. Bu iki grup, aslında iki kutbu teşkil etmektedir. Birincisi tropikal iklimlerde, ikincisi ılık iklimlerde gerçekleşir.

Titanyum ve nadir toprak elementler : Boksitlerin bileşimine giren diğer maddeler arasında, titan oksit vardır. Çok ince rutil tozları halinde % 2 – 5 oranında bulunurlar.  $MnO_2$  de görülür. 4 değerli Ti ve Mn' nın üç değerli Al ve Fe ile birlikte bulunmaları bu elementlerin iyon potansiyeli bakımından II nolu bölmede bulunmalarındandır. Ayrıca P,F,V, Ga, Osmiyum,Rubinyum gibi elementlerde

içermektedir. Özellikle Islahiye boksit yatağı nadir toprak element içeriği bakımından önemlidir (Dr. Horkel,2004).

Boksitlerin yapısı genellikle pizolitiktir. Birçok konsantrik halkalardan oluşmuş pizolitler, bir hamur içinde dağılmışlardır. Demir elementinin ortamdan uzaklaşmasıyla bir kısım pizolitler hamura oranla demirde fakirleşirken bir kısmı da zenginleşir. Demirli olanlar çoğunlukla ışınal veya konsantrik halkalar halinde çatlamış ve çatlaklar alüminyum hidroksitlerle dolmuştur. Bu biçim bir doku ilkel çökeltmenin jel halinde olabileceğini kanıtlar. Dolayısı ile boksitlerin dokuları kollomorftur. Pizolitlik yapılar Şekil 3.5 a ve b' de verilmiştir. Bir yandan düşünülmesi gereken soru hangi cevherin, hangi proses için uygun olabileceğidir. Demir oksidin diyasporitte her yere dissemine bir şekilde dağıldığına, böhmite içinde ise pizolit kenarlarında toplandığına dikkat edilmelidir (Pişkin, Ö., 2002).



Şekil 3.5 a) Ayrancı Diyasporit

b) Akseki Böhmite

### 3.3.3 Boksit Oluşumu

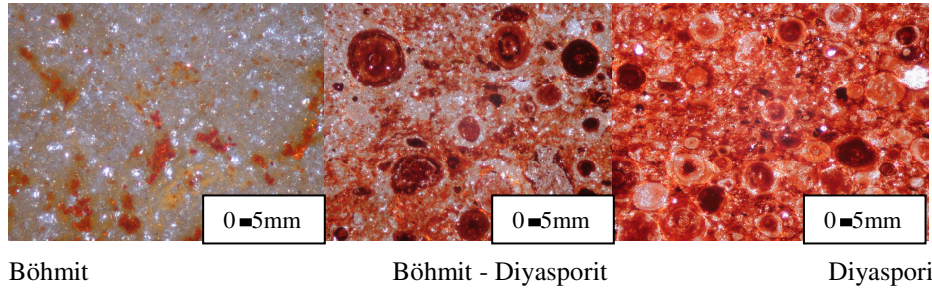
Boksit oluşumu üzerine pek çok teori vardır. Bu teorilerden burada iki tanesi kısaca anlatılacaktır. Temel olarak oluşum mekanizmasının aşamaları :

- 1 – Al kaynağı bir kayaç
- 2 – Tropikal, bol yağışlı bir iklim
- 3 – Asit Oluşumu
- 4 – Al ve Fe çözünmemesi, ortamda bulunan diğer başlıca elementlerin çözünmesi olarak sayılabilir. Bu sistem, bir çanta içinde bulunan siyah, kırmızı ve sarı toplardan

her defasında siyah topraklarının çekilmesi ve sonuç olarak çantada kırmızı ve sarı toprakların kalma olasılığı gibi düşünülebilir. Çantadan toprak çekilmeye devam edilirse ve çekilen toprakların hepsi kırmızı olma olasılığı düşünüldüğünde geride sadece sarı topraklar kalacaktır.

a ) Otokton görüş : Genellikle silikatlı kayalar üzerinde gelişen boksitler otoktondur. Al ve Fe, iyon potansiyeli diyagramında II. Bölmede bulunurlar. Yani silisin, hafifçe asit ve alkali pH için çözelti haline geçmesi, Al ve Fe için erimez demektir. Bu gelişme iklime bağlı olarak bitki örtüsü ile ayarlanır. Tropikal ormanlar altında, humik asitlerin erimeyeceği derinlikte, pH silisin uzaklaşması için uygundur. Lateritleşme konusunda yapılmış deneyler göstermektedir ki, 70 derecelik bir sıcaklıkta nemli oksitleyici atmosferde nötr haldeki devamlı bir su akımı olivinli bir bazaltın ağırlığını 5 ayda 1/100 oranında azaltmaktadır. Bazalt doğrudan doğruya serbest silis Fe ve Al hidrat biçiminde ayrılmıştır. Pas renkli, yumuşak, ufalanır ve çok gözenekli bir kabuk ile örtülmüştür.

b) Allohton Boksitler : Boksitler katmanlıdır. Çeşitli yerlerde boksit seviyeleri ile diğer karasal veya denizel killi – kumlu yahut karbonatlı tortul seviyelerin ardaşıklı oldukları görülür. Burada bir kısım boksitlerin sularla taşınmış ve yeniden çökelmiş oldukları kabul edilir. Bu yataklar başlangıçta otokton olan boksitlerin yeniden çökelmeleri ile ortaya çıkmış İkincil Boksit yataklarıdır (Valeton,1972).



Şekil 3.6 İnce kesitlerde boksit minerallerin geçişi gösterilmiştir. Ayrıca demir oksit içeriğinin diasporeye gidildiğinde arttığına dikkat edilmelidir.

### 3.4 Boksitin Refrakter Malzeme Olarak Kullanılabilirliği

Herhangi bir boksit minerallinin temel olarak refrakter sanayinde kullanılabilmesi için  $Fe_2O_3$  oranı % 2' den düşük,  $Al_2O_3$  oranı % 86 yüksek olması gereklidir (McCracken, 2000). Bu anlamda ülkemizdeki boksitlerin refrakter olarak kullanılması için zenginleştirme şarttır. Mikroskop çalışmalarından da görüleceği üzere, böhmitte demir genelde pizolitler etrafında dağılmış, diyasporit de ise her yerdedir. Proses araştırmalarında kullanılacak cevher Akseki Böhmit minerali olarak karar verilmiştir. Gerek düşük sertliği gerekse de demir içeriği ve mineralojik yapısı açısından diyasporitten daha uygun görülmektedir.

#### 3.4.1 Refrakter Boksit

Boksit, refrakterler içerisinde 1836' da Amerika' da ilk ateş tuğla tesisinin kurulmasıyla uzun bir tarihe sahip olmuştur. 1860 yılında Güney Fransa' da boksit madenciliği başlamış, 1869 yılında Guyana' da refrakter boksit rezervleri bulunmuştur. İlk defa 1917 yılında ihrac edilmeye başlanmıştır. Yıllar sonra dünyadaki 3 refrakter boksit kaynaklarından biri olan Guyana boksit rezervlerinin % 2.5  $Fe_2O_3$  dan daha az bir oranla birinci kalite düşük demirli refrakter boksit olduğu anlaşılmıştır. Diğer iki üreticiden biri olan Çin 1970' lerde gelişmiş ve ilk ihracatına başlamıştır, Brezilya ise ilk ticari üretimini 1980' lerde gerçekleştirmiş ve ihracatına başlamıştır (Boulangue B., Carvalho A., 1996).

Genel olarak dünya refrakter boksit tüketimi 1.000.000 ton/yıl' dan fazladır. Dünya demir – çelik endüstrisinin üçte ikisi boksit tabanlı refrakter ürünler kullanmaktadır.

Tablo 3.1 Refrakter boksit üretimi (McCracken, 2000)

	<b>REFRAKTER BOKSİT ÜRETİMİ</b>			
	<b>ÇİN</b>	<b>GUYANA</b>	<b>BREZİLYA</b>	<b>TOPLAM</b>
<b>1997</b>	650.000	182.000	150.000	<b>986.000</b>
<b>1996</b>	600.000	174.000	140.000	<b>916.000</b>
<b>1995</b>	625.000	190.000	108.000	<b>898.000</b>

Tablo 3.2 Amerika refrakter boksit ithalatı (McCracken,2000)

<b>AMERİKA REFRAKTER BOKSİT İTHALATI</b>				
	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>
<b>ÇİN</b>	153.000	131.000	119.000	83.921
<b>GUYANA</b>	25.000	71.000	58.000	61.778
<b>BREZİLYA</b>		3.000	6.000	17.114
<b>FRANSA</b>	2.000	17.000	17.000	9.242
<b>YUNANİSTAN</b>				7.649
<b>KANADA</b>				118
<b>TOPLAM</b>	<b>180.000</b>	<b>222.000</b>	<b>201.000</b>	<b>179.822</b>

### 3.4.1.1 Tarihçe

Ateş Tuğlası ilk zamanlarda % 25 – 45 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren refrakter özellikli killerden yapılmaktaydı. Yüksek – Alüminalı (% 45 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> den çok ) refrakter malzeme 1903 yılında Amerika’da ticari üretime başlanmıştır. Takibinde 1906 yılında fused alümina üretilmiştir. İki yıl sonra % 55- 60 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olan Missouri diasporlarından yüksek alüminalı refrakter malzeme geliştirilmiştir.

İlk dökme mullit 1922’ de, Alümina eklenerek üretilebilen mullitik yüksek kaliteli ateş tuğlası ise 1925’ de üretilmiştir.

Refrakter üreticileri ilerleyen yıllarda 1350 – 1450° C’ de silis ve alüminayı karıştırarak istenilen mulliti geliştirmiş ve ideal mullit formunun % 60 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 40 SiO<sub>2</sub> ‘ de oluştuğunu göstermişlerdir.

Brezilya ve Guyana’ daki boksit rezervleri gibsitik (Ateş Kaybı % 30), Çin’ de ise diasporitik (Ateş Kaybı % 15)’ dir

Önceden keşfedilen refrakter kalite Missoru diasporit (1908) ve Georgia (1888)’ daki % 60 – 70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> boksit, başlangıçta % 30 Ateş Kaybı olan boksitin çalışma zorluklarından dolayı kullanılmıştır. Diğer boksitlerin üretim problemini, 1914 yılında Laclede Christy ön kalsinasyon işlemi yaparak çözmüştür. 1900’ lü yılların başlarından günümüze kadar refrakter boksit üretilmiş ve ticareti yapılmıştır. 1920 ‘ li yıllarda mullitik-boksitik refrakterler Coning, Corhart, Carborundum ve Charles Taylor tarafından üretilmiştir.

Döner Fırının 1940 yılında yapılmasıyla, boksit ve diğer refrakter malzemelerin kalsinasyonu için en iyi yol bulunmuştur. 10 yıl için silisli ateş tuğlalardan yüksek – alüminalı refrakterlere doğru önemli gelişmeler olmuştur. Bu zaman boyunca Harbison Walker Georgia’ daki kaolin üretiminin yanında Alabama’ daki boksit sahalarını için arama çalışmalarını başlatmıştır. Refrakter boksitin üretiminin artması ve kullanımın yaygınlaşması 1960 – 1990 yılları arasında gerçekleşmiştir (McCracken, 2000).

Tablo 3.3 Refrakter boksitin tarihçesi (McCracken W., 2000).

1836:	İlk ateş tuğla üretim tesisi Amerika’ da kuruldu.
1844:	Güney Fransa’da ilk defa kullanıldı.
1860:	Güney Fransa’ da boksit madenciliği başladı.
1873:	İrlanda’ da boksitin refrakter malzeme olarak kullanılması ilk defa geliştirildi.
1888:	(%60 – 70 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) boksitler Georgia’da bulundu.
1900’lü yıllarda:	Fused refrakter boksit üretildi ve ticareti yapıldı.
1903 :	Yüksek Alüminalı (%45 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ’ den fazla) boksit Amerika’da ticari olarak üretime başlandı.
1906:	Fused Alumina refrakterler ilk olarak Amerika’da üretildi.
1908:	Missouri’ de refrakter kalitede diasporit bulundu.
1914:	Laclede Christy boksitte ön kalsinasyonu başlattı.
1917:	İlk olarak Guyana boksit ihracatını gerçekleştirdi.
1920’li yıllarda:	Boksitik – mullitik fused refrakterler Corning, Corhar, Carborundum ve Charles Taylor tarafından geliştirildi.
1922:	Corning ilk döküm mulliti üretti.
1925:	Yüksek dayanımlı ateş tuğlasının alümina eklenerek üretilebileceği bulundu.
1970’li yıllarda:	Çin boksit ihraç etmeye başladı.
1980’li yıllarda:	Brezilya ilk üretimini ve ihracatını yapmaya başladı.

### 3.4.1.2 Genel Üreticiler

3.4.1.2.1 Çin. Bugün, genel olarak üretilen ihracat kalitesinde refrakter boksit (diasporit) Shanxi ve Guizhou eyaletlerinde üretilmektedir. Toplam üretim miktarının 2/3’ ü Shanxi’ de yapılmaktadır.

Guizhou ve Shanxi' deki malzemeler genelde aynı karakteristiktendirler, fakat bunun yanında Guizhou,  $TiO_2$  (%3.7 - 4.2) ve alkalilerin (%0.2 – 0.6) yüksek olması gibi dezavantajlara sahiptir.

Bununla beraber Guizhou' daki malzemenin Shanxi oranla daha yüksek yığın yoğunluğuna sahiptir. Bu değişikliğin sebebi Güney Shanxi' deki düşük alkali ve yüksek alümina içeriğinin etkisinin yanında kalsinasyon ekipmanının ve prosesin farklılığıda önemli bir etkidir.

Bu değişikliğin birincil etkeni şaft fırında maksimum yığın yoğunluğundaki (3.20 – 3.25) değişimin sınırlı kontrol edilmesidir. Döner fırınlarda, 18. yüzyıl fırınlama prosedürünü kullanarak 3.35 yığın yoğunluğunda üretim yapılabilir.

Tahminen Çin'deki refrakter boksit üretiminin % 50' si şaft fırınlarda, diğer yarısı ise yuvarlak ve dönen fırınlar kullanılarak yapılmaktadır.

Çin'in boksit üretimi, 300' e yakın ocakta üretim yapılmaktadır. Bu ocakların içinde çok az sayıda homojen rezervler vardır. Bu anlamda, Çin' e refrakter boksit üretimi için ISO 9000 geldiğinde, üretim konusunda bazı zorluklarının olacağı öngörülmektedir.

Çin' deki refrakter boksit üretimi geçtiğimiz 20 yılda Tianjin'e kurulan zenginleştirme tesisleri sonucunda gelişme göstermiştir. Bununla beraber, ocaktan - fırına madencilik yapan küçük tedarikçilerin kalite kontrol eksiklikleri sonucu farklı kaliteler ürünler üretilmektedir. Bu da madencilikte, zenginleştirme tesisinde, kalsinasyon aşamasında kontrol ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Çok sayıda gelen şikayetlere rağmen Çin'li üreticilerin herhangi bir dampinge girmesi olası değildir. Diğer taraftan ihracata ait vergilerin etkisiyle Çin fiyatları dünya pazarı seviyesine getirmiştir. Bu durum Güney Amerika boksitlerin satışının artmasına sebep olmaktadır.

Refrakter boksit, kahverengi fused alümina üretimi içinde kullanılmaktadır. Yılda 300.000 ton kahverengi fused alümina üretimiyle, Çin önemli üreticiler arasındadır.

*3.4.1.2.2 Brezilya.* MSL Mineralleri (CAEMI), yeni bir tedarikçi olarak pazarda yerini almıştır. Bazı dezavantajlarına rağmen markette bir yer bulan Brezilya, 1994 yılında ikinci döner fırını da faaliyete alıp kapasitesini yıllık 140.000 ton çıkarmıştır (Krause C., 1997).

Bununla beraber, CAEMI refrakter kalite boksit damarı sadece 1 – 3 m kalınlığında dekapaj ise 8 – 12 m kalınlığındadır. Ocaktan çıkarılan ham cevher, önce 10 mm kırılır, yıkanır ve elenir. Elenmiş malzeme demir ağır ortam prosesi ile ayrılır. Kalsinasyon işleminden sonra manyetik ayırmaya tabi tutulur. Yüksek SiO<sub>2</sub> (yaklaşık %10) içeriği sebebiyle kalsinasyon sırasında fazla yakıt tüketimiyle maliyetlerin artmasına neden olmasına rağmen, Guyana RASC fiyatları düşüktür ve Avrupa pazarının önemli bir kısmına hakimdir (McCracken W., 2000).

*3.4.1.2.3 Guyana.* Boksit, ilk defa 1897 – 1910 yıllarında bulunmasıyla beraber Alcoa Kimyasal Endüstrisi 1917 yılında alümina için boksit üretimine başlamıştır. 1929 yılında Alcan üretimi devralmıştır ve 1938 yılına kadar refrakter boksit üretimi yapmamıştır. Guyana boksitlerinden refrakter boksit üretmek basit bir prosesdir. Ocaktan gelen cevher -9 cm kadar kırılır, yıkanır ve elenir, -4 cm kadar kırılan bu malzeme tekrar yıkanır ve kalsinasyon için döner fırına beslenir. Bazen yükleme öncesinde demiri uzaklaştırmak amacıyla proses uygulanmaktadır.

Guyana’ daki refrakter boksit kaynakları coğrafik olarak iki ayrı bölgeye ayrılır. En önemlisi Linmines, dünya standartlarındaki RASC boksitlerinin ana kaynağıdır. Diğeri ise daha çok kimya ve abrasif sanayinin kullanımına uygun olan Berbice / Bermine bölgesidir.

Linmines’in, beş yıl önce başlayan ve derece derece aratarak devam eden marketteki gelişen durumu pratikte bazı zorlukları beraberinde getirmiştir. Bu sayede özelleştirme programı kapsamında olan Guyana’ daki boksit madenciliğinin verimliliğinin artacağı düşünülmektedir.

### 3.4.1.3 Boksit Tüketimi

Diğerlerine göre daha küçük ölçekte olan Georgia, Alabama ve Arkansas'daki tedarikçiler üretimlerini Amerika'ya satmaktadırlar. Dünya Pazarında ise Çin ve Guyana en büyük üreticiler konumundadır. Guyana ihracatı, 1974 yılında pik yaparak yaklaşık 750.000 tona ulaşmıştır. 1994-1997 yılları arasında üretim miktarı yılda 150.000 – 200.000 ton civarındadır (UNCTAD, 2000).

1970 lerin ortalarında, Guyana madencilikte ve uygulamadaki diğer problemlerinden dolayı maliyetleri artmıştır. Guyana' daki Boksit madenciliği en büyük dezavantajı dekapaj kalınlığının fazla olmasıdır. Bütün bunlara rağmen Guyana boksitleri, dünyadaki refrakter üreticiler tarafından tercih edilen bir hammaddedir (McCracken, 2000)

Bununla beraber 1970'lerin sonunda, pek çok refrakter malzeme üreticileri fiyatlar daha ucuz olmasından dolayı Çin'e yönelmiştir. Tedarikçi problemleri, diasporitteki yüksek sertlik, yükleme problemlerinin olması bile Çin'in son zamanlardaki dünya refrakter boksit pazarındaki yükselişini durduramamaktadır. Refrakter tuğla üreticileri ve tüketicileri hammaddeden tam anlamıyla yararlanmak için bazı değişiklikler yapmaktadırlar. Örneğin; bazı refrakter üreticileri Guyana – Çin boksitlerini karıştırarak kullanmakta ve bazı üreticiler ürünün özelliklerine göre hammadde tercihi yapmaktadırlar.

1980' lerin başında, Dünya refrakter boksit tüketimi azalmaya başlamıştır. Bu değişikliğin sebepleri:

- 1 Düşük çelik üretimi ve üretimde tüketilen refrakter malzemenin ton başına sarfiyatının azalması
- 2 Elektrik ark ocaklarının sulu soğutmaya geçmesi
- 3 Yüksek alüminyumlu refrakterler yerine basit malzemeler kullanılması

Refrakter boksit tüketimi 1990'lı yıllarının başına kadar istediği seviyeye gelememiştir. Brezilya' da dikkatli geçen on yılların sonucunda 1990' larda M.S.L.

Minerals S.A., CAEMI yılda 60.000 ton döner fırın kapasitesiyle üretime başlamıştır. Bu olay Guyana'daki tedarikçileri de motive etmiştir. Yüksek SiO<sub>2</sub> içeriğine sahip CAEMI boksitleri adım adım Avrupa başta olmak üzere Dünya refrakter boksit piyasasını yeniden canlandır, Bunun sonucunda ikinci bir döner fırınla kapasitesini yılda 140.000 tona çıkarmıştır.

1997' de 150.000 ton ihracat gerçekleştiren Linminer – Guyana, 1998 yılında 200.000 tona yaklaşmıştır. Linmines, iç piyasadaki birleşmelerle gelecekte eski ihracat rakamlarına ulaşmak için fiyat kırma politikası uygulamaya başlamıştır.

Amerika refrakter boksit stoğu yaklaşık 65.000 ton' a gerilemiştir.

#### 3.4.1.4 Gelecekte Piyasaların Durumu

Gelişmeler göstermektedir ki, boksit önemli bir refrakter hammadde olarak ilerleyişini sürdürecektir. Pazarı elinde tutan üç tane tedarikçinin refrakter boksit hammaddeleri birbirlerine göre farklı üstünlükler içermektedir. Refrakter sanayi, üç hammadde üstünlüklerini birlikte kullanarak, daha nitelikli bir refrakter ürün üretebilir. Her bir boksit, refrakter ürüne farklı özellikler vermektedir.

Tablo 3.4 Refrakter Boksit Kimyasal Analizleri – Genel Refrakter Boksit Üreticiler (Guyana, Brezilya, Çin) (McCracken, 2000)

%	GUYANA		BREZİLYA	ÇİN
	RASC	Bermine	MSL	Shanxi Shaft
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	89.00	89.00	86.30	87.20
SiO <sub>2</sub>	6.50	5.25	9.25	6.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.25	2.00	1.80	1.40
TiO <sub>2</sub>	3.00	3.50	2.20	3.60
CaO	<0.02	0.15		0.30
MgO	<0.02			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.05			
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	<0.03		0.02	0.19
LOI	0.15			0.20
H <sub>2</sub> O	0.02			
Ö.A.(gr/cm <sup>3</sup> )	3.15		3.25	3.16
Tiellite	3-5	3-5	3-5	5-6
Mullite	25		30-35	10
Korund	60		55-65	70-80
Nem			0.25	

Üreticiler arasında hiç bitmeyecek rekabet sayesinde, hammaddelerin ne efektif kullanılmasını sağlayacaktır. Proses maliyetlerin düşürülmesi, yeni prosesler geliştirilmesi ve bu proseslerin optimizasyonu sonucunda daha iyi refrakter ürünler elde edilebilecektir.

Tablo 3.5 Mullite, Korund ve Tiellite' nin Karşılaştırmalı Kimyasal Analizleri (McCracken, 2000).

%	Mullite	Korund	Tiellite
SiO <sub>2</sub>	21.2	0.1	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72.6	98.9	53.9
TiO <sub>2</sub>	4.5	0.4	41.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.9	0.6	3.0
Na <sub>2</sub> O	0.1		

Yakın gelecek refrakter boksit üretiminde basınçlı saft fırınlarını kullanımı gibi değişiklikler getirecektir. Ayrıca sinterleme, pelletleme ve homojen hammadde üretim prosesinde yapılacak değişiklikler birim ton başına düşen maliyeti azaltacaktır.

Gelişen endüstri yüksek alüminalı refrakter hammaddeye ihtiyacı vardır ve bu malzemenin homojenizasyonu ve istenilen özelliklerde olması için hammaddenin zenginleştirilmesi çalışması artarak devam etmelidir. Görünen odur ki, bu malzemeyi zenginleştiren şirket her zaman ilk olmanın avantajlarına sahip olacaktır (McCracken,2000).

- 1 İyi bir refrakter malzemenin başlıca özellikleri
- 2 Refrakter boksitde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı max %2.5 olmalıdır.
- 3 Olabildiğince düşük alkali içermelidir.
- 4 Titanyum (tielite) içeriği yüksek sıcaklıkta problem oluşturduğu için TiO<sub>2</sub> oranı max % 4 olmalıdır.
- 5 Boksit tabanlı refrakter üretiminde stabilite, Alüminyum – silikanını duraylı mullite ve korunduma dönüşümüne bağlı olmalıdır.
- 6 Sinterlenmiş boksite zirkon eklenerek elde edilecek ürünün ısıya karşı dayanımı artacaktır.
- 7 Potasyum oksit (K<sub>2</sub>O) oranı, üründe yüksek sıcaklığa dayanımı olumsuz yönde etkilemektedir.
- 8 Çin boksitlerinin mullit oluşumunda asıl eksiklik yüksek alkali içeriğinin termal dayanımına etkisidir.

Ek olarak, Güney Amerika boksitleri düşük  $K_2O$  oksit içeriğiyle mullitin termal dayanımı Çin' e göre daha fazladır. Genel olarak her iki boksitinde mineralojisinde farklılıklar vardır. Çin boksiti yüksek  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Zr_2O$  ve Tiellite sahiptir. Genel olarak Çin boksitlerinin yığın yoğunlukları ve porozitesi Güney Amerika boksitlerine nazaran daha yüksektir. Brezilya refrakter boksitleri hakkında sınırlı bilgi vardır.

Bazı refrakter hammaddeler pazara girmekte ve zamanla önemini yitirmektedirler. Silisin önemini kaybetmesi, bir dönem olivinin kullanımının azalması ve tekrar artması gibi. Bununla beraber, boksit uzun zamandır önemi korumakta ve kullanımı her geçen artmaktadır. Dünya'daki refrakter sanayi için ana hammadde boksittir (McCracken, 2000).

Tablo 3.6 Kimyasal Karaktere Göre Refrakter Hammaddelerin Sınıflandırması (Hudson L.K., Misra C., Wefers K., 2001).

<b>Asidik</b>	<b>Nötral</b>	<b>Bazik</b>
Şamot	Boksit ( $Al_2O_3$ , $H_2O$ )	Magnezit ( $MgO$ periklas kristali)
Silika ( $SiO_2$ )	Alümina ( $Al_2O_3$ )	Magnezit – Krom ( $MgO$ ve $Cr_2O_3$ )
Mullit ( $3Al_2O_3.2SiO_2$ )	Karbon (grafit,zift,katran)	Dolomit ( $MgO.CaO$ )
Sillimanit ( $Al_2O_3.SiO_2$ )	Silisyum Karbür ( $SiC$ )	Forsterit ( $2MgO. SiO_2$ )
Zirkon ( $ZrO_2.SiO_2$ )	Kromit ( $Cr_2O_3$ )	Krom – Magnezit ( $Cr_2O_3$ ve $MgO$ )
Zirkonya ( $ZrO_2$ )		Kromit ( $Cr_2O_3$ )

### 3.5 Prosesde Kullanılan Ana Kimyasal

#### 3.5.1 Hidroklorik Asit

Hidroklorik asit, kimyacı Jabir Ibn Hayyam (Geber) tarafından, tuz ile sülfirik asit karıştırılarak, 800'lü yıllarda bulunmuştur. Jabir, pek çok basit kimyasal bulmuştur, hidroklorik asit ve diğer kimyasallarla ilgili yüzyıllardır okunan 20'den fazla kitabı vardır. Jabir, kral suyunun (aqua regia) altını çözdüğünü de bulmuştur (Wikipedia, 2004)

Orta Çağ Avrupa' sında hidroklorik asit tuzun bir parçası olduğu düşünülmektedir. HCl gazı, deniz asidi (muriatic acid) olarak da isimlendirilmiştir. Bu terim eski zamanda kalmıştır fakat bazen şimdiki zamanda da kullanılmaktadır.

17. yüzyılda Karlstant, Almanya'dan Johann Rudolf Glauber, sodyum sülfat hazırlamak sodyum klorür ve sülfirik asit kullanmış sonucunda gaz halinde HCl elde etmiştir.

Avrupa' daki Sanayi devrimi boyunca, soda külü gibi alkali malzeme talebi artmıştır. Nicolas Leblanc (Issoundun, France) tarafından bulunan soda proses sonucunda pahalı küçük ölçekte üretime başlanmıştır. Leblanc prosesi, sülfirik asit kullanarak tuz, soda külüne dönüştürülür, kireçtaşı ve kömür ise HCl ile muamele edilerek ürün elde edilir.

20. yüzyılın başlarında, Leblanc proses yerini HCl asit kullanılmayan Solvay prosesine bırakmıştır. HCl asit halen daha pek çok sektörde kullanılan bir kimyasaldır.

Tablo 3.7 Hidroklorik asidin genel özellikleri, (Wikipedia, 2004)

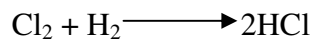
<b>Genel</b>	
İsim	Hidroklorik Asit
Kimyasal Formülü	H <sub>2</sub> O içerisinde çözülmüş HCl
Görünüş	Açık Sarı Renkli, Şeffaf
Förmül Ağırlığı	36.5
Donma Noktası	218 K (-55°C)
Kaynama Noktası	336 K (+90°C)
Buharlaştırma Noktası	381 K (+108°C)
Yoğunluk (20°C' da)	1.149x10 <sup>3</sup> kg / m <sup>3</sup> (sıvı)
Çözünürlük (20°C' da)	ağırlıkça % 43
Asidite	0
Spesifik sıcaklık	2.60 kJ/kg K
<b>Termokimya</b>	
$\Delta fH^0_{\text{gaz}}$	- 92.31 kJ/mol
$S^0_{\text{gaz,1 bar}}$	186.9 kJ/mok K
<b>Güvenlik</b>	
İçme Yutma	Toksik, öldürücü olabilir
İçine Çekme/Koklama	Buharı öldürücü olabilir.
Deri	Büyük yanıklar oluşturabilir.
Göz	Çok tehlikeli

### 3.5.1.1 Üretim

#### 3.5.1.1.1 Direkt Sentez. Kimya endüstrisinde, HCl üretimi önemli bir yer

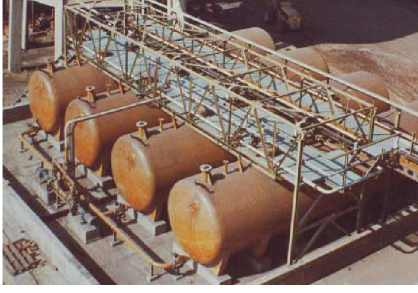


tutmaktadır. Klor – alkali endüstrisi, tuz solüsyonunun elektroliziyle klor, sodyum hidroksit ve hidrojen üretilir. Saf klor gazı hidrojen ile yeniden reaksiyona sokularak saf hidrojen klorür gazı elde edilir. Bu reaksiyon ekzotermik reaksiyondur. Sonuç olarak saf hidroklorik gazı suda çözüldürülerek, hidroklorik asit üretilmektedir.



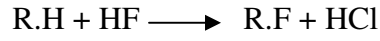
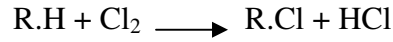
Şekil 3.7 25 yıllık HCl üretim ekipmanı(44 m<sup>3</sup>), (Chemical Report, 2005).

3.5.1.1.2 *Organik Sentez.* Hidroklorik asidin üretiminin büyük bir kısmı teflon,



klor asidik asit yada PVC gibi klorlu ve floritli organik bileşiklerinden üretilmektedir. Kimyasal reaksiyon hidrojen atomunun klor (flor) ile yer değiştirmesi ve boştaki Cl atomuyla HCl meydana getirmesi şeklindedir.

Şekil 3.8 % 33 HCl depolama üniteleri (her biri 100 m<sup>3</sup>), (Chemical Report, 2005).



Hidrojen klorür gazı, teknik ve endüstriyel kalitede tek başına yada suda çözüldürülerek elde edilen Hidroklorik asit şeklinde kullanılabilir (Speight, G. J., 2002).

### 3.5.1.2 *Endüstriyel Market*

Hidroklorik asit solüsyonda ağırlık % 38' den fazla HCl içerir. Endüstriyel kalite ise ağırlıkça % 30 -34 oranındadır.

Toplam dünya tüketimi, ağırlıkça % 100 HCl olarak yılda yaklaşık olarak 20 milyon ton civarındadır. Bunun 3 milyon tonu direk sentez yoluyla, geri kalan ise organik sentez ve ya benzeri yöntemlerle üretilmektedir. Dünya pazarındaki açık tahmini yıllık 5 milyon tondur.

Dünya'daki büyük üreticiler Dow Kimya yılda 2 milyon ton (ağırlıkça % 100 HCl olarak), FMC, Georgia Gulf, Tosoh, Akzo Nobel ve Tessenderlo yılda 0.5 – 1.5 milyon ton (ağırlıkça % 100 HCl olarak) üretim yapmaktadırlar (Chemical Report, 2005).

### 3.5.1.3 Kullanım Alanları

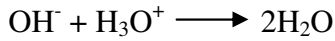
Kuvvetli bir inorganik asit olan hidroklorik asit, pek çok endüstriyel prosesde kullanılmaktadır. Genel uygulamaları kaliteli ürün eldesi içindir.

*3.5.1.3.1 İyon Değiştiriciler.* Yüksek kaliteli hidroklorik asidin en önemli kullanım alanlarından bir tanesi iyon değiştirici olarak kullanımındır. Sudaki Na ve Ca gibi katyonları değiştirerek, gıda sektörü ve diğer proses sıvılarında minerali ayarlanmış su olarak geniş kullanım alanı bulmuştur (Galluci R. R., Going R. 1986).

Tablo 3.8 Na ve Ca iyonları hidrojen bileşikleriyle yer değiştirir

Na <sup>+</sup>	H <sub>3</sub> O yer değiştirir.
Ca <sup>+2</sup>	2H <sub>3</sub> O ile yer değiştirir.

*3.5.1.3.2 pH Kontrolü ve Nötralizasyon.* Hidroklorik asidin genel kullanım alanlarından bir tanesi de çözeltideki asiditeyi (pH) düzenlemektir. Gıda, ilaç, içme suyu sektöründe, proses sıvısının pH'ını kontrol etmek için yüksek kalitede HCl kullanılmaktadır. Atık suyun nötralizasyonu için teknik HCl yeterli olmaktadır (Mahmoud A. R. 2000).



*3.5.1.3.3 Çelik Pickling.* Pickling, metal yüzey uygulamalarında ana olarak kullanılan işlemdir. Teknik kalite Hidroklorik asit (yada alternatif sülfürik asit) çelik proses endüstrisinde kullanılmaktadır. Harcanan asit ferro klorit solüsyonlarında tekrar kullanılabilir, fakat yüksek ağır metal içeriği pratikteki uygulama oranını düşürmektedir (Wikipedia, 2004)



*3.5.1.3.4 İnorganik Bileşiklerin Üretimi.* Pek çok inorganik bileşikler, hidroklorik asit ile normal asit – baz reaksiyonu ile üretilmektedir. Ferrik klorür, poli alüminyum klorür, yol uygulamalarında kullanılan kalsiyum klorür tuzu, nikel klorür ve galvaniz ve pil üretimi için çinko klorür HCl kullanılan inorganik kimyasallardandır.

*3.5.1.3.5 Organik Bileşiklerin Üretimi.* HCl asidin genel kullanım alanlarından bir tanesi de PVC, MDI ve TDI sektörlerinde organik bir bileşik olan klorürün kullanılmasıdır. Tüketilen hidroklorik asit pazardaki açığı hiçbir zaman kapatamamıştır. Hidroklorik asit ile üretilen diğer organik bileşik; polikarbonat, aktif karbon ve askorbik asit için bisphenol A gibi.

*3.5.1.3.6 Diğer Uygulamaları.* Hidroklorik asit petrol kuyusundan enjekte edilerek, kayalarının bir kısmını çözmesi sağlanır, bu sayede geniş delikli bir yapı oluşur. Bu yöntem Kuzey Denizde petrol üretiminde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Gıda sektöründe katkı maddesi üretmek içinde kullanılır. Aspartame, fruktoz, sitrik asit, lyside, hidrolize edilmiş protein, jelatin gıda sektöründe kullanılan başlıca ürünlerdir.

Hidroklorik asit basit bir kimyasal olması sebebiyle deri sektörü, ev temizlik ürünleri, bina yapım işleri gibi pek çok sanayide küçük ölçekte kullanılmaktadır.

#### *3.5.1.4 Güvenlik*

Hidroklorik asit yüksek konsantrasyon da asidik duman içerir, bu asit buharının insan dokusuna korozif etkileri vardır. Solunum yolları, gözler, deri, bağırsak gibi organlara zarar verir. Bu anlamda hidroklorik asitle çalışılan tesislerde bütün bu tehlikelere göre önlemler alınması gerekir.

Tablo 3.9 Avrupa’da uygulanan iş emniyeti standartları (Chemical Report 2005)

<b>Avrupa’ da Uygulanan Risk (R) ve Güvenlik (S)</b>	
<b>R34</b>	Yangın Tehlikesi
<b>R37</b>	Solunum yollarını tahriş etmek
<b>S26</b>	Göze temas halinde bol suyla hafifçe yıkamak ve doktora görünmek
<b>S45</b>	Kaza halinde yada kötü hissedilmesi halinde acilen doktora görünmek

## BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Giriş

Deneysel Çalışmaların amacı, boksit minerallerinden bir tanesi olan böhmitin refrakter olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Tablo 4.1 Böhmitin genel özellikleri (Webmineral,2005)

#### Genel Tanımlama

##### Kimyasal Formül

AlO(OH)

##### Bileşimi :

Molekül ağırlığı = 59.99 gram

Aluminyum 44.98 %  $Al_2O_3$  84.98 % Al  
Hidrojen 1.68 % H 15.02 %  $H_2O$   
Oksijen 53.34 % O

100.00 % 100.00 % = TOPLAM OKSİT

##### Bulunduğu Yerler:

Yarı Tropik Bölgeler(Jamaika, Surinam, Guyana, Georgia, USA. Fransa, Macaristan, Rusya, Yunanistan, Türkiye, Avustralya, ve Gine) Yüksek yağış oranıyla alüminyum kaynağı lateritler oluşmuştur.

##### İsim Orijini

##### İsim

Alman jeolog ve paleontolog, J. Bohm (1857-1938). Böhmit (Boehmite )

#### Böhmit Fotoğrafi

##### Fotoğraf :



##### Böhmit

**Açıklama: Boksit kayacındaki böhmit görülebilmektedir.**

**Bölge:** Bauxite, Saline County, Arkansas, USA

©

#### Böhmit Kristallografi

##### Aksiyal Oranları:

a:b:c =0.2345:1:0.3026

##### Hücre Boyutları:

a = 2.868, b = 12.227, c = 3.7, Z = 4; V = 129.75

##### Kristal Sistemi :

**Ortorombik - Dipyrimidal** (2/m 2/m 2/m)

##### X Ray Difraktometre:

**6.11(1), 3.164(0.65), 2.346(0.53),**

#### Fiziksel Özellikleri

##### Klivaj:

(010) iyi

##### Renk:

Beyaz, Açık Sarı, Turuncu, Yeşilimsi Sarı

##### Özgül Ağırlık :

3 - 3.07, Ortalama = 3.03

##### Sertlik:

3 - Kalsit

## 4.2 Deneyleerde Kullanılan Numune ve Temini

Deneysel çalışmalarda kullanılan böhmit numuneleri Almin Madencilik A.Ş.' ye Akseki bölgesi ruhsat sahasından 3 farklı örnek (BGY 1, BGY2, BGY 3), bir boksit merceğinden farklı yerlerinden alınmıştır. Bu tür yataklanmalar oluşum açısından homojen değildir. Bu anlamda numuneler farklı yerlerden alınarak proses deneylelerine tabi tutulmuştur.

Tablo 4.2 Deneyleerde kullanılan cevherin kimyasal analizi

	BGY – 1	BGY – 2	BGY – 3
$Al_2O_3$	% 59,5	%58 7	% 57,2
$SiO_2$	% 7,6	% 6,4	% 3,1
$Fe_2O_3$	% 11,1	% 14,2	% 21,4
LOI	% 15,0	% 15,0	% 15,0



Şekil 4.1 Deneyleerde kullanılan numunelerin fotoğrafları

### 4.2.1 Akseki Cevherin Genel Mineralojik ve Kimyasal Analizi

Akseki bölgesinde yapılan jeolojik çalışmalar ve bunun sonucunda alınan numunelerden yapılan analizlere göre cevherin genel mineralojik ve kimyasal bileşimi ortaya çıkarılmıştır.

#### 4.2.1.1 Minerolojik Analiz.

Böhmit boksit (+ %90 böhmit).

#### 4.2.1.2 Kimyasal Bileşimi

Tablo 4.3 Akseki cevherinin ortalama kimyasal analizi

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 58 – 63
SiO <sub>2</sub>	% 4 – 5 , maks % 7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 10 – 20
Nem	% 0,5 – 1,5 maks % 5 (kış sezonunda)
LOI	% 12 – 15

#### İz Elementler

TiO <sub>2</sub>	% 2 – 3
Na <sub>2</sub> O	% 0,03 – 0,1
K <sub>2</sub> O	% 0,1 – 0,2
MgO	< % 0,01
CaO	%0,05 – 0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%0,05 – 0,1
MnO	<%0,01
Pb	30 – 250 ppm
As	15 – 150 ppm
V	200 – 500 ppm
Zn	10 – 20 ppm
Cr	300 – 600 ppm
Ga	60 – 70 ppm

### 4.3. Boyut Küçültme İşlemleri

#### 4.3.1 Primer Kırma



Şekil 4.2 Çeneli kırıcı

Getirilen numuneler ilk olarak çeneli kırıcıya beslenmiştir. Çeneli kırıcının çıkış açıklığı 12mm olarak belirlenmiştir. Kırıcıya beslenen boyut ortalama olarak 40 mm'dir. Buna göre boyut küçültme oranı 4'tür.

#### 4.3.2 Primer Kırma Elek Analizi

Çeneli kırıcıdan geçirilen cevhere elek analizi yapılmıştır. Elek olarak 4, 2, 1, 0,5 cm'lik elekler kullanılmıştır. Her bir cevher tipinin elek analizi sonuçları Tablo 4.4,4.5,4.6 'da verilmiştir. Tablolardan da görüleceği üzere cevher tek fazda öğünme göstermektedir.



Şekil 4.3 Ro-tap

Tablo 4.4 BGY - 1 Numunesi Üzerinde Yapılan Elek Analizi Sonuçları

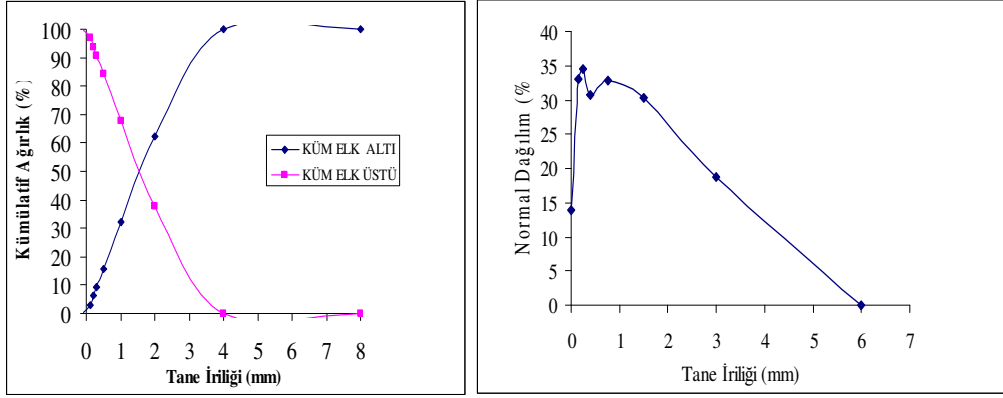
ELEK AÇIKLIĞI	MİKTAR		KÜM. ELK ALTI	KÜM ELK. ÜSTÜ	d	NORMAL DAĞILIM
	gram	%				
4	1,00	0,09	100,00	0,09	4,00	0,024
2	397,00	37,59	99,91	37,69	2,00	18,797
1	320,00	30,30	62,31	67,99	1,00	30,303
0,5	173,00	16,38	32,01	84,38	0,50	32,765
0,3	65,00	6,16	15,63	90,53	0,20	30,777
0,212	32,00	3,03	9,47	93,56	0,09	34,435
0,106	37,00	3,50	6,44	97,06	0,11	33,055
-0,106	31,00	2,94	2,94	100,00	0,21	13,847
<b>Toplam</b>	<b>1056,00</b>					

Tablo 4.5 BGY - 2 Numunesi Üzerinde Yapılan Elek Analizi Sonuçları

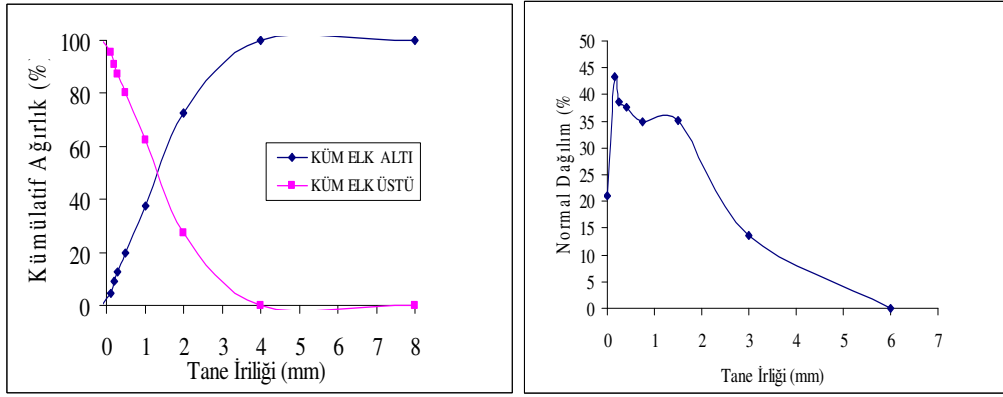
ELEK AÇIKLIĞI	MİKTAR		KÜM. ELK ALTI	KÜM ELK. ÜSTÜ	d	NORMAL DAĞILIM
	gram	%				
4	1,00	0,12	100,00	0,12	4,00	0,029
2	232,00	27,26	99,88	27,38	2,00	13,631
1	299,00	35,14	72,62	62,51	1,00	35,135
0,5	149,00	17,51	37,49	80,02	0,50	35,018
0,3	64,00	7,52	19,98	87,54	0,20	37,603
0,212	29,00	3,41	12,46	90,95	0,09	38,724
0,106	39,00	4,58	9,05	95,53	0,11	43,234
-0,106	38,00	4,47	4,47	100,00	0,21	21,063
<b>Toplam</b>	<b>851,00</b>					

Tablo 4.6 BGY - 2 Numunesi Üzerinde Yapılan Elek Analizi Sonuçları

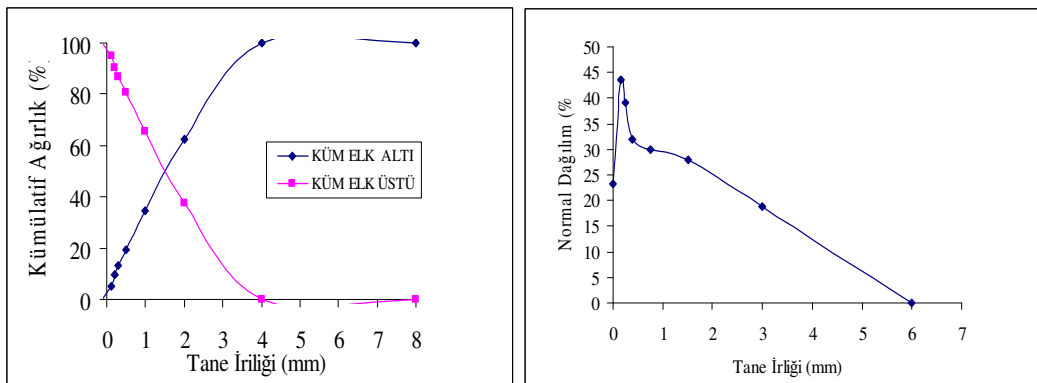
ELEK AÇIKLIĞI	MİKTAR		KÜM. ELK ALTI	KÜM ELK. ÜSTÜ	d	NORMAL DAĞILIM
	gram	%				
4	1,00	0,10	100,00	0,10	4,00	0,025
2	382,00	37,64	99,90	37,73	2,00	18,818
1	283,00	27,88	62,27	65,62	1,00	27,882
0,5	152,00	14,98	34,38	80,59	0,50	29,951
0,3	65,00	6,40	19,41	87,00	0,20	32,020
0,212	35,00	3,45	13,00	90,44	0,09	39,185
0,106	47,00	4,63	9,56	95,07	0,11	43,684
-0,106	50,00	4,93	4,93	100,00	0,21	23,236
<b>Toplam</b>	<b>1015,00</b>					



Şekil 4.4 BGY - 1 Numunesi Üzerinde Yapılan Elek Analizinin Kümülatif Elek Altı Üstü ve Normal Dağılım Eğrisi



Şekil 4.5 BGY - 2 Numunesi Üzerinde Yapılan Elek Analizinin Kümülatif Elek Altı Üstü ve Normal Dağılım Eğrisi

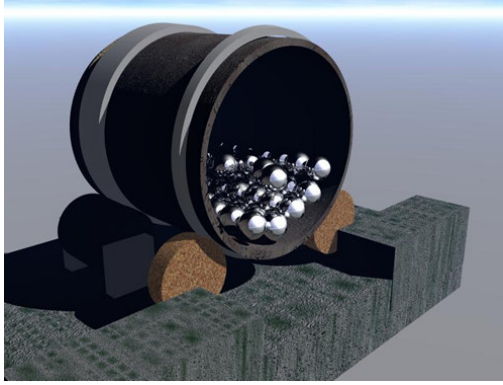


Şekil 4.6 BGY - 3 Numunesi Üzerinde Yapılan Elek Analizinin Kümülatif Elek Altı Üstü ve Normal Dağılım Eğrisi

#### 4.3.3 Sekonder Kırma

Çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra elek analizi yapılan numuneler öğütme öncesi ikinci boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Sekonder kırma işlemi merdaneli kırıcıda yapılmıştır. Merdaneli kırıcının merdaneler arası mesafesi 0,3 cm olarak ayarlanmış ve numuneler ayrı ayrı kırıcıdan geçirilmiştir. Boyutu –0,3cm’in altına indirilen numuneler 0,3 cm açıklıklı titreşimli elekte elenerek boyut küçültme işlemi kapalı devre olarak yapılmıştır.

#### 4.3.4 Öğütme

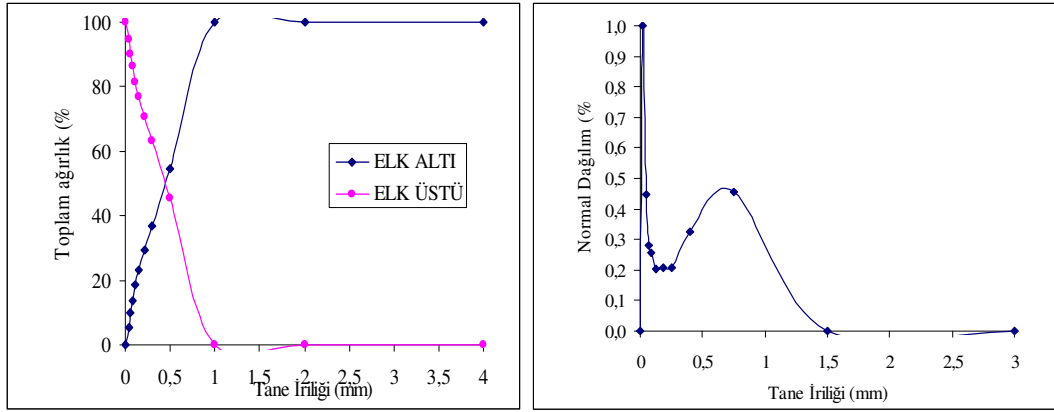


Şekil 4.7 Bilyalı Değirmen

- 0,3 mm altına indirilen malzeme bilyalı değirmende 15 dk boyunca, % 65 pülpte katı oranıyla öğütülmüştür. Elek analizi sonucu Tablo 4.7,4.8,4,9’da verilmiştir.

Tablo 4.7 BGY – 1 Numunesi Yaş Elek Analizi Sonucu

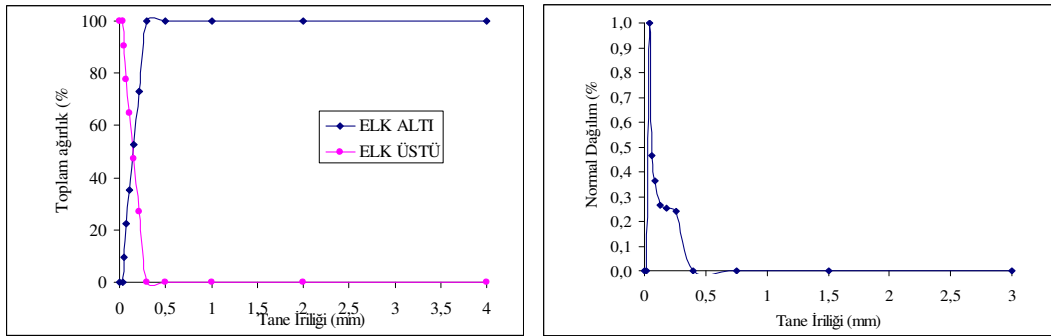
ELEK ARALIĞI	MİKTAR		KÜMÜLATİF		NORMAL DAĞILIM	
	GR	%	ELEK ALTI	ELEK ÜSTÜ	D	ND
2	0,00	0,00	100	-	2	0,00
1	0,00	0,00	100,00	-	1	0,00
0,5	0,00	0,00	100,00	-	0,5	0,00
0,3	0,00	0,00	100,00	-	0,2	0,00
0,212	102,00	24,17	100,00	24,17	0,088	0,24
0,15	81,00	19,19	75,83	43,36	0,062	0,25
0,106	63,00	14,93	56,64	58,29	0,044	0,26
0,075	64,00	15,17	41,71	73,46	0,031	0,36
0,053	52,00	12,32	26,54	85,78	0,022	0,46
0,038	60,00	14,22	14,22	100,00	0,015	1,00
0	0,00	0,00	0,00	100	0,038	
<b>TOPLAM</b>	<b>422,00</b>	<b>100,00</b>				



Şekil 4.8 BGY - 1 Numunesi Üzerinde Yapılan Yaş Elek Analizinin Kümülatif Elek Altı Üstü ve Normal Dağılım Eğrisi

Tablo 4.8 BGY – 2 Numunesi Yaş Elek Analizi Sonucu

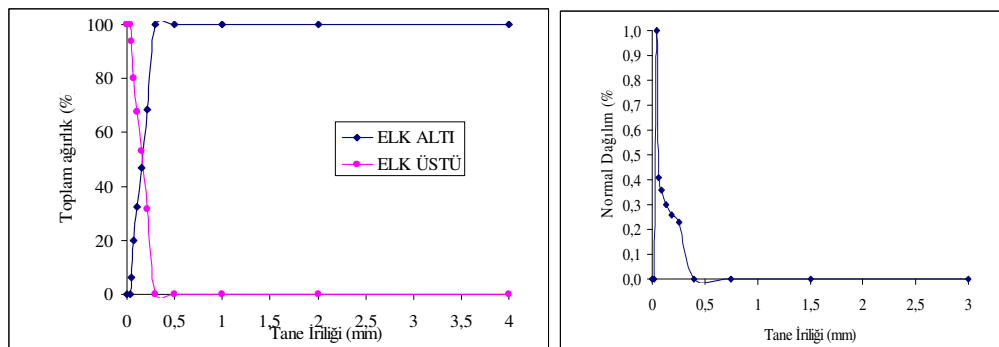
ELEK ARALIĞI	MİKTAR		KÜMÜLATİF		NORMAL DAĞILIM	
	GR	%	ELEK ALTI	ELEK ÜSTÜ	D	ND
2	0,00	0,00	100	-	2	0,00
1	0,00	0,00	100,00	-	1	0,00
0,5	0,00	0,00	100,00	-	0,5	0,00
0,3	0,00	0,00	100,00	-	0,2	0,00
0,212	117,00	27,10	100,00	27,10	0,088	0,27
0,15	88,00	20,38	72,90	47,49	0,062	0,28
0,106	74,00	17,14	52,51	64,63	0,044	0,33
0,075	56,00	12,97	35,37	77,60	0,031	0,37
0,053	54,70	12,67	22,40	90,27	0,022	0,57
0,038	42,00	9,73	9,73	100,00	0,015	1,00
0	0,00	0,00	0,00	100	0,038	
<b>TOPLAM</b>	<b>431,70</b>	<b>100,00</b>				



Şekil 4.9 BGY - 2 Numunesi Üzerinde Yapılan Yaş Elek Analizinin Kümülatif Elek Altı Üstü ve Normal Dağılım Eğrisi

Tablo 4.9 BGY – 3 Numunesi Yaş Elek Analizi Sonucu

ELEK ARALIĞI	MİKTAR		KÜMÜLATİF		NORMAL DAĞILIM	
	GR	%	ELEK ALTI	ELEK ÜSTÜ	D	ND
2	0,00	0,00	100	-	2	0,00
1	0,00	0,00	100,00	-	1	0,00
0,5	0,00	0,00	100,00	-	0,5	0,00
0,3	0,00	0,00	100,00	-	0,2	0,00
0,212	144,00	31,72	100,00	31,72	0,088	0,32
0,15	98,00	21,59	68,28	53,30	0,062	0,32
0,106	66,00	14,54	46,70	67,84	0,044	0,31
0,075	56,00	12,33	32,16	80,18	0,031	0,38
0,053	61,00	13,44	19,82	93,61	0,022	0,68
0,038	29,00	6,39	6,39	100,00	0,015	1,00
0	0,00	0,00	0,00	100	0,038	
<b>TOPLAM</b>	<b>454,00</b>	<b>100,00</b>				



Şekil 4.10 BGY - 3 Numunesi Üzerinde Yapılan Yaş Elek Analizinin Kümülatif Elek Altı Üstü ve Normal Dağılım Eğrisi

#### 4.4. Zenginleştirme Yöntemi Seçimi

Numunelerde boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırma, mikroskop analizi, XRD ve kimyasal analiz işlemleri yapıldıktan sonra zenginleştirme işlemlerine geçilmiştir. Zenginleştirme yöntemi seçimi boksitin oluşum mekanizması, ve diğer karakterizasyon çalışmaları üst üste konularak karar verilmiştir. Temelde doğanın oluşturduğu asit sonucunda pH 5' de Al ve Fe çözünmemesi, diğer SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> gibi safsızlıkların çözünmesiyle ve katı solüsyonun bir yere taşınarak veya yerinde çökmesi sonucunda boksit yatakları oluşmuştur. Bu anlamda eğer uygun asit bulunur, reaksiyon devam ettirilse Fe çözünecek, Al ise çözünmeyerek zenginleştirilmiş olacaktır. Bu anlamda düşünülen zenginleştirme yöntemi çözeltiye

alma (leaching) olarak deneylere başlanmıştır. Yapılan boyut küçülme işlemleri sonucunda numunelerin serbestleşmediği mikroskop çalışmalarıyla görülmüştür. Serbestleşme boyutunun çok ince tane boyutu olacağı cevherden yapılan ince kesit ve parlak kesitlerden de öngörmek mümkündür. Öğütme işlemi sonucunda numunelerin öğünme özelliklerinin birbirinden çok farklı olmadığı görülmektedir. Tane boyutunun çözünürlüğe etkisi bu proje kapsamında araştırılmamıştır. Ortalama tane boyutu 150-200 mikron arasındadır. Bu tane boyutunda zenginleştirme verimi % 80'in üstündedir.

Refrakter boksitin dünyadaki tedarikçileri zenginleştirme işlemi olarak genelde manyetik ayırma kullanmaktadır. Cevher tip ve yapısı farklı olduğu için bu konuda yapılmış çok fazla yayın bulunmamaktadır. Benzer bir çalışma Hindistan Boksitlerine yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Diğer çalışmalar ise demirin killer içerisinde çözeltiye alınması, bioleaching yöntemleri ile zenginleştirme yöntemleridir (Anand, P., Modak, J.M., Natarajan, K.A., 1996).

#### 4.4.1 Çözeltiye Alma

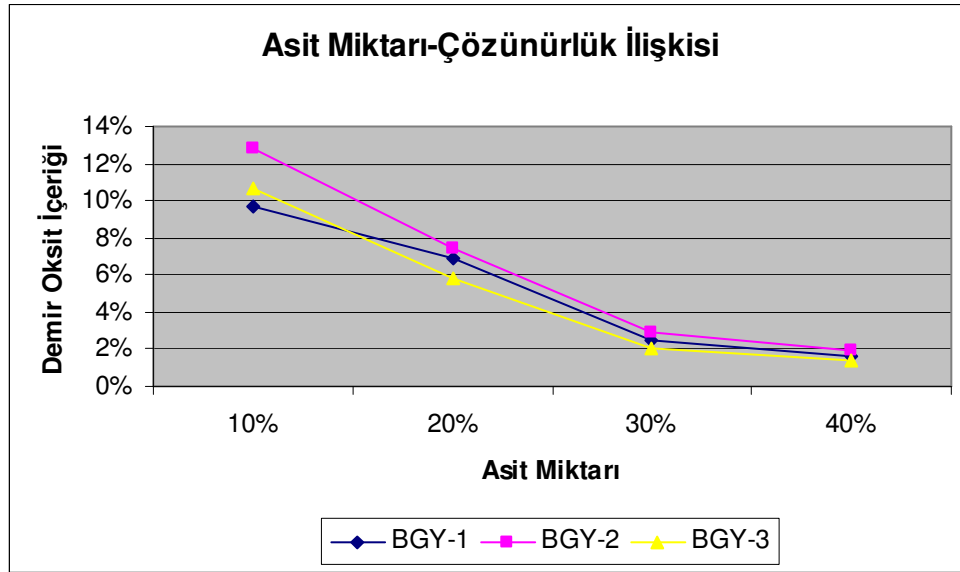
Farklı hidroklorik asit oranlarıyla (%10, %20, %30, %40) hazırlanan çözelti, 50° sıcaklıkta, 60 dk boyunca, her bir numune çözündürme işlemine tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda elde edilen süspansiyondan filtre kağıdı kullanılarak, katı-sıvı ayırımı yapılmıştır. Elde edilen sıvı kısım atomik adsorpsiyonda okutularak, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri ampirik formüllerle hesaplanmıştır.



Şekil 4.11 Atomik adsorpsiyon cihazı

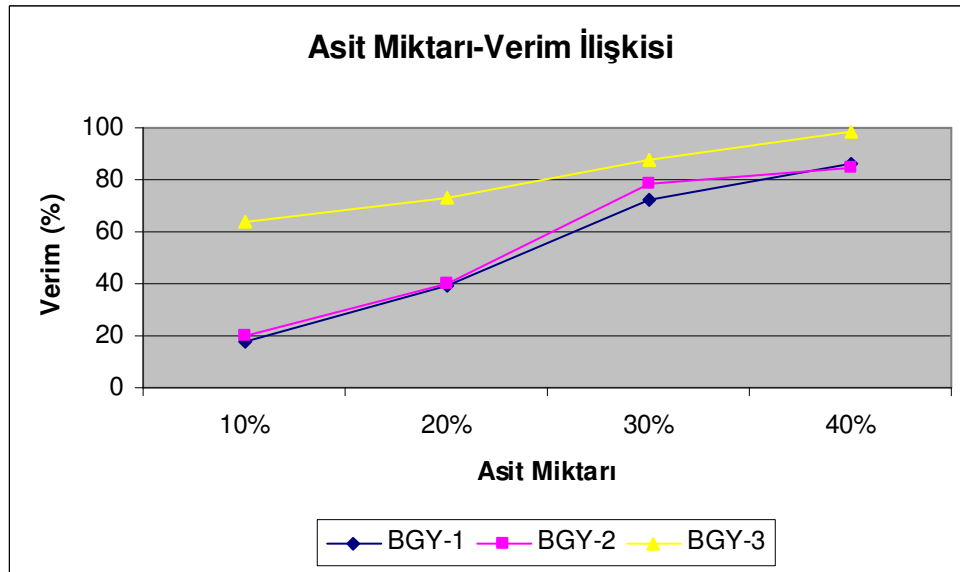
$$\% \text{Fe}_2 = \frac{\text{Okunan değer} * \text{Seyreltme Miktarı} * \text{Sabit}}{\text{Tartım Değeri}}$$

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\% \text{Fe}_2 \text{ Atm. Ağırlığı Fe}_2\text{O}_3}{\text{Atm. Ağırlığı Fe}_2}$$



Şekil 4.12 Asit Miktarı – Çözünürlük ilişkisi, demir oksit içeriğinin %2'ye yaklaştığı, bölge %30 HCl'lik çözeltilidir.

%30 HCl çözeltisinde katı kısımda % 2 – 3 aralığında demir oksit içermektedir. Farklı asit oranlarında çözeltiliye alma verimi Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.13 Asit Miktarı – Çözeltiliye Alma Verim ilişkisi, %30 asit içeren çözeltilide %70- 90 arasında verim elde edilmiştir.

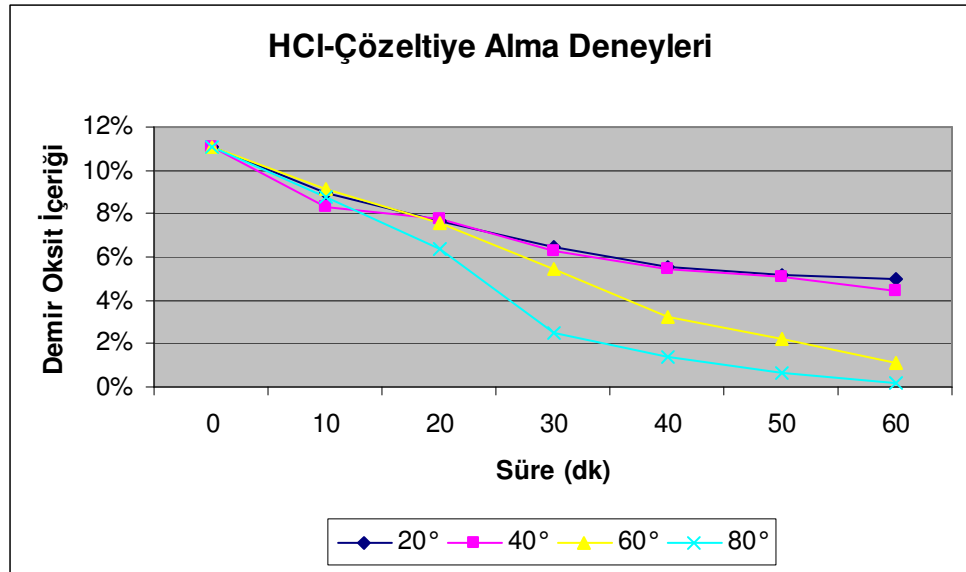
#### 4.4.1.2 Sıcaklık ve Zaman Faktörü

Asit miktarı %30 HCl olarak sabit tutularak numuneler farklı sıcaklıklarda ( $20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ ), 60 dk çözme işlemine tabi tutulmuştur. Sıvı kısımdan her 10 dk bir numune alınarak, atomik adsorbsiyonla, demir oksit içeriği ölçülmüştür. Böylece çözeltiye alma proseslerinde en önemli iki parametre olan sıcaklık ve zaman beraber değerlendirilmeye çalışılmıştır.



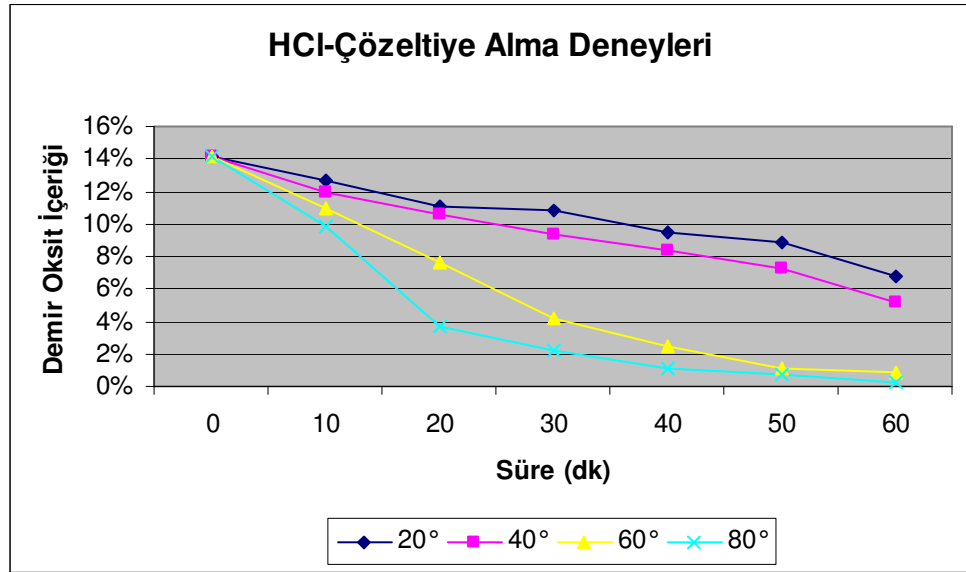
Şekil 4.14 Çözeltiye alma prosesi

Şekil 4.15'de görüleceği üzere BGY-1 numunesi  $80^{\circ}$  sıcaklıkta 35. dakikadan sonra, demir oksit içeriği % 2' nin altına düşmektedir.



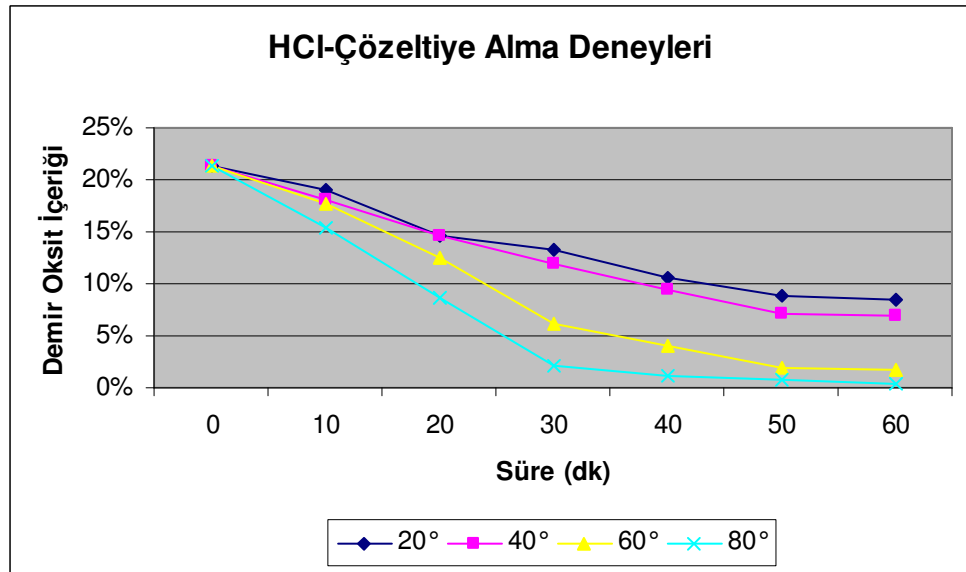
Şekil 4.15 BGY-1 numunesinin farklı sıcaklıklarda katı kısımdaki demir oksit içeriği

BGY-2 numunesi  $80^{\circ}$  sıcaklıkta 37. dakikadan sonra,  $60^{\circ}$  sıcaklıkta 48 dakikadan sonra demir oksit içeriği %2' nin altına düşmeye başlamaktadır (Şekil 4.16).



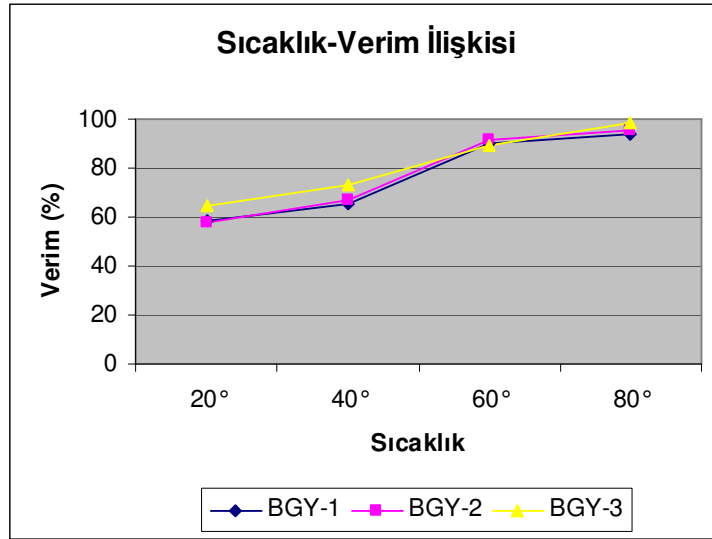
Şekil 4.16 BGY-2 numunesinin farklı sıcaklıklarda katı kısımdaki demir oksit içeriği

BGY-3 numunesi 80° sıcaklıkta 32. dakikadan sonra, 60° sıcaklıkta 40 dakikadan sonra demir oksit içeriği %2'nin altına düşmeye başlamaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 BGY-3 numunesinin farklı sıcaklıklarda katı kısımdaki demir oksit içeriği

Farklı sıcaklıklarda % 30 HCl içeriğiyle yapılan çözeltiyeye alma deneylerinde, her bir numune için 60° sıcaklıkta verim % 80 – 90 arasındadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Sıcaklık – Verim İlişkisi, 60° sıcaklıkta verim % 80 – 90 arasındadır.

#### 4.4.2 Prosesin Değerlendirmesi

Numuneler ilk önce farklı asit oranlarında, sabit sıcaklık (50°) ve sürede (60 dk) çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.13'den görüleceği üzere, proses verimi % 30 HCl çözeltisinde, % 70 – 90 arasındadır. Asit miktarı sabit (%30), farklı sıcaklıklarda ve 10 dk aralıklarla numune alınarak zaman faktörü de araştırılmıştır. Şekil 4.15, 4.16, 4.17'den görüleceği üzere farklı sıcaklıklarda iki ayrı çözünürlük davranışı görülmektedir. Bu farklılığının cevherin mineralojik özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kristal sistemleri ve yapıları farklı olan demir oksit içeren minerallerin miktarı bu proses de temel kontrol edilmesi gereken parametredir. Bu anlamda gereğinden fazla enerji, asit sarfiyatı yapmamak için, bu prosesin kontrolü geliştirilmekte olan otomasyon sistemi ile sağlanacaktır. Tablo 4.9 konsantrenin kimyasal analizi verilmiştir.

Tablo 4.9 Elde edilen konsantrenin ana bileşenlerinin kimyasal analizi. %15 kızdırma kaybıda kalsinasyon prosesi ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katıldığı zaman alüminyum oksit içeriği % 90'ın üstünde olacaktır.

	<b>Konsantre</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	76,50%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	5,60%
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,12%
<b>LOI</b>	15,00%

#### 4.4.3 Amonyak İlavesi



Şekil 4.19 Amonyak İlavesi

Katı-Sıvı ayırımından sonra, sıvı kısma amonyak ilavesiyle demir oksit çöktürülmüştür. Böylece %99,9 demir oksit elde edilmiştir. Fakat bu prosesin parametrelerin optimizasyonu gereklidir.

#### 4.4.4 NaOH İlavesi

Çöktürülen demir oksit katı-sıvı ayırımından sonra, sıvı kısım yeniden proses de kullanılmak üzere ayarlanarak tekrardan kullanılabilir. Bununla ilgili deneyler yapılmış ve başarılı olunmuştur.

Proses de tekrar kullanılan halen HCl içeren sıvı kısma NaOH eklenerek, buharlaştırılmıştır. Böylece NaCl elde edilmiş, aynı zamanda da prosesin çevresel etkileri en aza indirilmiştir. Bu işlem tesis dizaynında doğal buharlaştırma şeklinde yapılabilmektedir.

#### 4.5 Refrakter Boksit Tesisi

Geliştirilen refrakter boksit prosesi 3D Max programı ile 3 boyutlu olarak çizilmiştir. Devamlı çalışan bir sistem olarak düşünülen tesis de zenginleştirme üniteleri arasındaki bağlantılar boru hatlarıyla yapılmıştır. Zenginleştirme ve stoklama kapalı bir alanda, asit taşıyan kamyonlar ise tesisin dışından boru hattıyla asit tanklarına basacak şekilde düşünülmüştür.

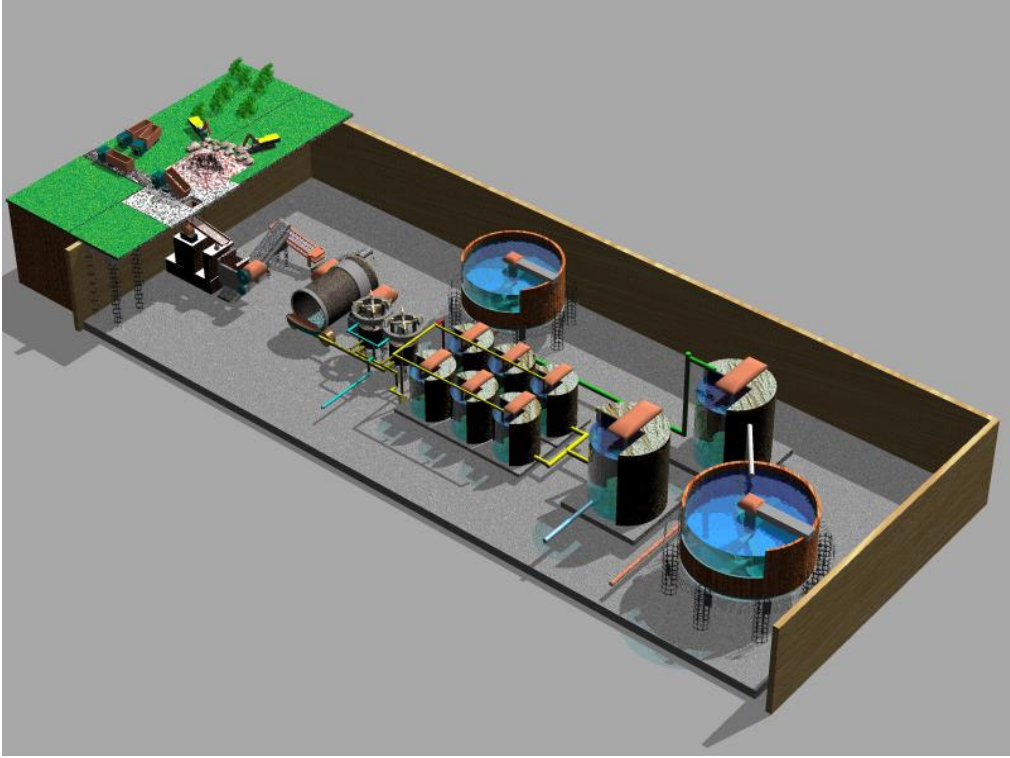
Tesisi üç boyutlu görebilmek, ilerleyen aşamada simülasyon programlarıyla prosesi sanal olarak gerçekleştirmek, tesis dizaynına önemli katkıları olmuştur ve olacaktır. Fakat unutulmaması gereken nokta cevher mineralojisi değişken önemli bir parametredir. Bu anlamda etkin, kendini yenileyen, cevher yapısına göre öğrenen sistemlerle proses kontrol edilmelidir.



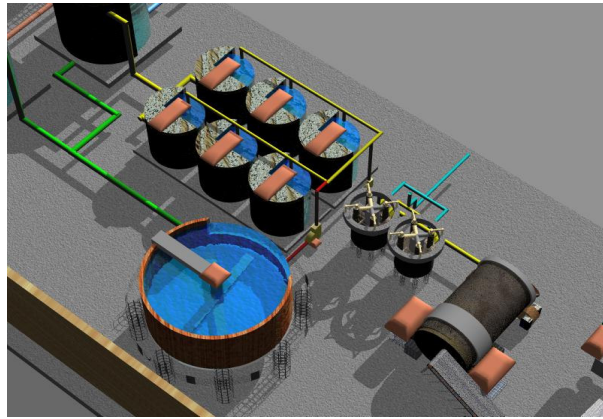
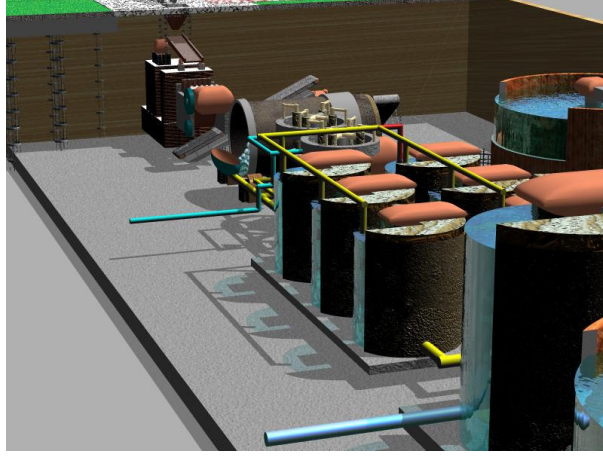
Şekil 4.20 Tesisin genel görüntüsü, asit dışarıdan boru hattıyla tesise getirilmektedir.



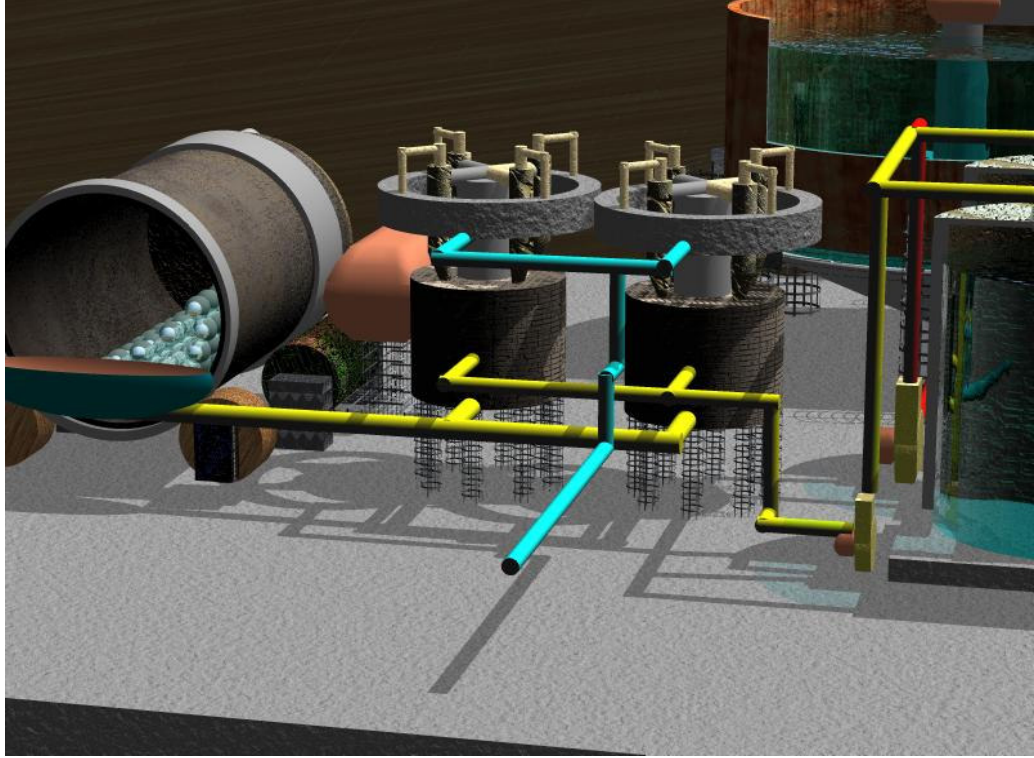
Şekil 4.21 Izgara ve çeneli kırıcı



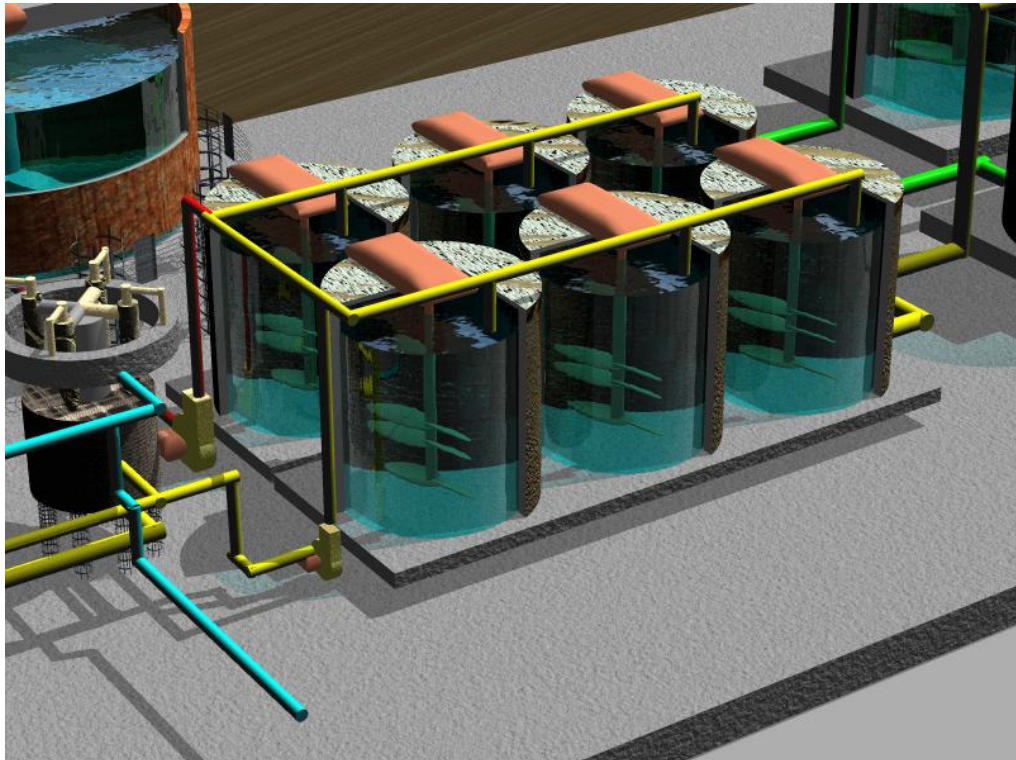
Şekil 4.22 Tesisin genel görüntüsü



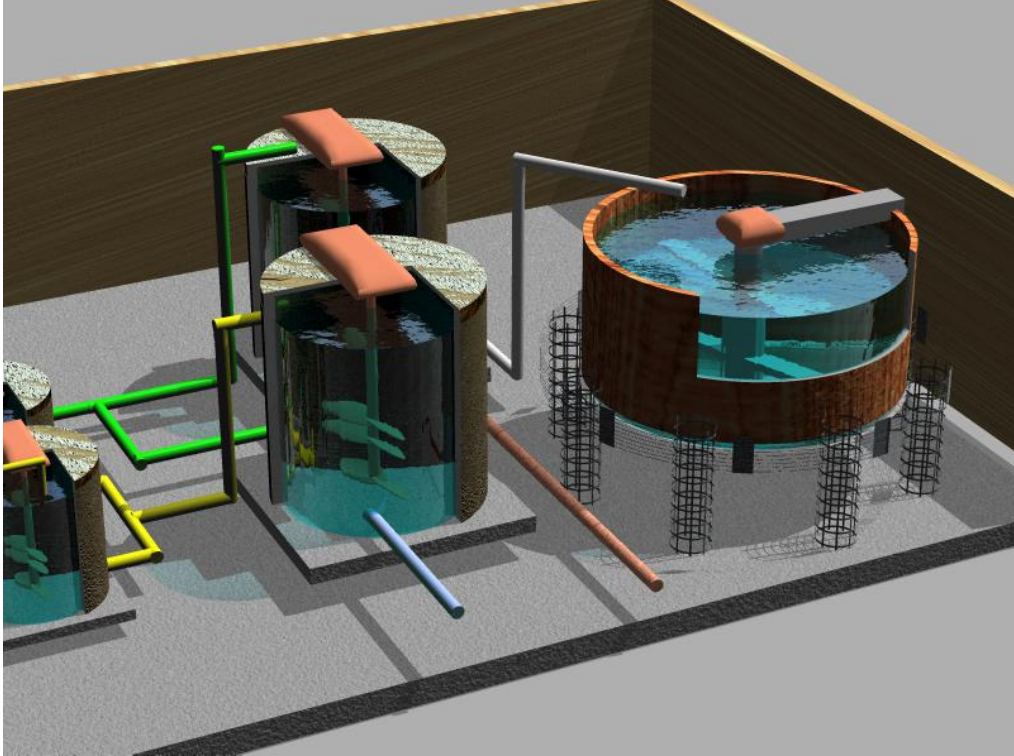
Şekil 4.23 Tesisin farklı görüntüleri



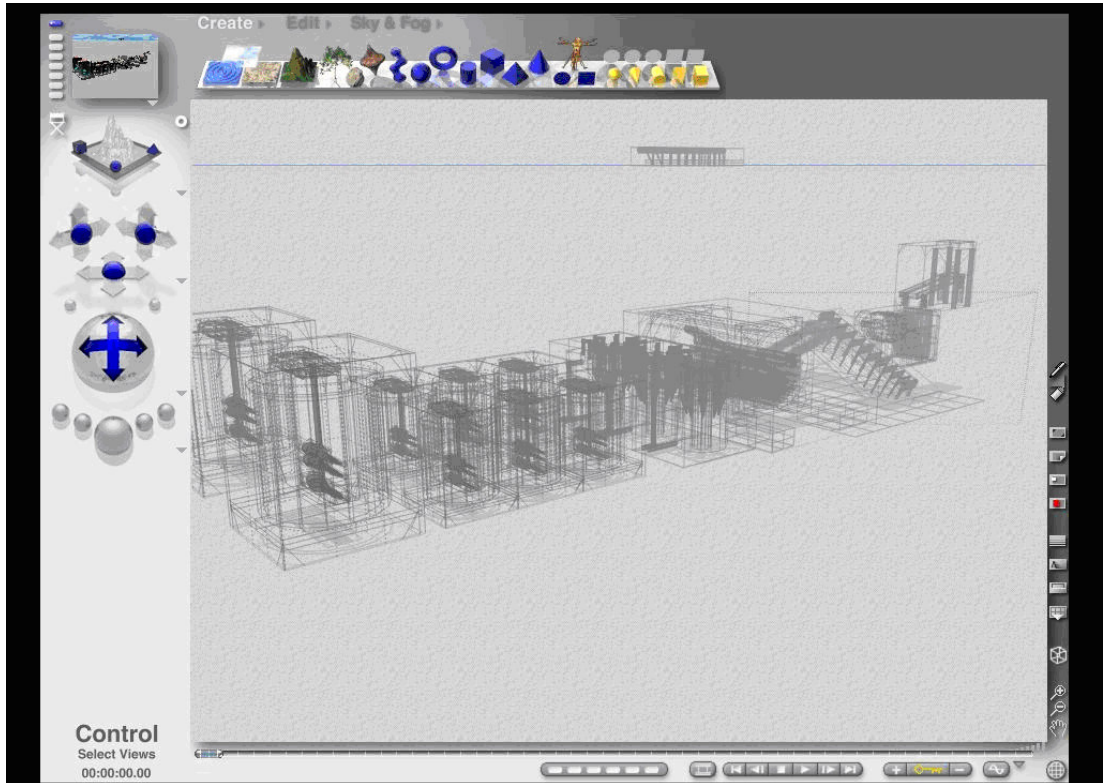
Şekil 4.24 Bilyalı değirmen ve siklonların yakın görüntüsü



Şekil 4.25 HCl tankları yakın görüntüsü



Şekil 4.26 Doğal buharlaştırma öncesi, prosesinde kullanılan asidin nötrleştirildiği tikiner görüntüsü



Şekil 4.27 Tesis dizayn aşaması

## BÖLÜM 5 OTOMASYON SİSTEMİ

### 5.1 Giriş

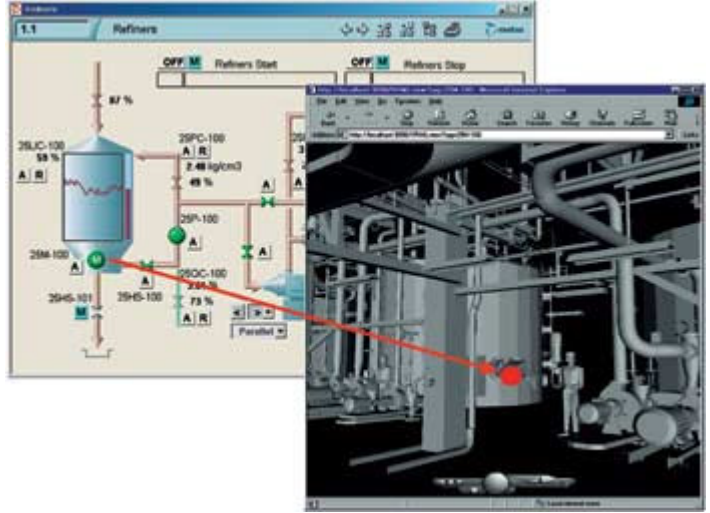
Dünyada zenginleştirme tesislerinde otomasyon sistemleri yaygın olarak kullanılmakta ve bu sistemler uzun uğraşlar sonucu geliştirilen yazılımlarla desteklenmektedir. Finlandiyalı bir şirket olan Metso önemli üreticiler arasındadır. Bütün bu sistemlerin temeli doğru ölçüm yapmaya ve verilerin doğru analizine

bağlıdır. Geride kalan özellikler ise sistemlerin diğer avantajları veya pazarlamada kullanılacak özelliklerdir. Ülkemizde özellikle madencilik sektöründe gelişmemiş olan bir konu olan otomasyon, gelecekte tesislerin kaçınılmaz ihtiyaçları olacaktır.



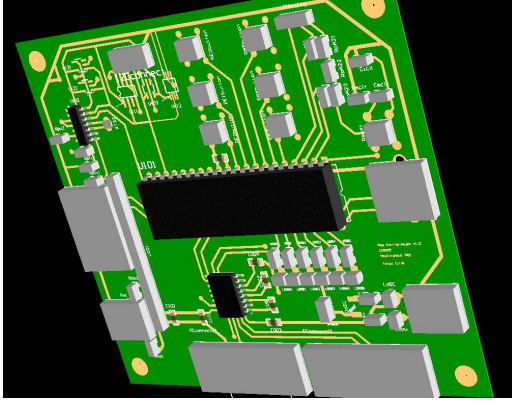
Şekil 5.1 Otomasyon Sistemi (Metso,2005)

Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme tesislerinde kontrol, proses de kullanılan parametrelerin ölçülmesiyle mümkündür. Bu sayede proses denetlenebilir, verim, asit sarfiyatı, konsantrasyon miktarı gibi istenilen veriler kolayca ve istatistikî yaklaşımla doğru olarak alınabilir ve kontrol edilebilir.



Şekil 5.2 Prosesin Bilgisayarla Kontrolü, (Metso,2005)

Burada amaçlanan geliştirilen refrakter boksit prosesin tam anlamıyla otomatik bir tesis de zenginleştirilmesi ve bu tesisdeki her türlü değişkenin kontrolüdür. Bu



çalışma farklı disiplinlerin bir araya getirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu proje kapsamında otomasyon sisteminin ilk adımları atılmış, farklı hassasiyetlerde sıcaklık ölçümleri yapılarak bilgisayara bu verinin aktarımı sağlanmıştır. Yapılan bu kart diğer parametrelerin ölçülmesinde ve verilerin depolanmasına uygun olarak dizayn edilmiştir.

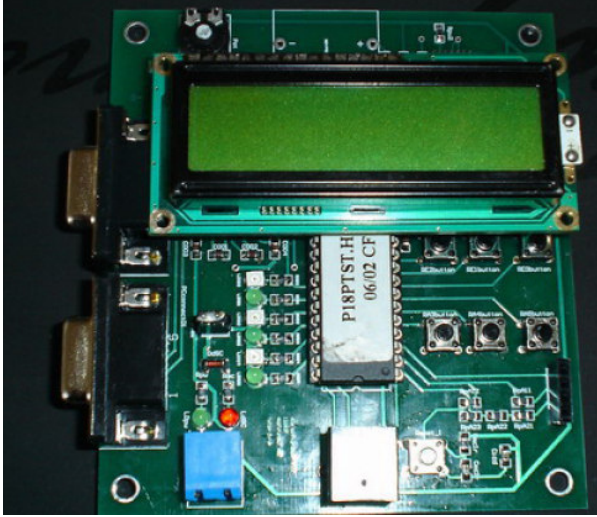
Şekil 5.3 Otomasyon sistemi dizayn aşaması



Şekil 5.4 Proses kontrolünün bilgisayar ve yazılımlar vasıtasıyla kontrol edilmesi amaçlanmıştır (Metso,2005)

## 5.2 Devre Tasarımı

Devre, sıcaklığın ölçülmesi için DS1721, DS1775 ve TC74 sıcaklık sensorlerinden, ölçülen sıcaklığı sayısal olarak bu sensordan alan ve analog-dijital dönüştürücüsüyle DCgerilim ölçebilen PIC18F452 microdenetleyicisinden ve ölçülen bu değerleri çıktı olarak veren LCD ekrandan oluşur.



Şekil 5.5 Otomasyon sistemi için geliştirilen ana kart

### 5.2.1 Devrenin Çalışması



Şekil 5.6 Devrenin katları

Devre katları Şekil 5.6' de gösterilmiştir. Ölçme katı sıcaklık ölçümü yapan üç farklı sıcaklık sensörü ve microdenetleyicinin A/D dönüştürücüsünü kullanarak gerilim ölçümü yapan bloktan oluşmaktadır. Kontrol katı sıcaklık değerlerini sensorlerden sayısal olarak alan ve üzerinde bulunan A/D dönüştürücüyü kullanarak gerilim ölçümü yapan bir microdenetleyiciden oluşur. Çıkış Katı Ölçümlenmiş değerleri çıktı olarak veren LCD göstergeden oluşmaktadır.

Microdenetleyici olarak kullanılan PIC18F452 entegresine 20MHz kristal osilatör bağlanmıştır. Kullanılan bu kristalin her iki pinine 18pF kapasiteler bağlanmıştır. Kristalden aldığı temel frekansa bağlı olarak işlem sürelerini belirleyen microdenetleyicinin en küçük işlem süresi ( Nop() ) 200ns olur. Microdenetleyicinin programı yazılırken bir Nop() süresi temel alınarak gecikme fonksiyonları

tasarlanacağından kristal seçimi önemlidir (DS1721 Datasheet and Application Notes 2005).

Devrede çıktı olarak [ °C ] cinsinden sıcaklık ve [ V ] cinsinden gerilimin ölçümlenen değerleri LCD göstergede kullanıcıya sunulur. Kullanılan LCD Hitachi tipi 2x16 GDM1602 göstergesidir. LCD data portları pic18F452 mikrodenetleyicisinin D portunun düşük anlamlı ilk 4 portuna ( portD 0 -3 ), RS(Register Select) pini C0 portuna, E(Enable) pini C2 portuna, R/W(Read/Write) pini C1 portuna bağlanmıştır. V0 LCD parlaklığını belirleyen pin 1/5 direnç oranı ile sabitlenmiştir. V0 pinine bağlanan bir potansiyometre yardımı ile bu ayar kullanıcı tarafından istenildiği gibi değiştirilebilir.

Microchip TC74 sıcaklık sensörü I2C haberleşme protokolu ile sıcaklık bilgisini mikrodenetleyiciye gönderir. Bu protokolde master pic18F452 slave ise TC74 sensorudur. Haberleşme hızı 100KHz olan bu protokolde SCL pini saat darbeleri gönderir SDA pini gönderilip alınmak istenilen data bilgisini taşır. Bu iki pinde Input/Output olarak çalıştırılabilmektedir.. Microdenetleyicinin C3 ve C4 portları I2C haberleşme portlarıdır.

Maxim&Dallas DS1721 sıcaklık sensörü de aynı şekilde I2C haberleşme protokolu ile sıcaklık bilgisini mikrodenetleyiciye gönderir. Bu Sensorlerin A0 A1 A2 pinleri tasarım başlangıcında belirli değerlere set edilirse herbir sensörün adresi özelleştirilmiş olur. Bu durum I2C protokolü ile haberleşen sensorlerin tek bir bus üzerine aynı anda bağlanarak çalıştırılabilmelerini sağlar. Böylece farklı noktalarda bulunan sensorlerden alınan sıcaklık değerleri ile işlem gerçekleştirilebilir.

Maxim&Dallas DS1775 sıcaklık sensörü de diğer iki sensor gibi I2C haberleşme protokolu ile sıcaklık bilgisini mikrodenetleyiciye gönderir. Bu sensor sot23 kılıfta olmasından dolayı A0 A1 A2 pinlerine sahip değildir. Ancak bu sensorler üreticiden sipariş edilirken belirli kodlara göre istenilirse farklı adreslerde fabrika çıkışı üretilirler. Bu durumdan DS1721 sensorunde olduğu gibi yararlanılabilir. Yani aynı

SMbus ( I2C ) üzerine 8 farklı noktaya bağlanabilirler (DS1775 Datasheet and Application Notes 2005).

Microdenetleyici ile gerilim ölçümü A/D portlarından gerçekleştirilir. Pic18F452 microdenetleyicisi 10bit A/D dönüştürücüye sahiptir. Burada istenilen herhangi bir analog portdan gerilim ölçümü o port Analog olarak set edilerek gerçekleştirilebilir. Devrede gerilim ölçümü yapılacak portlar AN0 AN1 AN2 AN3 portlarıdır.

Devrenin şematik ve layout çizimleri Protel DXP2004 programı ile çizilmiştir. Microdenetleyici için yazılan kod C dilinde yazılıp mplabC18 C programı kullanılarak derlenmiştir.

### 5.3 Devrede Kullanılan Elemanlar

- PIC Microdenetleyici PIC18452
- TC74 Microchip sıcaklık sensorü
- DS1721 Dallas&Maxim sıcaklık sensorü
- DS1775 Dallas&Maxim sıcaklık sensorü
- GDM1602 (16x2) LCD gösterge

#### 5.3.1 PIC Mikrodenetleyicilerin Üstünlükleri

- Lojik uygulamalarının hızlı olması.
- Fiyatının oldukça düşük olması.
- 8 bitlik microdenetleyiciler olması, bellek ve veri için ayrı yerleşik yolların (bus) kullanılması
- Veri ve belleğe erişimin hızlı sağlanması.
- PIC' e göre diğer mikrodenetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek yol (bus) bulunması, dolayısıyla PIC'in bu özelliği ile diğer microdenetleyicilerden iki kat daha hızlı olması.
- Herhangi bir ek bellek veya giriş/çıkış elemanı gerektirmeden sadece iki kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmeleri.

- Yüksek frekanslarda çalışabilme özelliği. (PIC18F452 Datasheet and Application Notes 2005).

### 5.3.2 DS1721 sıcaklık sensorü

DS1721, Dallas Semiconductor firmasının bir ürünüdür. Temel fonksiyonu, ortamdaki sıcaklığı algılayıp elektriksel işaretlere dönüştürerek sayısal bir formatta kullanıcıya sunmaktır (DS1721 Datasheet and Application Notes 2005).

- Dıştan herhangi bir elemana gereksinim duymadan  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  hata payıyla ölçüm yapabilir.
- Sıcaklık hassasiyeti 9 ila 12 bit arasında ( $5^{\circ}\text{C}$  ile  $0.0625^{\circ}\text{C}$  çözünürlük) ayarlanabilir.
- Maksimum çevirim zamanı, 9 bitlik durumda, 150ms'dir.
- Termostatik özellikler kullanıcı tarafından belirlenebilir.
- Veri I<sup>2</sup>C (SMBus) üzerinden 3bitlik adresle okunup ve yazılabilir.
- Geniş besleme gerilimi aralığında çalışır. (2.7V-5.5V)

### 5.3.3 DS1775 Sıcaklık Sensörü

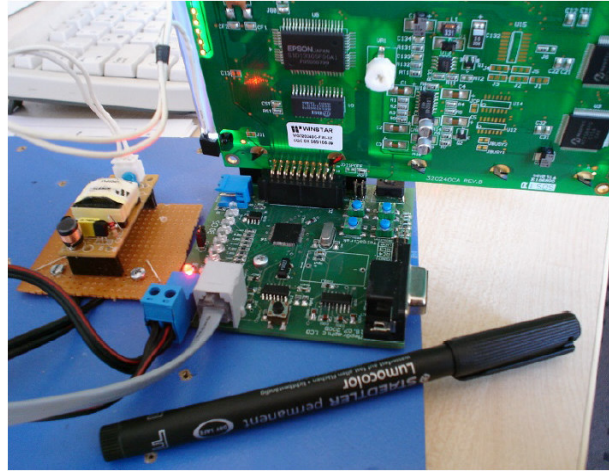
DS1775, Dallas Semiconductor firmasının bir ürünüdür. Temel fonksiyonu, ortamdaki sıcaklığı algılayıp elektriksel işaretlere dönüştürerek sayısal bir formatta kullanıcıya sunmaktır (DS1775 Datasheet and Application Notes 2005).

- Dıştan herhangi bir elemana gereksinim duymadan  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  hata payıyla ölçüm yapabilir.
- Sıcaklık hassasiyeti 9 ila 12 bit arasında ( $5^{\circ}\text{C}$  ile  $0.0625^{\circ}\text{C}$  çözünürlük) ayarlanabilir.
- Maksimum çevirim zamanı, 9 bitlik durumda, 187.5ms'dir.
- Termostatik özellikler kullanıcı tarafından belirlenebilir.
- Veri 2 Telli veri yolu üzerinden 3 bitlik adres ile okunabilir ve yazılabilir.
- Geniş besleme gerilimi aralığında çalışır. (2.7V-5.5V)

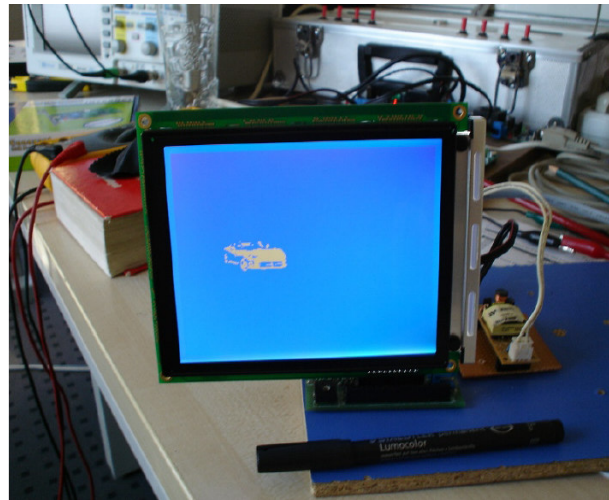
### 5.3.4 TC74 Sıcaklık Sensörü

TC74, Microchip firmasının bir ürünüdür. Temel fonksiyonu , ortamdaki sıcaklığı algılayıp elektriksel işaretlere dönüştürerek sayısal bir formatta kullanıcıya sunmaktır. Aşağıda bu elemanın temel özellikleri sıralanmıştır.

- Dıştan herhangi bir elemana gereksinim duymadan +25°C,+85°C arasında  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , +0°C,+125°C arasında  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  hata payıyla ölçüm yapabilir.
- Çıkış sıcaklığını 8 bit olarak iletir.
- Veri SMBus/I<sup>2</sup>C üzerinden seri olarak okunabilir ve yazılabilir.
- Geniş besleme gerilimi aralığında çalışır. (2.7V-5.5V)



Şekil 5.7 Son çalışmalarla devreye LCD ekran eklenmiş, proses de ölçülen değerler LCD ekran üzerinden görülmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda ana kart biraz daha küçültülmüş ve etkinleştirilmiştir.



Şekil 5.8 LCD ekran

## BÖLÜM 6 SONUÇLAR

Bu araştırma projesinde, ülkemizde ithalatı söz konusu olan bir ürün, çözeltiliye alma prosesi kullanılarak üretilmiştir. Proses de çevreye zarar verecek bir atık oluşmamakta, refrakter boksitin yanı sıra başka satılabilir ürünler elde edilmektedir. Asit ile çözeltiliye almaya dayalı bu proses de kullanılacak optimum parametreler; asit miktarı hacimce % 30 HCl, 60<sup>0</sup> sıcaklık, 60 dk boyunca çözeltiliye alma işleminin devam etmesidir.

Deneylemler sonucunda, çözeltiliye alma işleminde iki farklı çözünürlük davranışı gözlenmektedir. Bu davranışa, düşük sıcaklıklarda hematitin çözünmesi, ancak daha yüksek sıcaklıklarda götün çözünmesi sebep olduğu düşünülmektedir. İnce ve parlak kesitlerde bu mineraller gözlenmiştir. Lateritik tipte bir cevherleşme olması sebebiyle, farklı kristal yapısında ve farklı oranlarda demir içeren mineraller olması muhtemeldir.

Zenginleştirme işlemini denetleyen en önemli parametre cevher yatağının minerolojisidir. Bu anlamda; proses araştırılırken elipsin geometrik özelliğinden faydalanarak geliştirilen metod izlenmiştir. Bu yaklaşımın temeli aslında yer kabuğunda belli oranlarda bulunan elementlerin, farklı sistemlerle zenginleştirilerek ekonomik cevher yataklarını oluşturmasıdır. Doğanın gerçekleştirdiği bu zenginleştirme teoride kabul edilebilecek limit verimliliğidir. Bu anlamda, boksit jeolojisi incelenmiş ve uygulanacak proses, temelde doğa tarafından gerçekleştirilen prosesin devamı niteliğindedir.

Refrakter boksit tesisi 3D Max programıyla çizilmiştir. Her bir zenginleştirme ünitesi ve tesisin genel görüntüleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu tür programlar cevher hazırlama ve zenginleştirme daha çok kullanılmalı, tesis dizaynı öncesinde prosesdeki parametreler simülasyon programlarıyla denemeler yapılmalıdır.

Ayrıca, değişken olan cevher mineralojisi parametresinin kontrolü ve asit kullanıldığı için sistem iş emniyetini sağlamak amacıyla, proses kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen otomasyon sistemi, pek çok farklı prosesde de kullanılabilir niteliktedir. Bu proje, uzun araştırmalar ve çalışmalar sonucunda tamamlanabilen, otomasyon sistemlerinin ülkemizde üretilmesi açısından bir başlangıç niteliği taşımaktadır. Geliştirilen otomasyon sistemi, sıcaklık ve basıncı ölçmekte, elde ettiği verileri grafik olarak bilgisayara ve üzerindeki LCD ekrana aktarabilmektedir. Sahip olduğu işlemci sayesinde bu verileri istatistiki bir yaklaşımla saklamakta ve bir veri tabanı oluşturmaktadır. Amaç, cevher mineralojisinde ne tür değişiklik olursa olsun hep aynı kimyasal bileşime sahip ürün elde etmektir. Buda ancak öğrenen bir otomasyon sistemi ile mümkündür.

Bu çalışmada, farklı disiplinler bir araya getirilerek ortak projeler geliştirilmeye çalışılmıştır.

## KAYNAKÇA

- Anand, P., Modak, J.M., Natarajan, K.A., (1996). Biobeneficiation of bauxite using *Bacillus polyxma*: calcium and iron removal. *Int. J. Mineral Processing*, 48, 51-60
- Apps J. A. And Neil J. M. (1990). Solubilities of aluminium hydroxides and oxyhydroxides in alkaline solutions. *Chemical Modelling of Aqueous Solutions II*, ACS Symposium Series 416
- Barlett, W.B.(1998). Solution Mining Leaching and Fluid Recovery of Materials. *Gordon and Breach Science Publishers*, 79-103
- Bill B. (2003). Refractories market monitor. *Industrial Magazine*,12, 18-25
- Boulangue B., Carvalho A. (1996). The bauxite of Porto Trombetas. *In: Carvalho Brazilian Bauxites*, 55-73
- Chemical Report (2005). Safety of chlorine production and chlorination processes. *Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society*
- DPT 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001). Boksit, 26-30
- DPT 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001). Taş ve toprağa dayalı ürünler sanayi özel ihtisas komisyon raporu. *Refrakter*, 65-70
- Dr. Alexander Horkel ile sözlü görüşme notları (2004).
- DS1721 Datasheet and Application Notes (2005). Maxim&Dallas Inc.-  
<http://www.maxim-ic.com>
- DS1775 Datasheet and Application Notes (2005).Maxim&Dallas Inc.-  
<http://www.maxim-ic.com>
- Edwards, J.D., Frary F.C., and Jeffries Z. (1989). Aluminium and its production. *McGrawhill Book*, 118-120
- Galluci R. R., Going R. (1986). Chlorination of aliphatic ketones in methanol. *J. Org. Chem.*, 46, 2532-2538
- Gitzen W.H. (1985). Alumina as a Ceramic Material. *The Amer. Cer. Society, Columbus, Ohio*,75-102
- Groudev, S. N., Groudeva, V.L., Genchev, F.N., Petrov, E.C., (1993). Removal of iron sands by means of microorganisms. *Progress Biohydrometall*, 441-450
- Haris, G. W. (1988). Method and apparatus for making hydrochloric acid and sodium hydroxide. *U.S patent*, 4,749,453

- Hudson L.K., Misra C., Wefers K. (2001). Aluminium Oxide Report. *Aluminium Company of America, Alcoa Center*, 507-551
- Kahn H., Tassinari M.M.L., Ratti G. (2003). Characterization of bauxite fines aiming to minimize their iron content. *Minerals Engineering*, 16,1313-1315
- Krause C. (1997). The hidden industry. *The refractory Institute*
- Litchfield, L. (1990). The bauxite industry of northern South America. *Eng. And Min. Journ.*, 149, 461-464
- Mahmoud A. R. (2000). Recovery of iron and copper from spent HCl used to clean up dirty car radiators. *Hydrometallurgy*, 56, 75-92
- Maurice C. Fuerstenau and Kenneth N. Han (2003). Principles of Mineral Processing. *Handbook*, 413-471
- McCracken W. (2000). Refractory bauxite report. *F&S International*,1-8
- Metso, Nisan, 2005. <http://www.metso.com>. Process control systems
- Mishra D., Anand S., Panda R.K., Das R.P. (2000). Hydrothermal preparation and characterization of boehmites. *Materials Letter*, 42,38-45
- Nagayama, H. (1986). High alumina refractory for use in non-ferrous metal melting furnace. *U.S. Patent*, 4,608,353
- Öztürk H., Hanılçı N. (1999). Doğankuzu ve Mortaş boksit yatağının jeolojisi ve sülfürlü zonlarının özellikleri, Orta Toroslar Türkiye. *M.T.A. Dergisi* 121, 185-197
- Palmer A. D., Pascale B., and Weslowski J. D. (2001). Aqueous high - temperature solubility studies. I. The solubility of boehmite as functions of ionic strength (to 5 molal, NaCl), temperature (100-290C), and pH as determined by in situ measurements. *Geochimica et Cosmochimica acta*, Vol. 65, No.13, pp. 2081-2095
- Pavlik, S. R. (2004). Alumina refractories and methods of treatment. *U.S. Patent*, 6,802,269
- PIC18F452 Datasheet and Application Notes (2005). Microchip Inc.- <http://www.microchip.com>
- Pişkin, Ö. (2002). Cevher Mikroskopisi ve Petrografisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları No:302*

- Reddy B.R. (1995). Upgradation of low grade bauxite for refractory and ceramic applications, *Research Lab.*, report dated May 1995
- Reddy B.R., Mishra S.K., Banerjee G.N. (1998). Kinetics of leaching of a gibbsitic bauxite with hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*, 51, 131-138
- Sönmez B.S., (1997). Seydişehir alüminyum üretim örneğinde üretim teknolojisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Bitirme Tezi.*
- Speight, G. J. (2002). Chemical and Process Design Handbook. *McGraw-Hill*, 2,263-265
- S.S. Vasan, Jayant M. Modak, K.A. Natarajan (2000). Some recent advances in the bioprocessing of bauxite. *Int. J. Mineral Processing*, 62, 173-186
- UNCTAD (2000). Recent and planned changes in production capacity for bauxite, alumina and aluminium. *United nations conference on trade and development*, Advanced Copy
- Valeton I. (1972). Bauxites. *Dev. Soil. Sic.*, 102-194.
- Webmineral, <http://www.webmineral.com>, Ocak 10,2005, Boehmite
- Wikipedia, <http://www.wikipedia.com>, Mayıs 10, 2004, Hydrochloric acid