

**ALÜMİNA ÜRETİMİNDE SEYDİŞEHİR BOKSİTİNİN ÖĞÜTME
BOYUTUNUN EKSTRAKSİYON VERİMİNE VE SÜRESİNE ETKİSİ**

Sibel HACIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2007

ANKARA

Sibel HACIOĞLU tarafından hazırlanan ALÜMİNA ÜRETİMİNDE SEYDİŞEHİR BOKSİTİNİN ÖĞÜTME DERECEİNİN EKSTRAKSİYON VERİMİNE VE SÜRESİNE ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet BİÇER
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ali BİLGESU

Üye : Prof. Dr. Ahmet BİÇER

Üye : Prof. Dr. Mübeccel ERGUN

Üye : Prof. Dr. Vecihi PAMUK

Üye : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Tarih : 11/07/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orjinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sibel HACIOĞLU

**ALÜMİNA ÜRETİMİNDE SEYDİŞEHİR BOKSİTİNİN ÖĞÜTME
DERECESİNİN EKSTRAKSİYON VERİMİNE VE SÜRESİNE ETKİSİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Sibel HACIOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2007

ÖZET

Bu çalışmada Seydişehir Eti Alüminyum A.Ş. Tesislerinde alümina üretiminde kullanılan böhmitik boksit cevherinin, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında kostik soda ile reaksiyona (otoklav liçi) sokulmadan önce gerçekleştirilen öğütme işleminde, boksitin tane boyutunun reaksiyon süresine ve buna bağlı olarak prosesteki Al_2O_3 verimine (metalurjik verim) etkisi incelenmiştir.

Deneylerde homojen olarak hazırlanan temsili boksitin öğütülmesiyle elde edilen farklı üç boyuttaki fraksiyonlar kullanılmış ve bu numunelerin kostik soda çözeltisi ile 120 dakika süre zarfında ekstraksiyonu sonucunda elde edilen Al_2O_3 verimine dayalı olarak optimum elek fraksiyonu belirlenmiştir. Belirlenen optimum elek fraksiyonu için reaksiyon süreleri değiştirilerek sürenin etkisi de incelenmiştir.

Sonuç olarak alümina üretiminde kullanılan böhmitik boksit cevherinin optimum öğütme (tane) boyutunun $-0,149+0,074$ mm ve reaksiyon süresinin optimum 90 dakika olduğu tespit edilmiştir.

Bilim kodu : 912.1.094
Anahtar Kelimeler : Boksit, alümina, ekstraksiyon, partikül boyutu
Sayfa Adedi : 62
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ahmet BİÇER

**EFFECTS OF THE PARTICLE SIZE OF GROUND BAUXITE (BOEHMITE)
ORE FROM SEYDİSEHIR, WHICH IS USED IN ALUMINA PRODUCTION,
ON THE EXTRACTION TIME AND RECOVERY
(M. Sc. Thesis)**

Sibel HACIOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

ABSTRACT

In this study, the effects of the particle size of ground bauxite (boehmite) ore from Seydişehir, which is used in alumina production at Eti Alüminyum Co. Inc, on the extraction time and the recovery of Al_2O_3 has been investigated.

Representative samples of bauxite were obtained in different size fractions and these samples are leached for 120 minutes and the recovery of Al_2O_3 for each fraction was calculated. From this study the optimum size fraction was selected. Different leaching time was applied to the selected size fraction to find out the optimum time for leaching.

The results indicated that grinding of bauxite (boehmite) ore below 0,149 mm size and leaching time of 90 minutes was sufficient to obtain optimum recovery.

**Science Code : 912.1.094
Key Word : Bauxite, alumina, extraction, particle size
Page Number : 62
Adviser : Prof. Dr. Ahmet BİÇER**

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ahmet Biçer'e ve tüm tahsil hayatımdaki tüm öğretmenlerime, çalışmanın tamamlanması için gerekli imkanı sağlayan Eti ALÜMİNYUM A.Ş.'nin Genel Müdürü Sn. Mehmet ARKAN'a, Koordinatör Sn. Cemil TIRYAKIOĞLU'na, Laboratuvarlar ve Araştırma Müdürlüğü ile Alümina Fabrikası Müdürlüğü çalışanlarına ve çalışmam sırasında bana yol gösteren ve gerek teorik gerekse uygulamaya yönelik bilgileriyle beni aydınlatan Maden Cevher Zenginleştirme Yük. Mühendisi babam Erkan HACIOĞLU'na, en içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. BOKSİT VE ALÜMİNYUM.....	3
2.1. Boksit.....	3
2.1.1. Boksitlerin sınıflandırılması.....	3
2.1.2. Başlıca boksit çeşitleri ve özellikleri.....	6
2.1.3. Boksitte bulunan başlıca safsızlıklar ve etkileri.....	9
2.2. Alüminyum.....	12
2.2.1. Alüminyumun genel özellikleri.....	14
2.2.2. Alüminyumun kullanım alanları.....	15
3. ALÜMİNA.....	18
3.1. Alümina üretimi.....	18
3.1.1. Hammadde hazırlama bölümü.....	19
3.1.2. Otoklavlar - kırmızı çamur bölümü.....	21
3.1.3. Dekompozisyon – hidrat bölümü.....	23
3.1.4. Buharlaştırma bölümü.....	26
3.1.5. Kalsinasyon bölümü.....	27
3.1.6. Alüminyum sülfat bölümü.....	28

4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	30
4.1 Kullanılan deneysel sistem.....	30
4.2 Na ₂ O analizi.....	32
4.3 Al ₂ O ₃ analizi.....	32
5. HESAPLAMALAR.....	34
6. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE YORUM.....	46
KAYNAKLAR.....	54
EKLER.....	55
EK-1 Bayer prosesinin basitleştirilmiş akım şeması.....	56
EK-2 Hammadde hazırlama bölümü akım şeması.....	57
EK-3 Otoklavlar ve kırmızı çamur bölümü akım şeması.....	58
EK-4 Dekompozisyon ve hidrat bölümü akım şeması.....	59
EK-5 Buharlaştırma bölümü akım şeması.....	60
EK-6 Kalsinasyon bölümü akım şeması.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Modül değerlerine göre boksit sınıfları.....	5
Çizelge 2.2. BEV değerlerine göre boksit sınıfları.....	6
Çizelge 2.3. Kullanım alanlarına göre spesifikasyonlar.....	6
Çizelge2.4. Boksit çeşitleri ve özellikleri.....	9
Çizelge 3.1. Üretilen alüminyum hidroksitin (yaş) kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	23
Çizelge 3.2. Üretilen kalsine alüminanın kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 5. 1. Boksit tane boyutu -0,210 +0,149 mm için deney sonuçları.....	39
Çizelge 5. 2. Boksit tane boyutu -0,149 +0,074 mm için deney sonuçları.....	40
Çizelge 5. 3. Boksit tane boyutu - 0,074 +0,044 mm için deney sonuçları.....	41
Çizelge 5. 4. Belirlenen elek fraksiyonlarındaki % Al ₂ O ₃ verimleri.....	42
Çizelge 5.5. -0,149 + 0,074 mm tane boyutunda farklı zamanlardaki Al ₂ O ₃ verimleri.....	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Deney düzeneği.....	31
Şekil 6.1—0,210 + 0,149 mm elek fraksiyonundaki boksitin % Al_2O_3 verimi.....	47
Şekil 6.2. — 0,149 + 0,074 mm elek fraksiyonundaki boksitin % Al_2O_3 verimi.....	48
Şekil 6.3 — 0,074 +0,044 mm elek fraksiyonundaki boksitin % Al_2O_3 verimi.....	48
Şekil 6.4. Böhmitik boksitte öğütme boyutunun çözeltiye geçen Al_2O_3 (g/L) miktarına olan etkisini gösteren grafik.....	49
Şekil 6.5. Partikül boyutunun sodyum alüminat çözeltisindeki Al_2O_3 miktarına etkisi.....	50
Şekil 6.6. -0,149 +0,074 mm partikül boyutundaki böhmitik boksitin zamana bağlı olarak sodyum alüminat çözeltisindeki Al_2O_3 miktarına etkisi.....	51

1. GİRİŞ

Alüminyumun ana cevheri olan boksit cevheri üretimi genellikle açık ocak işletmeciliği ile gerçekleştirilmektedir. Boksit minerali %30–60 alüminyum oksit içerir. 1887 yılında K. J. Bayer alüminat çözeltisinin dekompozisyonu ve 1892'de ise boksitin sodyum hidroksit çözeltisi ilavesi ile yüksek basınç ve sıcaklık altında çözünürleştirilmesinin ilk patentini almıştır. Bu patent bugün pek az değişimlerle uygulanan Bayer metodunun temel prensiplerini içerir. Bayer Prosesine göre elde edilen alüminanın elektrolizi ile sıvı alüminyum (birincil alüminyum) üretilmektedir. Yaklaşık 4 ton boksitten 2 ton alümina elde edilmekte, bundan da 1 ton metal alüminyum üretilmektedir.

Entegre bir yapıda olan Eti Alüminyum A.Ş. Tesisleri; Alümina, Anot Pasta, Alüminyum, Dökümhane, Haddehane ana üretim fabrikaları ile bunlara hizmet veren Kazan Dairesi, Kompresör, Su Sirkülasyon, Laboratuvar, Atölyeler, Tesis Enerji gibi yardımcı ünitelerden oluşmaktadır [1].

Açık işletme tekniği ile çıkarılan % 56 Al_2O_3 tenörlü 400.000–450.000 ton/yıl civarındaki boksit cevheri, Bayer prosesinin uygulandığı Alümina Fabrikasında kırma, öğütme, çözme, katı-sıvı ayrımı, sıvının kristalizasyonu işlemlerine tabi tutularak alüminyum hidroksit elde edilir. Alüminyum hidroksitin kalsine edilmesi ile de, 200.000 ton/yıl alümina üretilir [1].

Alüminyum Fabrikasında 4 adet elektrolizhane binası ve her binada uç uca dizili 62 hücre olmak üzere toplam 248 hücre bulunmaktadır. Hücreler soderberg anot tipinde, yani kendi kendine pişen hücre tipi olup, 100–102 kA akım şiddeti ile çalıştırılmaktadır. Burada yaklaşık 120.000ton alüminanın elektrolize tabi tutulması sonucu 60.000 – 62.000 ton/yıl sıvı alüminyum üretilmektedir [1].

Dökümhane Fabrikasında elektrolizhanelerde üretilen sıvı alüminyum, alaşımlı / saf (alaşımsız) külçe, ingot (yuvarlak-yassı) şekline getirilir. Dökümhane Ünitesi yılda

60.000 ton civarında sıvı alüminyum ve yaklaşık 20.000 ton ikincil alüminyum işleyecek kapasitededir [1].

Haddehane Fabrikası, Dökümhanede üretilen yuvarlak ingotların ekstrüzyon, yassı ingotların ise hadde yöntemiyle şekil verildiği birim olup, bu üniteye piyasa talebine uygun olarak profil, sıcak-soğuk levha, ve folyo üretimi gerçekleştirilebilmektedir [1].

Özet olarak, Eti Alüminyum A.Ş. Tesisleri yılda ~ 450.000 ton Boksit işleyerek, 200.000 ton Alümina ve 60.000 ton sıvı alüminyum üretim kapasitesine sahiptir. Üretilen alüminanın 120.000 tonu sıvı alüminyum üretiminde kullanılmakta olup, geri kalan 80.000 tonun küçük bir miktarı yurtiçinde seramik fabrikalarına satılmakta ve kalan miktar ihraç edilmektedir [1].

2. BOKSİT VE ALÜMİNYUM

2.1. Boksit

Boksit ilk defa Fransa'nın Baux kasabasında keşfedilmiş (1821) ve adını bu kasabadan almıştır. Boksitin ne olduğu o zamanlarda tam anlaşılamadığı için bir mineral olarak kabul edilmiş ve bu tabir yaygın olarak kullanılmıştır. Boksit sertliği 1–3, yoğunluğu 2,5–3,5 gr/cm³ arasında değişen alüminyum oksit ve hidroksitlerin bir karışımıdır. Dünyadaki metal alüminyum üretiminin % 90'ı bu cevherden temin edilmektedir. Bu bakımdan boksit cevheri dünya ticaretinde önemli bir yer tutmaktadır.

Rengi, içerdiği demir miktarına bağlı olarak sarı, kahverengi ve kırmızı olabileceği gibi kirli-beyazdan, griye kadar değişmektedir.

Kayaçları oluşturan minerallerin fiziksel ve kimyasal etkilerle kompozisyonlarının değişmesi sonucu kaolen ve kil teşekkül etmesi bazı özel şartlar altında daha ileri derecelere kadar gidebilir. Bu şartlar altında silikatların büyük bir kısmı bozunarak yağmur suyu ile çözünür ve esas kayaçtan ayrılır. Geride kalan mineraller ise alüminyum ve diğer elementlerin oksitleri ve kısmen silikat hidratlarıdır. Bu gibi maden filizlerine, alümina veya alüminyum üretimi için ekonomik hale geldiği zaman boksit denir [3].

Boksitler karışık veya saf olarak üç çeşit mineral ihtiva ederler. Bunlar gibbsit (hidrarjilit); $\text{Al}(\text{OH})_3$, böhmit; $\text{AlO}(\text{OH})$, ve dijaspor; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 'dur. Gibbsit ve böhmitin içindeki alümina, alüminyum üretimi için, normal metotlarda elde edilebildiği halde diaspordan bu gaye ile alümina üretimi bugüne kadar bilinen metotlarla ekonomik olarak yapılamamıştır [3].

2.1.1. Boksitlerin sınıflandırılması

Boksitler üç grupta sınıflandırılır.

Minerolojik yapılarına göre boksitler

Gibsitik boksitler (trihidratik): Püskürük kayalardaki feldispat ve korundun düşük sıcaklıklarda dekompozisyonu ile oluşur.

Böhmitik boksitler (monohidratik): Gibsitin dehidratasyonu sırasında bir ara ürün olarak ortaya çıkmışlardır.

Diasporitik boksitler (monohidratik): Yüksek sıcaklıklarda teşekkül ettikleri ileri sürülmektedir [3].

Oluşum tarzlarına göre boksitler

Silikat boksitler: Alüminyumca zengin silikat kayalarının aşınması ve yıkanması sonucu oluşurlar. Bunun için yağışlı ve ılık, tropikal iklimler, geçirgenliği ve tektonik stabilitesi olan kayalar en uygun ortamlardır. Diğer elemanların yüzey akıntılarıyla yıkanması alüminyumca zenginleşmeyi sağlar.

Karstik boksitler: Kireçtaşı ve dolomitlerin karstik boşluklarında oluşurlar. Alüminyumca başka ortamlarda çözmüş olan asidik karakterli yüzey suları, kireçtaşları içinde nötürleşerek alüminyumca zenginleşmesine neden olurlar [3].

Endüstriyel olarak sınıflandırmalar

Bu sınıflandırma, kullanım amaçlarına göre dört şekilde yapılmaktadır.

Al₂O₃/SiO₂ oranı ve Fe₂O₃ tenörüne göre sınıflandırma:

- Al₂O₃/SiO₂ > 20 Yüksek alüminalı cevher
- Al₂O₃/SiO₂ = 10–20 Alüminalı cevher
- Al₂O₃/SiO₂ = 4–10 Silisli cevher
- Al₂O₃/SiO₂ < 4 Yüksek silisli cevher

- % $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 25$ Yüksek demirli cevher
- % $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10-25$ Demirli cevher
- % $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 10$ Az demirli cevher

Al₂O₃/SiO₂ (Modül) oranına göre sınıflandırma: Bu tip sınıflandırma çizelge 2.1.'de gösterilmiştir.

BEV değerlerine göre sınıflandırma: Özellikle Macaristan'da geliştirilmiş olan sınıflandırmaya göre Al₂O₃ ile SiO₂ yüzdesi farkı kullanılmakta olup, ortaya çıkan gruplar Çizelge 2.2.'de gösterilmektedir.

Kullanım alanlarına göre sınıflandırma: Bu tip sınıflandırmanın temel prensipleri Çizelge 2.3.'de verilmiştir [3].

Çizelge 2.1. Modül değerlerine göre boksit sınıfları [3]

Karakteristik Bileşenler (%)	Endüstriyel Boksit			Alüminyum Hammadde Boksit			Alüminyumlu Kıl
Al ₂ O ₃ En çok	-	-	-	-	-	-	26
En az	46	46	40	40	35	26	-
SiO ₂ En çok	1,6	6,5	10	15,4	30,7	30,6	30,6
Fe ₂ O ₃ En çok	26	26	26	26	-	-	-
TiO ₂ En çok	5	5	5	5	-	-	-
MODÜL (Al ₂ O ₃ /SiO ₂)	10	7	4	2,6	1,14	0,85	-
CaO En çok	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-	-
MgO En çok	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-
P ₂ O ₅ En çok	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-
SO ₃ En çok	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	-
C En çok	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-
S En çok	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	-

Çizelge 2.2. BEV değerlerine göre boksit sınıfları [3]

Karakteristik Bileşenler (%)	Endüst. Boksit Sınıfı	Alüminyumlu Hammadde	Alüminyumlu Kil
Al ₂ O ₃ En çok	-	-	-
En az	40	26	20–25
SiO ₂ En çok	15	30,6	-
Fe ₂ O ₃ En çok	26	-	-
TiO ₂ En az	-	-	-
BEV (Al ₂ O ₃ -SiO ₂)	30–10	10	-
CaO En çok	0,8	0,8	-
MgO En çok	0,5	0,5	-
P ₂ O ₅ En çok	0,8	0,8	-
S En çok	0,6	0,6	-
SO ₃ En çok	0,15	0,15	-
C En çok	0,1	0,1	-

Çizelge 2.3. Kullanım alanlarına göre spesifikasyonlar [3]

İçerik	Metalurjik	Kimyasal	Çimento	Refrakter	Aşındırıcı
Al ₂ O ₃	50–55	Min.55	45–55	84,5	80–88
SiO ₂	0,15	5–18	Max. 6	7,5	4–8
Fe ₂ O ₃	5–30	Max. 2	20–30	2,5	2–5
TiO ₂	0–6	3	3	4	2–5

2.1.2. Başlıca boksit çeşitleri ve özellikleri

Gibbsit

Hidrargilit diye de isimlendirilen Gibbsit, yer kabuğunda tabii olarak teşekkül eden alüminyum trihidrattan oluşmaktadır. Diğer alüminyum hidrat tiplerinden ayırmak için gama-alüminyum trihidrat olarak sınıflandırılır ve saf mineral olarak gibbsit %65,35 alümina ihtiva eder.

Gibbsitin püskürük kayalarındaki feldispat ve korundumun düşük sıcaklıklarda hidrotermal dekompozisyonu sonucu oluştuğu sanılmaktadır.

Kristal yapısı: Genellikle bir merkezden çıkan ışınlar halinde küreler teşekkül eder veya düzgün yüzeyli lifler halindedir. Toprak görünüşlü kitleler halinde veya hexagonal görünüşlü fakat tübüler karakteristikli monoklinik kristaller halinde de olabilmektedir.

Minerallerin kristalleri tam bir bazal kırılma yüzeyine ve cam inci parlaklığına sahiptir [2].

Kimyasal formülü: $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$

Renk: Şeffaf veya yarı şeffaf olarak açık griden kırmızımsı sarıya kadar değişebilir.

Sertlik: 2,5 – 3,5 mohs sertliği

Özgül ağırlık: 2,3 – 2,4 arasında

Çözünmesi: Sıcak sud kostik çözeltisinde böhmit ve diaspordan çok daha kolay çözünebilir ve soğutma ile tekrar kristallendirilebilir.

Optik özellikleri: İki eksenli ve optik aktifliği vardır.

Reaktif indisi: 1,565 – 1,595

Böhmit

Akdeniz çevrelerinde en yaygın bulunan boksit cinsidir. Gibbsitin dehidratasyonu sırasında bir ara ürünü olarak meydana gelmektedir. Boksitlerin böhmit ihtiva edip etmediği X-ışınları ile yapılan deneylerle veya diferansiyel termal analizlerle

anlaşılabılır. Böhmit, termal analiz sırasında 450 – 600 °C civarında endotermik bir reaksiyon vermesi ile tesbit edilebilir [2].

Kristal yapısı: Mikroskobik, dış bükey ortorombik kristaller

Kimyasal formülü: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ veya $\text{AlO}(\text{OH})$

Renk: Kahverengimsi kırmızıdan grimsi kahverengiye kadar

Sertlik: 3,5 – 6,5 mohs sertliği

Özgül ağırlık: 3,01 – 3,06 arasında

Reaktif indisi: 1,645 – 1,72

Diyaspor

Diyaspor yataklarının, paleozik çağlarda yüksek basınç ve sıcaklıkta teşekkül ettiği sanılmaktadır. Laboratuarlarda yapılan deneyler, diyaspor teşekkülünün 140 atmosfer basınç altında ve 275 °C ‘den daha yüksek sıcaklıklarda olabileceği fikrini kuvvetlendirmektedir. X-ışınları veya diferansiyel termal analizlerle teşhis edilebilir [2].

Kristal yapısı: Prizmatik veya inci levha halinde ortorombik kristaller

Kimyasal formülü: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ veya $\text{AlO}(\text{OH})$

Renk: Beyazdan gri veya kahverengiye kadar

Sertlik: 6,5 – 7 mohs sertliği

Özgül ağırlık: 3,3 – 3,5 arasında

Reaktif indisi: 1,702 – 1,750

Boksit çeşitleri ve özellikleri Çizelge 2.4.'de verilmektedir.

Çizelge2.4. Boksit çeşitleri ve özellikleri

	Kimyasal Formülü	Kristal Yapısı	Özgöl Ağırlığı	Sertliği (mohs)
Gibbsit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Monoklinik	2,3 – 2,4	2,5–3,5
Böhmit	$\text{AlO}(\text{OH})$	Ortorombik	3,01 – 3,06	3,5–6,5
Diyasporit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Ortorombik	3,3 – 3,5	6,5–7

2.1.3. Boksitte bulunan başlıca safsızlıklar ve etkileri

Boksitler çeşitli minerallerle karışık olarak bulunurlar. Boksitlerde en çok rastlanan mineraller aşağıda verilmiştir [2].

Silisyum

Boksit içindeki, işletme güçlükleri ve hammadde kayıpları bakımından, en önemli safsızlık silis bileşikleridir. Aktifliğine göre başlıca iki kısma ayrılabilir.

Serbest SiO_2 olarak çeşitli mineraller halinde; Bayer metodunda normal şartlar altında hiçbir değişikliğe uğramadan kırmızı çamurla beraber atılır. Yalnız boksit nakliyesinde ve işlem sırasında fazladan taşınmış olur. Başlıca serbest SiO_2 mineralleri; kuvars ve kalsedon mineralleridir.

Aktif SiO_2 olarak çeşitli mineraller halinde; Boksit içindeki aktif SiO_2 genellikle alüminyum oksit ve diğer maddelerle beraber hidratlar halindedir. Böhmit otoklavlarda çok yüksek basınç ve sıcaklığa tabi tutulursa bütün SiO_2 aktif hale geçer. Başlıca aktif SiO_2 mineralleri şunlardır; killi mineraller; kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), halyosit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Aktif SiO_2 soda ve alümina ile

birleşerek sodyum-alüminyum silikat kompleksleri ($2\text{Na}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$) halinde çökerek bu maddelerin kırmızı çamurla beraber atılmasına sebep olur. Kayıplar ortalama olarak şu şekildedir.

Alümina kaybı: 1,0 x (aktif SiO_2)

Sudkostik kaybı: 0,9 x (aktif SiO_2)

Demir

Demir normal şartlarda kırmızı çamur miktarını ve dolayısıyla yıkama işlemlerinde kullanılan su ve iş gücünü arttırmaktan başka bir güçlük çıkarmaz. %25–30 Fe_2O_3 ihtiva eden boksitler bayer metodu ile rahatlıkla işlenebilmektedir. Boksit içinde başlıca şu şekillerde bulunabilir;

- Hidroksitler halinde; goethite (FeO.OH) ve limonit ($\text{FeO.OH.2H}_2\text{O}$)
- Oksitler halinde; hematit (Fe_2O_3)
- İki değerli demir bileşikler halinde; siderit (FeCO_3)
- Kompleks mineraller halinde; ilmenit (FeO.TiO_2) ve nontronit ($\text{Fe}_2\text{O}_3.3\text{SiO}_2.5\text{H}_2\text{O}$)
- Nadiren sülfidler halinde bulunur.

İki değerli demir bileşikler miktarı çok yüksek olursa, bunlar kolloidal demir hidroksit teşekkülüne sebep olabilir ve kolloid normal metotlarla süzülemediği için sodyum alüminatın bozulması ile meydana gelen trihidrat alümina kristallerinin üstünü kaplayarak zehirlenmesine sebep olur ki neticede ancak mikrokristaller elde edilebilir.

Demir bileşiklerini ortamdan uzaklaştırmak için çökeltme ve durultma havuzları kullanılır.

Titanyum

Titanyum bileşikleri yüksek kostik konsantrasyonlarına kadar (400 g / L kostik) çözünmediği için demir bileşikleriyle beraber kırmızı çamur içinde atılır.

Genellikle boksit içinde bulunduğu şekiller şunlardır;

- Rutil (TiO_2)
- Anatas ve Brookit (TiO_2)
- İlmenit ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)
- İlmeno-rutil ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$)
- Titano-magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{TiO}_2$)
- Sphene ve leucozene ($\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$)
- Perovskit ($\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$)

Kalsiyum

Kalsiyum boksitlerde % 1–2 kadar ve genellikle dolomit ve apatit ($\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) halinde bulunur.

Kükürt

Genellikle boksitler kükürt ihtiva etmezler. Nadiren de olsa kükürt cevher içinde pirit veya markasit (FeS_2), veya alünit ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$) halinde bulunabilir. Kükürdün bir kısmı alüminat çözeltisine kadar geçebilir ve noselit ($5\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{SO}_3$) halinde soda ve alümina kaybına sebep olur. Kurutma sırasında da kükürt kullanılan yakıttan da karışabilir.

2.2. Alüminyum

Alüminyum, doğada bileşik halde (oksit halinde) bulunur ve yerkabuğunun yaklaşık %8'ini oluşturur. Bu durumda yeryüzünde metaller içinde birinci sırayı, elementler içinde ise üçüncü sırayı teşkil eder. Alüminyum yer kabuğunda oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan elementtir. Oksijenle bileşik yapma isteği çok fazla olduğu için alüminyum tabiatta daima oksitler halinde bulunur, elementel halde bulunmaz [2].

- Atom numarası :13
- Atom ağırlığı :27
- Erime noktası :660,3 °C
- Kaynama noktası :2300 °C
- Özgül ağırlığı :2,7 g/cm³ (20 °C)

Alüminyum, oksitli bileşikler halinde birçok mineral yapısı içinde, kil ve boksitte bulunur. Özellikle alümina elde etmek için kullanılan minerallere boksit ismi verilir. Tabiatta 250 cins alüminyum minerali mevcuttur. Bunların % 40'ını alüminyum silikatlar oluşturmaktadır. Yer kabuğunda saf alüminyum oksit (alümina) içeren mineral korunddur ve alüminyum içeren mineraller içinde alüminyum içeriği en yüksek olan mineraldir [2].

Alüminyum silikatların bir kısmının isim ve formülleri aşağıdaki gibidir.

- Ortoklaz : $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
- Nefelin : $(Na, K)O_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
- Kianit : $Al_2O_3 \cdot SiO_2$
- Lössit : $(CaAl_2SiO_8 + NaAlSi_3O_8)$
- Labradoit : Al_2SiO_5
- Kriyolit : Na_3AlF_6
- Alünit : $K(Al)_3 \cdot (SO_4)_2 \cdot 3H_2O$

Yer kabuğunun mineral yapısı içinde oldukça fazla bulunmasına rağmen varlığı 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından tespit edilen Alüminyum metalinin ticari anlamda üretim teknolojisi ancak 1886 yılında Paul Louis Toussaint Hérault (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) birbirlerinden habersiz şekilde ayrı ayrı çalışarak geliştirilmiştir. Günümüzde Hall-Hérault yöntemi olarak halen kullanılan bu yöntemde bu iki bilim adamı, alüminyum oksitin ergimiş kriyolit içinde çözündürülerek üzerinden güçlü bir elektrik akım geçirildiğinde, alüminyumun elektrolitin altında sıvı halde biriktiğini fark etmişlerdir. Bu yöntemin keşfinden sadece iki yıl sonra, 1888'de İsviçre'nin Neuhausen kentinde Schweizerische Metallurgische Gesellschaft tarafından Hérault patentiyle ve yine aynı yıl A.B.D.'deki Pittsburgh kentinde Pittsburgh Reduction Company tarafından Hall patentiyle ilk alüminyum elektrolizhaneleri kurulmuştur [4].

Tenörü ve mineralojik yapısına bağlı olarak, ortalama %56 Al_2O_3 tenörlü cevher işleyen Seydişehir Alüminyum Tesislerinde 2 ton boksit cevherinden yaklaşık 1 ton alümina elde edilmektedir. Alümina üretiminden sonraki aşama, alüminanın ergimiş kriyolit banyosunda elektrolizi ile metalik alüminyuma dönüştürülmesidir. Birincil alüminyum, alüminanın elektroliz hücrelerinde yüksek akım (100-400kA) altında ki 960–970 $^{\circ}C$ sıcaklıkta elektrolit adı verilen kriyolit-alüminyum florür ergiyiği içinde çözünmesi, ayrışması ve indirgenmesi sonucu nötürleşen alüminyum metalinin tabanda birikmesi ile elde edilmektedir [4].

Proses sırasında alüminanın parçalanmasıyla açığa çıkan oksijen ise petrol koku ve bağlayıcı olarak taş kömürü zifti'nden oluşan anot karbonu ile birleşerek oluşan CO_2 , CO , C_nH_n ve elektrolitteki reaksiyonlar sonucu gaz fazına geçen flor bileşikleri ile birlikte gaz temizleme sistemine gitmektedir. Tabanda biriken sıvı alüminyum belirli periyotlarla kapalı vakum potalarıyla çekilip alaşımlandırma ve kalıplara dökülmek üzere dökümhane birimine gönderilmektedir. Genel olarak, 2 ton alüminadan da 1 ton alüminyum elde edilmektedir [4].

2.2.1. Alüminyumun genel özellikleri

Alüminyumun diğer metallere göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli ana özellikler;

1. Hafifliği,
2. Hafifliğine Karşın Alaşımlandırıldığında Yeterli Mukavemeti,
3. Geri Dönüşümlü Olarak Defalarca Kullanılabilirliği,
4. Yüksek Korozyon Direnci,
5. Çekilebilirliği,
6. Şekillendirilebilirliği,
7. Dövülebilirliği,
8. İşlenebilirliği,
9. Yüksek Isı ve Elektriksel İletkenliği,
10. Işık ve Isı Yansıtıcılığı' dır [4].

Hafiflik: Demirin özgül ağırlığı $7,87 \text{ g/cm}^3$ bakırın özgül ağırlığı $8,93 \text{ g/cm}^3$ ve çinkonun özgül ağırlığı $7,14 \text{ g/cm}^3$ iken alüminyumun özgül ağırlığı $2,69 \text{ g/cm}^3$ 'dür.

Mekanik dayanım: Alaşımlandırılarak değişik mekanik dayanım değerlerine ulaşmak olanaklıdır.

Dayanım / ağırlık oranı: Yüksek mekanik dayanımına karşın hafif olması, başta uzay ve uçak endüstrisi olmak üzere birçok endüstri kolunda tercih edilmesine neden olur.

Korozyon dayanımı: Yüzeyinde oluşan oksit filmi nedeni ile korozyon dayanımı yüksektir.

Isıl İletkenlik: Maliyet ve ağırlık değerleri ile birlikte ele alındığında diğer metallerden daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahiptir.

Yansıtıcılık: Işık, radyo dalgaları ve kızılötesi ışıma karşın koruyucu olarak kullanılabilir.

Elektriksel İletkenlik: Elektriksel iletkenlik değeri aynı miktardaki bakırın %63'ü kadardır.

Kıvılcımsızlık: Kıvılcım oluşturmadığı için yakıcı atmosfer ve patlayıcı maddelerle güvenli kullanılabılır.

Estetik Görünüm: Doğal rengi ve parlaklığının yanı sıra çeşitli yüzey işlemleri uygulanarak değişik renk ve görünümde malzemeler elde edilebilir.

Döküm Kolaylığı: Çeşitli döküm yöntemleri ile karmaşık parçalar bile kolaylıkla dökülebilir.

Antitoksit Oluşu: Gıda sektöründen ilaç sektörüne kadar birçok sektörde ambalaj malzemesi olarak kullanılabilir.

Maliyet: Birincil üretimdeki yüksek enerji girdisinden ötürü pahalı bir metaldir.

Yeniden Değerlendirilebilirlik (recyclable) : Ekonomik ömrünü doldurmuş ve proses sürecinde hurdaya çıkmış alüminyum metal malzemeler geri dönüşümlü olarak başlangıçtaki metalürjik özelliklerini büyük ölçüde yitirmeden, birincil üretimin %5'i kadar bir maliyetle yeniden kullanılabilir.

2.2.2. Alüminyumun kullanım alanları

Ulaştırma Sektöründe Kullanımı: Demir-Çelik, bakır ve pirinç malzemelere göre üç kez daha hafif olmasına rağmen amaca hizmet edecek düzeyde yüksek dayanıma sahip olması, alüminyumun ulaştırma sektöründe kullanım miktarını hızla yükseltmektedir. Avrupa'da tüketilen alüminyumun yaklaşık üçte biri ulaşım sektörü tarafından kullanılmaktadır. Otomobillerde, uçaklarda, raylı ulaşım sisteminde yük

taşıma ve yolcu kompartımanlarının yapımında, gemi sanayinde gittikçe artan oranlarda alüminyum kullanılmaktadır.

Ambalaj Malzemesi Olarak Kullanımı: Son yıllarda alüminyumun en hızlı gelişen kullanım alanlarından birisi de ambalaj sektörüdür. Daha fazla miktardaki diğer ikame ambalaj malzemeleri ile sağlanan korumayı, alüminyum birkaç mm kalınlıkla çok daha etkin bir şekilde sağlayabilmektedir. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo (alüminyum kağıt) şekline getirilebilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum ambalajın su, gaz, buhar, ışık ve mikroorganizma geçişini engellemesi, sıcak ve soğuğa dayanıklılığı, hava değişimlerinden ve çevreden etkilenmemesi özellikle bu niteliklerin arandığı gıda ve ilaç sektöründe ihtiyacı karşıladığı gibi, mor ötesi ve kızılötesi ışınlarla karşı da koruyucu olması yeni geliştirilen ürünlere de hitap edebilmesine olanak sağlamaktadır. Folyo olarak vakumlu ambalajlarda, metalize film (alüminyum kaplı plastik) olarak da ısı ile kapanan ambalajlarda (yoğurt, ilaçlar vb.) en fazla tercih edilen malzemedir.

İçecek Kutularında Kullanımı: Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutuların % 80'i alüminyumdur. Bunun nedenleri hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, geri kazanılabilir oluşu ve çabuk soğutma özellikleridir. Toplumun çevre bilincinin artması ve alüminyum üreticilerinin desteğiyle alüminyum içecek kutularını toplama ve geri kazanım programları hızla gelişmiştir. Bu durum özellikle alüminyumun yüksek pazar payının böyle projeleri gerekli kılan yatırımları teşvik ettiği ülkeler için daha fazla geçerlidir.

Elektrik/Elektronik Sektöründe Kullanımı: Alüminyum son derece iletken bir metaldir. Alüminyum kullanımının Avrupa'da %10'u, ABD'de %9'u, Japonya'da %7'si elektrik ve elektronik sektörüne aittir. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilen tek malzeme olmuştur. Alüminyum, yeraltı kablolarında, elektrik borularında ve motor bobin sarımında da yaygın şekilde

kullanılmaktadır. Şaseler, yongalar, transistör soğutucuları, veri kayıt diskleri ve cihaz kasaları alüminyumun elektronikteki ana kullanım alanlarıdır.

İnşaatlarda Kullanımı: Hafifliği, yüksek korozyon direnci, uzun ömürlülüğü, düşük bakım maliyetleri, geri kazanma imkanı ve metalin çok yönlülüğü ve sonsuz değişik şekilde profil elde edebilme olanağı nedenleri ile binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskelelerinde, sera yapımında da yoğun şekilde kullanılan alüminyum, sağlamlığı yanında eloksallı kaplama sayesinde dekoratif görünümü sayesinde inşaat sektörüne de birçok seçenekler sunmaktadır. Son yıllarda yapılarıdaki alüminyum, dünya çapında gelişme göstermiş ve çok büyük bir pazar payı elde etmiştir.

Diğer Kullanım Alanları: Alüminyum, diğer sektörlerle kıyaslandığında daha küçük oranlarda olmak üzere, buzdolabı, dondurucu, havalandırma, spor ekipmanları ve mutfak aletleri yapımında da kullanılmaktadır.

3. ALÜMİNA

Alüminyum üretiminin en önemli hammaddesi olan Boksit minerali %30–60 oranında alüminyum oksit içerir. Alüminyum içeren mineraller her ülkede çok fazla miktarlarda bulunmasına rağmen günümüze kadar bilinen prosesler ile bu bileşiklerin birçoğundan metalik alüminyum elde edilmesi ekonomik olmamaktadır. 1887 yılında K. J. Bayer alüminat çözeltisinin dekompozisyonu ve 1892'de ise boksitin sodyum hidroksit çözeltisi ilavesi ile yüksek basınç ve sıcaklık altında çözünürleştirilmesinin ilk patentini almıştır. Bu patent bugün pek az değişimlerle uygulanan Bayer metodunun temel prensiplerini içerir.

Bayer prosesi ile gerçekleştirilen alümina üretiminde boksit cevheri uygun boyuta kırıldıktan sonra sudkostikli sulu ortamda değirmenlerde öğütülerek ham pulp (sıvı katı karışımı) haline getirilir. Bu pulp yüksek ısı ve basınçta sudkostik (NaOH) çözeltisi ile reaksiyona sokulmak suretiyle, kimyasal yolla cevherdeki alüminyum hidroksit (Al_2O_3) çözünerek sodyum alüminat (NaAlO_2) çözeltisi halinde sıvı faza geçer ve demir, silis, titanyum vb. gibi katı safsızlıkları içeren yeni bir pulpu oluşturur. Pulptaki çözünmemiş bileşikler çöktürme tankının dibine çöktürülerek biriktirilen katı atıklar (kırmızı çamur) sodyum alüminat çözeltisinden yıkanıp uzaklaştırılır. Yıkanmış çamur, bu iş için inşa edilen çamur barajına sevk edilip depolanmakta ve ihtiva ettiği sudkostığın çevreyi kirletmesi önlenmektedir.

Başka bir tanka gönderilen istenilen temizlikteki sodyum alüminat çözeltisi aşılansarak alüminyum hidroksit (Hidrat) $\text{Al}(\text{OH})_3$ kristali halinde çöktürülür. Elde edilen hidrat, fırınlarda 1100–1200 °C sıcaklıkta kimyasal bağlı suyu uçurmak amacıyla kalsine edilerek alümina elde edilmektedir. Ek 1 de bayer prosesinin basitleştirilmiş akım şeması verilmektedir.[5]

3.1. Alümina Üretimi

Seydişehir alümina fabrikası 6 ana bölümden meydana gelmiştir. Bunlar;

- Hammadde Hazırlama Bölümü
- Otoklavlar – Kırmızı Çamur Bölümü
- Dekompozisyon – Hidrat Bölümü
- Buharlaştırma Bölümü
- Kalsinasyon Bölümü
- Alüminyum Sülfat Bölümü

3.1.1. Hammadde hazırlama bölümü

Hammadde hazırlama bölümünde, boksit cevheri Bayer prosesinde işlenebilir duruma getirilir. Bu bölümde 4 ünite yer almaktadır [6].

Boksit cevheri stok sahası: Açık maden ocağında üretilen boksit cevheri karayolu ile fabrikaya nakledilerek 750.000 ton kapasitede olan açık stok sahasında kalitelerine bağlı olarak 11 panoda stoklanır.

Panolarda stoklanmış olan cevher Bayer prosesinin gerektirdiği silis modülünü sağlayacak şekilde kamyonlarla kırıcı bunkerine nakledilir. Panolardan alınan cevherlerin harmanlanmasında Silis modülünün 7'nin altına düşmemesine dikkat edilir. Bu, düşük silis modüllü ve yüksek modüllü boksit cevherinin belirli miktarlarda karıştırılmasıyla mümkündür.

$$\text{Silis modülü} = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{SiO}_2} \geq 7$$

Boksitteki SiO_2 içeriği, alümina üretiminde önemli ölçüde Na_2O ve Al_2O_3 kayıplarına sebep olmakla beraber, çözeltideki çözünürlüğü, komplike reaksiyonları nedeni ile alüminayı katışıklandırır, bayer prosesinin bir çok noktasında kabuklar oluşturur.

Boksit cevherinin kırılması ve depolanması: Kırıcı bunkerine alınan boksit, çekiçli kırıcıda 25–40 mm’ nin altına kırılır. Kırıcının saatlik kapasitesi kırma boyutuna bağlı olarak 260 – 500 ton arasında değişmektedir.

Kırılan boksit her biri 8.000 ton kapasitede olan 2 kapalı depoya alınır. Depoya gönderilme sırasında alınan numunelerle depolanan boksitin tam analizi yapılır. Boksit depolardan taşıyıcı bantlarla yaş öğütme yapan bilyalı değirmen bunkerlerine sevk edilir. Bunkerler 3 adet olup her birinin kapasitesi 1.000 tondur.

Çözelti hazırlama: Boksit bünyesinde bulunan çeşitli mineraller, özellikle SiO_2 içeren mineraller kostik kayıplarına sebep olur. Bu kayıpların karşılanması için prosese sürekli olarak taze sıvı kostik ilave edilmektedir.

Çözeltideki Na_2O konsantrasyonu 450 – 550 g / L olacak şekilde ayarlanmaktadır. Çözelti daha sonra toplam hacmi 2300 m³ olan 3 adet tankta toplanmakta ve ihtiyaç duyulan miktarlarda sisteme ilave edilmektedir.

Buharlaştırmadan gelen konsantre çözelti de her biri 2300 m³ kapasiteli olan diğer 3 adet tanka alınmakta ve boksit öğütme devresine beslenmektedir.

Yaş Öğütme: Kırılmış boksitin Bayer prosesinde gerekli olan tane ebadına düşürülmesi için iki kademeli yaş öğütme sistemi seçilmiştir.

Öğütme sonunda istenilen tane ebatları aşağıdaki gibidir;

+ 100 mesh (149 mm) = % 4 max.

—270 mesh (53 mm) = % 75 min.

Öğütme ünitesinde toplam 6 adet bilyalı değirmen mevcuttur. Her iki değirmen seri bağlı çalıştırılmakta, 1. değirmen kaba öğütmede 2. değirmen ince öğütmeyi gerçekleştirmede kullanılmaktadır. Değirmenlerde kullanılan bilyalar manganlı çelikten yapılmıştır. İkili seri bağlı 3 adet değirmen grubunun her birinin öğütme

kapasitesi 25–26 ton/saat civarındadır. Aynı anda iki grubun çalıştırılması ile fabrikanın öğütülmüş cevher ihtiyacı karşılanabilmektedir.

Kırılmış boksit, çözelti ile birlikte her serinin birinci kademesine beslenir. Birinci kademe öğütme ürünü 2 kademeli hidrosiklon grubunda klasifikasyona tabi tutulur. Kalın fraksiyon 2. kademe değirmene, ince fraksiyon ise istenilen öğütme derecesine sahip olduğundan kostikli olan bu pulp otoklav bölümüne gönderilir. Ek 2 de bu bölümün akım şeması yer almaktadır [7].

3.1.2. Otoklavlar - kırmızı çamur bölümü

İkinci bölüm, otoklavlar ve kırmızı çamur bölümünü kapsar. Otoklavlarda kostikli sıvıda öğütülmüş boksit belli bir basınç ve sıcaklık altında kimyasal reaksiyona girerek Al_2O_3 'ü sıvı faza geçmekte ve geriye kırmızı çamur kalmaktadır. Kırmızı çamur ünitesinde; çözünmeyen komponentleri çöktürülmek suretiyle temiz sodyum alüminat çözeltisi elde edilmekte ve 6 kademe yıkamadan sonra atık olarak kalan kırmızı çamur boru hatları ile çamur atık barajına sevk edilmektedir.

Otoklavlar kısmı; ham pulp karıştırıcıları, pistonlu pompalar, ısıtıcılar, otoklavlar, separatörler, seyreltme karıştırıcıları ile ilgili tank ve boru bağlantılarını kapsar [6].

Ham Pulp Karıştırıcıları (4 adet) : Boksit içindeki aktif SiO_2 ' nin sıvı fazdan katı faza geçişini sağlayarak ısıtıcılarda kabuk teşekkülünü azaltır.

Pistonlu Pompalar: Ham pulpu 30 Atü basınç altında çalışan otoklav bataryalarına basarlar.

Isıtıcılar: Ham pulpun indirekt olarak ısıtılmasında kullanılan 4 ön ısıtma bataryası vardır. 1. grup ısıtıcılar ham pulpu $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye ısıtır, 2. grup ısıtıcılar $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' ye ısıtırlar.

Otoklavlar: 4 otoklav bataryası vardır. % 100 kapasitede 3 batarya çalışır, 1 batarya yedektir. Bir otoklav bataryasında ikisi ısıtma sekizi reaksiyon otoklavı olmak üzere 10 adet otoklav bulunur. 2. grup ısıtıcılardan 160 °C’de gelen pulp, ısıtma otoklavlarında kazan dairesinden gelen buharla reaksiyon sıcaklığı olan 240 °C’ ye ısıtılır. Reaksiyon zamanı 2 saattir.

Seperatörler: Kimyasal reaksiyonunu tamamlamış pulp, yaklaşık 238 °C ve 27,5 Atü basınçtan, 4 kademe seperatörden geçirilerek atmosferik şartlara indirgenir. 1. ve 3. kademe seperatörlerden çıkan buhar ısıtıcılarda, 2. kademedan çıkan buhar buharlaştırma bölümünde ve 4. kademedan çıkan buhar ise sıcak su üretiminde kullanılır.

Seyreltme: Katının sıvı fazdan ayrılması ve alüminat çözeltisinin sonraki kimyasal reaksiyonlara uygun hale getirilmesi için otoklav pulpunun seyreltilmesi gerekmektedir. Seyreltik pulp, 140 g/L Na_2O_K ihtiva eder. Seyreltme için gerekli su kırmızı çamurun yıkanmasından sağlanan yaklaşık 40 g / L Na_2O_K ihtiva eden su ile yapılır. Seyreltik pulpa, içerisindeki katı miktarının %0,02 oranında un katılarak çok ince partiküllerin flokülasyon yapması ile çökelmeleri hızlandırılır. Un ilave edilmiş seyreltik pulp 105 °C sıcaklıkta çöktürücülere sevk edilir. Çöktürücülerde alt kısım sıvı-katı oranı 3 olacak şekilde alınır. Her 1 kg kuru çamurla beraber 3 kg sıvı gitmektedir.

Seyreltme konsantrasyonu 140 g/L Na_2O olduğunda 1 kg çamurla 333 g Na_2O gidiyor demektir. Bu miktar Na_2O ve buna yakın Al_2O_3 ’ün tekrar geri kazanılması için çamurun yıkanması gerekmektedir.

Çamurun yıkanma işlemi: Çamur ve yıkama suyunun hareketinin zıt yönlü olması ile işlem ters akımlı dekantasyon adını alır. Seri olarak bağlı 6 yıkayıcı vardır. Yıkama sisteminde alt akımların sıvı-katı oranı 2,5’ dir. 1 ton kuru çamur için yaklaşık 9 m³ sıcak yıkama suyu gerekmektedir. Yıkayıcılarda kostik konsantrasyonu 1. yıkayıcıdan 6.’ ya doğru azalmakta olup, son yıkayıcıda 1,5 – 2,0 g / L Na_2O ’ ya

kadar düşürülmektedir. Böylece 1 kg kuru çamur ile baraja atılan kostik miktarı maksimum 5 g/L olur. Ek 3 de bu bölümün akım şeması yer almaktadır [7].

3.1.3. Dekompozisyon – Hidrat bölümü

Bu bölümde, otoklavlar ve kırmızı çamur bölümünde elde edilen sodyum alüminat çözeltisi ($\text{NaAl}(\text{OH})_4$) hidroliz edilerek, alüminyum hidroksit (hidrat) $\text{Al}(\text{OH})_3$ elde edilir. Üretilen hidratın kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Üretilen alüminyum hidroksitin (yaş) kimyasal ve fiziksel özellikleri

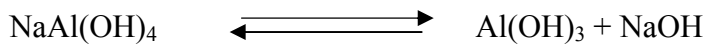
Nem	% 10–12
Ateş zaiyatı	% 34,4- 34,6
Al_2O_3	% 64–65
Na_2O	% 0,3
Fe_2O_3	% 0,0015 max.
SiO_2	% 0,0015 max.
Yığılma yoğunluğu	% 1,15 g / cm^3
Tane iriliği	0–10 mm % 0,5 10–20 mm % 3–5 20–40 mm % 15–25 > 40 mm % 70–80

Dekompozisyon ve hidrat bölümü; plakalı ve borulu ısı değiştiriciler, vakumlu soğutucular, vakum filtreleri, dekompozörler, seperatörler, tikinerler ve ilgili tank ve boru bağlantılarını kapsar [6].

Vakumlu soğutucular (3 adet): Otoklavlar bölümden yaklaşık 100 °C’ de gelen alüminat çözeltisinin sıcaklığının yaklaşık 65 °C’ ye düşürülmesini sağlar. Bu soğutma işlemi sırasında elde edilen buhar ise borulu ısı değiştiricilerde zayıf çözeltinin ısıtılmasında kullanılır.

Borulu ısı değiştiricileri-Eřanjörler (2 adet): Zayıf çözeltinin sıcaklığını vakumlu soğutuculardan alınan sekonder buharla 70 °C' a yükseltirler. Yukarıdaki ekipmanlarda sıcaklığı düşürülen alüminat çözeltisi, aşılama filtrelerinden elde edilen aşılama hidratı ile karıştırılarak, hidroliz reaksiyonu için dekompozörlere gönderilir.

Dekompozörler: Hidroliz reaksiyonunun oluştuğu, her biri 1800 m³ hacminde ekipmanlardır. Toplam 20 adettir. % 100 kapasitede 17 adet dekompozör çalışır.



Hidroliz reaksiyonu görüldüğü gibi çift yönlüdür. Reaksiyonun istenen yönde oluşması, hidroliz reaksiyonuna etki eden faktörleri kontrol ederek olur. Bunlar;

Sıcaklık: Hidroliz prosesinin hızı ve oluşan kristallerin tane büyüklüğüne etki eder. İlk dekompozöre 55 – 57 °C arasında giren çözelti son dekompozörden 45 – 47 °C' de çıkar.

Kostik modülü: Düşük kostik modülünde oluşan hidrat artar. Başlangıçta 1,65 olan kostik modülü reaksiyon sonunda 3,45' e yükselir.

$$\text{Kostik Modülü} = 1,645 \times \frac{\text{Na}_2\text{O}_k}{\text{Al}_2\text{O}_3}$$

Çözelti konsantrasyonu: Al₂O₃ ve Na₂O konsantrasyonları önemlidir. Özellikle Na₂O konsantrasyonunun maksimum 155 g / L değerinde tutulması sağlanır.

Aşılama oranı: Hidroliz süresini başlatmak ve hızlandırmak için, alüminat çözeltisine aşılama hidratı verilir.

$$\text{Aşılama oranı} = \frac{\text{Al(OH)}_3 \text{ aşılama hidrat}}{\text{Al(OH)}_3 \text{ alüminat çözeltisi}} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ aşılama hidrat}}{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ alüminat çözeltisi}}$$

Bu oran 2,5 değerinde tutulmaya çalışılır.

Alüminat çözeltisinin içerisine daha önce kristalleşmiş alüminyum hidroksit (hidrat) eklenir. Aşılama hidratı olarak üretilen hidratın ince tane boyutu kullanılmaktadır.

Zaman: Hidroliz reaksiyonlarında zaman sınırlandırılmaz. Önemli olan verimin optimum olduğu zamanı bulmaktır. Buna da 75 saat içinde ulaşılmaktadır.

Karıştırma: Reaksiyonun oluşması için sürekli olarak karıştırma gerekmektedir. Bu da basınçlı hava ile gerçekleştirilir.

Bu sayılan faktörler ayarlanarak, hidroliz reaksiyonu sonucu oluşan hidratı içeren çözelti için, son dekompozörlerden çöktürme devresine alınır. Çöktürme, hidroseparator ve tikinerlerde olmak üzere iki kademede yapılır.

Hidroseparatorlar (4 adet) : Son dekompozörden alınan hidrat pulpu ilk olarak hidroseparatorlarda çöktürülür. İri taneler stokes kanununa göre kendi ağırlıklarıyla dibe çökerek alttan alınırken, hafif olanlar ise üst akımla tiknerlere gönderilir.

Tikinerler (5 adet) : Hidroseparatorlarda çöktürülemeyen ince ebetli taneler tikinerlerde çöktürülerek alt akım olarak alınır. Üst akım ise zayıf çözelti olarak buharlaştırma bölümüne gönderilir. Hidroseparator ve tikiner alt akımları bir tanka toplanır. Bu çözelti sıvı fazı da içerdiğinden, katı ve sıvı fazın ayrılması gerekmektedir. Bu işlem vakum filtreleri ile yapılır.

Vakum Filtreleri: Tip ve amaç bakımından ikiye ayrılır.

Aşılama Filtreleri (3 adet) : Hidroliz reaksiyonu için alüminat çözeltisine verilen aşılama hidratinın filtre edildiği vakum filtreleridir. 40 m²'lik filtre yüzeyi vardır.

Üretim Filtreleri (5 adet) : 20 m²'lik filtre yüzeyleri vardır. Üç kademe olarak çalışırlar. Son kademedan alınan hidratin içerisinde % 10–12 nem ve max. %0.30 Na₂O olması istendiğinden bu filtrelerde ters akım prensibine göre yıkama yapılır. Böylece elde edilen hidrat kalsinasyon bölümüne gönderilir. Ek 4 de bu bölümün akım şeması yer almaktadır [7].

3.1.4. Buharlaştırma bölümü

Buharlaştırma bölümü, zayıf çözeltinin buharlaştırılması ve soda (Na₂CO₃) ile organik safsızlıkların çöktürülerek prosesten uzaklaştırılması amacıyla Bayer çevriminde yerini alır.

Alüminat çözeltisine su, başlıca seyreltmeden, yıkama sularından ve boksitten girer. Soda ise boksitin ihtiva ettiği CO₂ içerikli bileşenler ve havanın CO₂' i nedeniyle teşekkül eder.

Na₂CO₃ ve organik madde konsantrasyonları yeterince artmadığından bu bölümde yalnız buharlaştırma işlemi yapılmaktadır.

Dekompozisyon bölümünden 145–150 g/L Na₂O içerikli gönderilen çözelti 230 g/L Na₂O konsantrasyonuna erişinceye kadar buharlaştırılır.

Bu işlemi gerçekleştirmek için 4–5 adet buharlaştırma bataryası mevcuttur. Saatte buharlaştırılan su miktarı 125 tondur. Her bataryada 5 adet buharlaştırıcı, 3 adet ön ısıtıcı, 2 adet flaş tankı, barometrik kondansatörler, su kilitleri ve ilgili pompalar vardır.

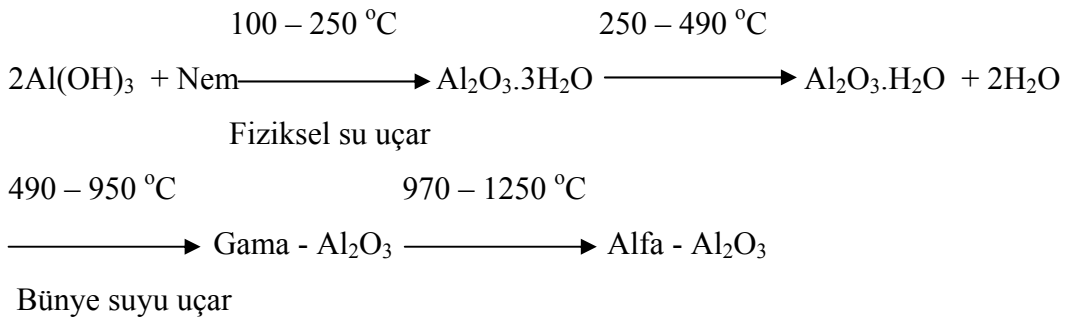
Her bataryanın toplam ısı transfer yüzeyi 5400 m²' dir. Isıtma buharla ve indirekt olarak yapılır, buharlaştırıcılara bir taraftan zayıf çözelti beslenirken diğer taraftan da

ısıtma buharı beslenir. Meydana gelen kondensat kazan dairesine ve kırmızı çamur yıkamaya gönderilir. Ortalama olarak bir ton suyu buharlaştırmak için gerekli buhar miktarı 0,37 tondur. Kullanılan buhar 200°C’ de ve basıncı 7 Atü’dür. Elde edilen konsantre çözelti hammadde hazırlama bölümüne gönderilir [7]. Ek 5 de bu bölümün akım şeması yer almaktadır [8].

3.1.5. Kalsinasyon bölümü

Bayer prosesi sonunda üretilen Al(OH)_3 ’ in (alüminyum hidroksit) döner fırınlarda fiziksel (yüzey suyu) ve kimyasal suyu (bünye suyu) uçurularak Al_2O_3 (alümina) üretilir. Al(OH)_3 ‘ün (Alüminyum hidroksitin) Al_2O_3 (alümina) haline dönüştürme safhaları aşağıda özetlendiği gibidir [7].

Hidrat bölümde üretilen hidrat konveyörlerle hidrat bunkerine taşınır, buradan paletli beleyici vasıtasıyla iki milli karıştırıcıya dökülür. İki milli karıştırıcıda, toz yutma sisteminden gelen sıcak tozlarla, hidrat karıştırılarak, bir besleme borusu yardımıyla fırına beslenir. Döner fırınlar 3,6–4 m iç çapında 75 m uzunluğundadır. Fırın 2 devir/dakika hızında dönmektedir. Fırın içi 250 ve 200 mm yüksekliğinde ateş tuğlaları ile kaplanmış olup, alüminyum hidrat girişinden itibaren 9,5 m’lik bir bölümü ön kurutmayı sağlamak için zincir sistemiyle donatılmıştır. Fırında hidratın uğradığı değişiklikler şu şekildedir.



Fırınlara verilen hidrat % 10–12 arasında neme (fiziksel suya), % 34–35 kimyasal suya (bünye suyuna) sahiptir.

Döner fırınların ısıtılması fuel-oil ile yapılmaktadır. Fırınların kapasitesi 15 ton Al_2O_3 /saattir. 1 ton kalsine alümina için 130 kg fuel-oil tüketilmektedir. Döner fırından 1000°C civarında çıkan alümina; 3 m çapında 34 m uzunluğunda ve % 2,5 eğimi olan soğutucuya dökülür. Soğutucu dış cidarına soğuk su verilerek alümina $80-90^\circ\text{C}$ ' ye kadar soğutulur. Soğutucuda bunker vasıtasıyla pnömatik pompa kamaralarına intikal eden alümina pnömatik pompalarla elektroliz veya ticari alümina silolarına sevk edilir. Üretilen kalsine alüminanın kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Ek 5 de bu bölümün akım şeması yer almaktadır [8].

Çizelge 3.2. Üretilen kalsine alüminanın kimyasal ve fiziksel özellikleri

Ateş ziyatı	% 1 max.
Al_2O_3	%98,5 min.
Na_2O	% 0,5 max
Fe_2O_3	% 0.025 max.
SiO_2	% 0,020 max.
Yığılma yoğunluğu	1,0–1,1 g / cm^3
Mutlak yoğunluk	3,3–3,6 g / cm^3
Alfa Al_2O_3	% 25 min.
Elek analizi	+ 100 mesh : % 3–5 — 100 + 200 mesh : % 25–35 — 200 + 325 mesh : % 30–40 — 325 mesh : %20–30

3.1.6. Alüminyum sülfat bölümü

Alüminyum sülfat bünyesinde 14–18 mol kristal suyu bulundurur. Formülü $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (14-18) \cdot \text{H}_2\text{O}$ şeklindedir.

Hidrat hazırlama tankına yeterli miktarda su ve hidrat alınarak karıştırılır ve hazırlanan hidrat pulpu pompa ile karıştırıcı reaksiyon tankına alınır. Bunun üzerine

yeterli miktarda sülfürik asit yavaş yavaş ilave edilerek reaksiyonun tamamlanması için 2 saat karıştırılarak beklenir. Bu arada sülfürik asitin seyrelme ısı ve reaksiyondan çıkan ısı ile sıcaklık 100–110 °C' ye yükselir. Burada oluşan kimyasal reaksiyon şöyledir [7].

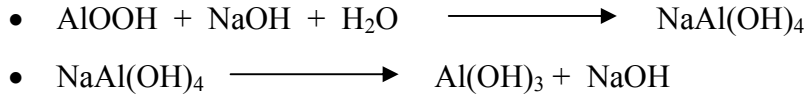


İki saat reaktörde bekletildikten sonra pompa ve buhar ceketli borular yardımıyla karistalizasyon tavalarına alınır.

Kristallendirme tavaları alüminyum olup, sulu soğutma ceketlidir. Tavalarda 5–6 saatlik bir süre içerisinde kristallendirilir. Kristallendirme işlemi tamamlandıktan sonra tavalar hidrolik olarak eğimli beton hücrelere dökülür. Kısmen kırılan malzemeden iri olanlarda bir ön kırılmaya tabi tutularak konveyör bant vasıtasıyla stoklamaya alınır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Böhmitik boksitten Alüminyum Hidroksit (hidrat, $\text{Al}(\text{OH})_3$) üretimi aşağıdaki reaksiyonlara dayanmaktadır.

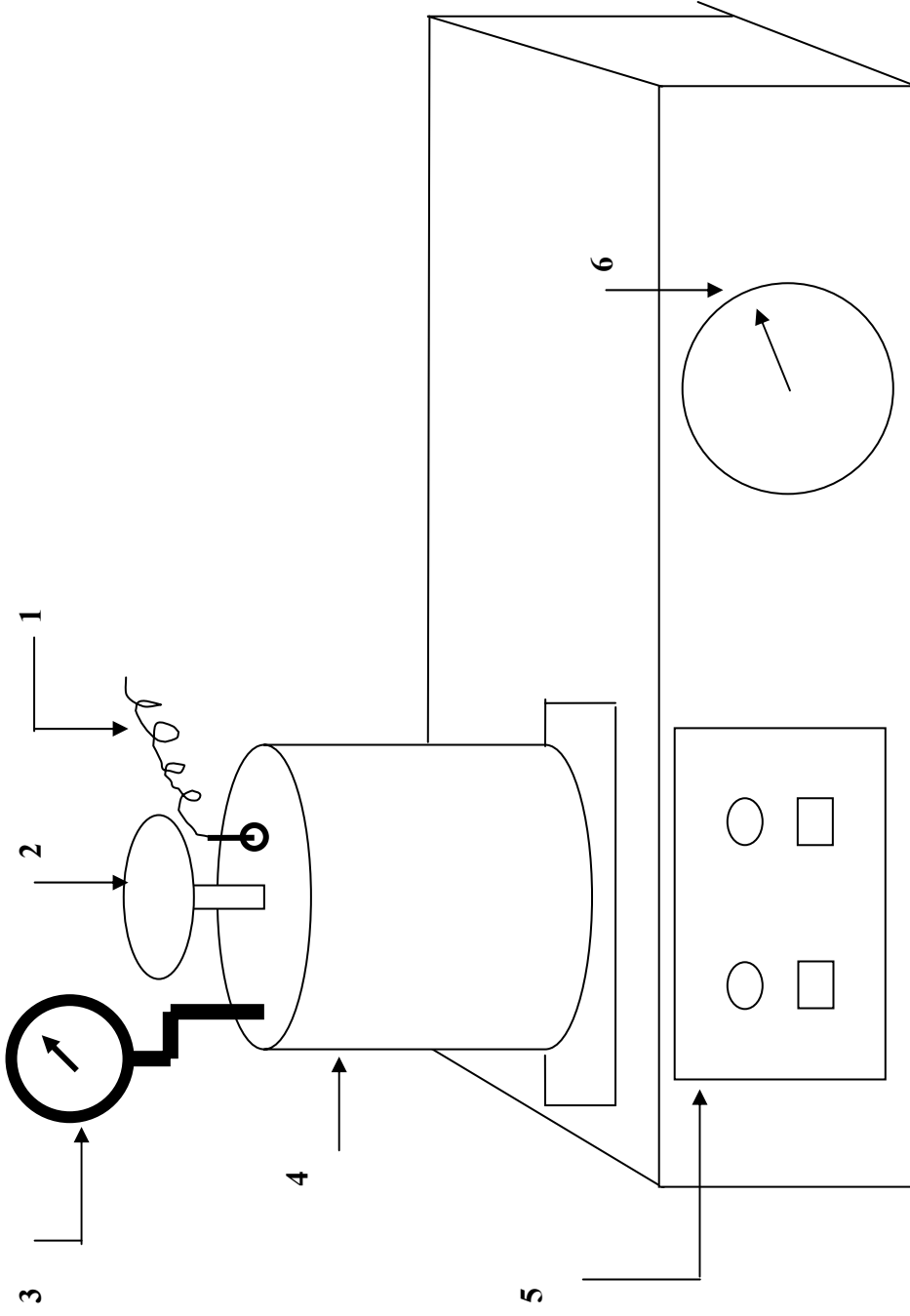


Saf boksit cevheri kırıcıda kırılarak tamamı 2 mm altına geçecek şekilde öğütücüde öğütüldü. Bu öğütülen numune 0,210 mm, 0,149 mm, 0,079 mm, 0,044 mm açıklıklı eleklerden elenip -0,210 +0,149 mm, -0,149 + 0,079 mm, -0,079 + 0,044 mm aralığında kalan elek fraksiyonları elde edildi.

Bu 3 ayrı elek fraksiyonundan eşit ağırlıkta (150'şer g) numuneler alınarak bu numuneler, otoklav modülünün 1,5 olması için gerekli miktarda dönüş çözeltisi ile karıştırıldı ve bu karışımlar (pulp) deney reaktörüne (Otoklav, şekil 1) beslendi. Otoklavdaki sıcaklık 240 °C ve basınç 30 atm' e ulaşıncaya reaksiyon başladı ve süre olarak gerekli olan 2 saat boyunca reaksiyon gerçekleştirildi. Otoklavda ki pulp sabit hızda karıştırıldı. Yapılan bu üç ayrı deneyde, reaksiyon sonunda oluşan çözeltiden numuneler alınarak bu süre sonunda çözeltiye geçerek sodyum alüminata dönüşmüş olan Al_2O_3 miktarları (g/L bazında) titrasyon ile tespit edildi.

4.1. Kullanılan DeneySEL Sistem

Deneylerde kullanılan reaktör 1L hacimli paslanmaz çelikten yüksek basınca dayanıklı otoklav olup, reaksiyon sıcaklığı ve basıncı, 240 °C ve 30 atm' de sabit tutulmuştur. Deney sırasında çözelti sıcaklığındaki değişim $\pm 2^\circ\text{C}$ 'dir. Şekil 1 deney sistemini göstermektedir.



Şekil 4.1. Deney düzeni 1. Termokupl 2.. Karıştırıcı 3. Basınç löçer 4. Otoklav

5. Kontrol panosu 6. Sıcaklık göstergesi

4.2. Na₂O Analizi

Kullanılan Reaktifler

- Sodyum hidroksit (0,5 N)
- Fenolftaleyn indikatörü (%1'lik)
- Hidroklorik asit (0,5 N)

1. 20 mL olarak alınan örnekler saf suyla 200 mL'ye seyreltildikten sonra bunun içinden 20 mL'si alınır ve 3 damla fenolftaleyn (%1) indikatörü ile pembe-açık gül renge getirilir.
2. 0,5 N HCl çözeltisi ile açık pembe renk gidene dek titre edilir ve renk kaybolduktan sonra titre asidinden 10 ml. ilave edilir.
3. 5 dakika süre ile kaynatılır ve sıcak sıcak tekrar renkleninceye kadar 0,5N NaOH (sodyum hidroksit) ile geriye titre edilir.
4. Oluşan renk (pembe-açık gül rengi) kalıcı olunca birkaç damla 0,5N HCl ile renk giderilir ve kaynama noktasına kadar tekrar ısıtılır.
5. 0,5 N NaOH ile renkleninceye kadar titre edilir.
6. Toplam HCl ve NaOH sarfıyatı kayıt edilir [8].
7. Hesaplama

$$\text{Na}_2\text{O}_B \text{ (g/L)} = (V - V_1) \times 15,5 / 2$$

V = Toplam HCl sarf miktarı, ml.

V₁ = Geri titre için NaOH sarf miktarı, ml.

$$\text{Na}_2\text{O}_K \text{ (g/L)} = \text{Na}_2\text{O}_B \times 0,964$$

4.3. Al₂O₃ Analizi

Kullanılan Reaktifler

- Hidroklorik asit (0,5 N)
- Işık süzgeci (95 mL %0,1 metil sarısı ve 100 mL metil mavisi) indikatörü

1. Alınan örnekler 200 ml'ye seyreltildikten sonra 20 ml'si alınır ve 6 damla ışık süzgeci indikatörü ile yeşil renge getirilir.
2. 0,5 N HCl çözeltisi ile yeşil renk eflatun olana dek titre edilir ve renk kalıcı olana dek titrasyona devam edilir.
3. 60–80 °C 'ye kadar kaynatmadan ısıtılan, berraklaşan ve tekrar yeşil olan numune soğutulur. 6 damla ışık süzgeci indikatörü damlatılır ve yeşil renk kalıcı eflatun olana kadar 0,5N HCl ile titre edilir.
4. Toplam HCl sarfıyatı kayıt edilir [8].

5. Hesaplama

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = (V - V1) \times 5,5 / 2$$

V = Işık süzgeci indikatörü ile HCl sarf miktarı, ml.

V1 = F.F. indikatör ile net HCl sarf miktarı, ml. (VHCl - VNaOH)

5. HESAPLAMALAR

Boksit ile birlikte reaksiyona girecek konsantre çözeltinin miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır [9].

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

V = Ton boksit için gerekli konsantre çözelti miktarı, m³

N = Dönüş çözeltisindeki Na₂O_k miktarı, g / L

0,608 = Al₂O₃' ün molekül ağırlığı / Na₂O' nun molekül ağırlığı

α_k = Otoklav modülü

A = Dönüş çözeltisindeki Al₂O₃ miktarı, g / L

W = $((100 - H_2O) / 100) \times ((0,608 \times \alpha_k (Al_2O_3 - 0,85 \times SiO_2) + 0,517 \times SiO_2 + 0,387 (TiO_2 - 2,857 \times CaO) + 1,41 \times CO_2) \times 10$

H₂O = Boksitteki rutubet, %

Al₂O₃ = Ton boksitteki Al₂O₃ miktarı, kg

SiO₂ = Ton boksitteki SiO₂ miktarı, kg

TiO₂ = Ton boksitteki TiO₂ miktarı, kg

CaO = Ton boksitteki CaO miktarı, kg

CO₂ = Ton boksitteki CO₂ miktarı, kg

Yapılan deneylerde otoklav modülü $\alpha_k = 1,5$ olarak alınmıştır.

• —0,210 +0,149 mm fraksiyonu boksitin kimyasal analizi;

Ateş Zayıtı = % 12,2

H₂O = % 0,87

Al₂O₃ = % 56

SiO₂ = % 7,5

Fe₂O₃ = % 15,4

TiO₂ = % 3,08

$$\begin{aligned}\text{CaO} &= \% 1,1 \\ \text{CO}_2 &= \% 1,98\end{aligned}$$

$$W = ((100 - \text{H}_2\text{O}) / 100) \times ((0.608 \times \alpha_k (\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,85 \times \text{SiO}_2) + 0,517 \times \text{SiO}_2 + 0,387 (\text{TiO}_2 - 2,857 \times \text{CaO}) + 1,41 \times \text{CO}_2) \times 10 = 476,3$$

Fabrikadan gelen konsantre çözeltinin özelliklerine göre 150 g boksit ile reaksiyona girecek konsantre çözelti miktarının hesabı aşağıdaki gibidir.

1. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 91,8 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 220,7 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 476,3 / (220,7 - 0,608 \times 1,5 \times 91,8)$$

$$V = 3,477 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 3,477 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 521,6 \text{ mL} \sim 522 \text{ mL}\end{aligned}$$

2. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 89,3 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 228,2 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 476,3 / (228,2 - 0,608 \times 1,5 \times 89,3)$$

$$V = 3,245 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 3,245 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 486,81 \text{ mL} \sim 487 \text{ mL}\end{aligned}$$

3. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 89,3 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 228,2 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 476,3 / (228,2 - 0,608 \times 1,5 \times 89,3)$$

$$V = 3,245 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\text{Konsantre çözelti miktarı} = 150 \text{ g} \times 3,245 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times$$

$$1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 486,81 \text{ mL} \sim 487 \text{ mL}$$

240 °C sıcaklık ve 30 atm basınçta 2 saat boyunca gerçekleşen reaksiyon sonucunda oluşan otoklav pulpu süzülerek alınan, sodyum alüminat olarak adlandırılan, bu sıvı kısımda Al_2O_3 (g/L), Na_2O_k (g/L), Na_2O_b (g/L) değerleri titrasyon ile tespit edildi.

- —0,149 + 0,074 mm fraksiyonu boksitin kimyasal analizi;

$$\text{Ateş Zaiyatı} = \% 12,2$$

$$\text{H}_2\text{O} = \% 0,76$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \% 56,0$$

$$\text{SiO}_2 = \% 7,4$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \% 15,2$$

$$\text{TiO}_2 = \% 2,6$$

$$\text{CaO} = \% 1,8$$

$$\text{CO}_2 = \% 1,51$$

$$W = ((100 - \text{H}_2\text{O}) / 100) \times ((0.608 \times \alpha_k (\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,85 \times \text{SiO}_2) + 0,517 \times \text{SiO}_2 + 0,387 (\text{TiO}_2 - 2,857 \times \text{CaO}) + 1,41 \times \text{CO}_2) \times 10 = 461,3$$

Fabrikadan gelen konsantre çözeltinin özelliklerine göre 150 g boksit ile reaksiyona girecek konsantre çözelti miktarının hesabı

1. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 98,6 \text{ g} / \text{L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 246,8 \text{ g} / \text{L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (246,8 - 0,608 \times 1,5 \times 98,6)$$

$$V = 2,940 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 2,940 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 441 \text{ mL} \end{aligned}$$

2. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 89,3 \text{ g} / \text{L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 226,8 \text{ g} / \text{L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (223,6 - 0,608 \times 1,5 \times 89,3)$$

$$V = 3,173 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 3,173 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 475,9 \text{ mL} \sim 476 \text{ mL} \end{aligned}$$

3. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 89,3 \text{ g} / \text{L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 210,6 \text{ g} / \text{L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (210,6 - 0,608 \times 1,5 \times 89,3)$$

$$V = 3,571 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 3,571 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 535,65 \text{ mL} \sim 536 \text{ mL} \end{aligned}$$

240 °C sıcaklık ve 30 atm basınçta 2 saat boyunca gerçekleşen reaksiyon sonucunda oluşan otoklav pulpu süzülerek alınan, sodyum alüminat olarak adlandırılan, bu sıvı kısımda Al_2O_3 (g/L), Na_2O_k (g/L), Na_2O_b (g/L) değerleri titrasyon ile tespit edildi.

- —0,074 + 0,044 mm fraksiyonu boksitin kimyasal analizi;

Ateş Zaiyatı	=	% 12,2
H ₂ O	=	% 0,95
Al ₂ O ₃	=	% 56,0
SiO ₂	=	% 7,96
Fe ₂ O ₃	=	% 15,0
TiO ₂	=	% 2,34
CaO	=	% 2,12
CO ₂	=	% 1,12

$$W = ((100 - H_2O) / 100) \times ((0.608 \times \alpha_k (Al_2O_3 - 0,85 \times SiO_2) + 0,517 \times SiO_2 + 0,387 (TiO_2 - 2,857 \times CaO) + 1,41 \times CO_2) \times 10 = 446,11$$

1. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$Al_2O_3 = 91,8 \text{ g / L}$$

$$Na_2O_k = 220,7 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 476,3 / (220,7 - 0,608 \times 1,5 \times 91,8)$$

$$V = 3,477 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\text{Konsantre çözelti miktarı} = 150 \text{ g} \times 3,477 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times$$

$$1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 521,6 \text{ mL} \sim 522 \text{ mL}$$

2. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$Al_2O_3 = 90,1 \text{ g / L}$$

$$Na_2O_k = 219,4 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 446,11 / (219,4 - 0,608 \times 1,5 \times 90,1)$$

$$V = 3,250 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\text{Konsantre çözelti miktarı} = 150 \text{ g} \times 3,250 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times$$

$$1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 487,5 \text{ mL} \sim 488 \text{ mL}$$

3. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 87,6 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 212,8 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 446,11 / (212,8 - 0,608 \times 1,5 \times 87,6)$$

$$V = 3,356 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\text{Konsantre çözelti miktarı} = 150 \text{ g} \times 3,356 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times$$

$$1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 503,4 \text{ mL} \sim 504 \text{ mL}$$

240 °C sıcaklık ve 30 atm basınçta 2 saat boyunca gerçekleşen reaksiyon sonucunda oluşan otoklav pulpu süzülerek alınan, sodyum alüminat olarak adlandırılan, bu sıvı kısımda Al_2O_3 (g/L), Na_2O_k (g/L), Na_2O_b (g/L) değerleri titrasyon ile tespit edildi.

Çizelge 5. 1. Boksit tane boyutu -0,210 +0,149 mm için deney sonuçları

Deney No	Na_2O_b (g/L)	Al_2O_3 (g/L)	Na_2O_k (g/L)
1	220,1	201,5	212,2
2	230,95	236,3	222,6
3	234,05	225,68	225,6

Boksitin Al_2O_3 içeriği % 56'dır. Deneylerde kullanılan 150 g boksitteki toplam Al_2O_3 miktarı 84 g olmaktadır.

1. Deneyde kullanılan konsantre çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 91,8

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 201,5

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 201,5 – 91,8 = 109,7

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 522 mL x 1 L/1000 mL = 0,522

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 109,7 g/L x 0,522 L = 57,26

Al_2O_3 kazanım randımanı = (57,26 / 84) x 100 = % 68,17

2. Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 89,3

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 236,3

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 236,3 – 89,3 = 147

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 487 mL x 1 L/1000 mL = 0,487

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 147 g/L x 0,487 L = 71,59

Al_2O_3 kazanım randımanı = (71,59 / 84) x 100 = % 85,22

3.Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 89,3

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 225,68

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 225,68 – 89,3 = 136,38

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 487 mL x 1 L/1000 mL = 0,487

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 136,38 g/L x 0,487 L = 66,42

Al_2O_3 kazanım randımanı = (66,42 / 84) x 100 = % 79,07

Çizelge 5. 2. Boksit tane boyutu -0,149 +0,074 mm için deney sonuçları

Deney No	Na_2O_b (g/L)	Al_2O_3 (g/L)	Na_2O_k (g/L)
1	246,5	252,50	235,6
2	275,1	246,08	265,2
3	247,2	244,80	238,3

1.Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 98,6

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 252,5

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 252,5 – 98,6 = 153,9

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 441 mL x 1 L/1000 mL = 0,441

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 153,9 g/L x 0,441 L = 67,87

Al_2O_3 kazanım randımanı = (67,87 / 84) x 100 = % 80,8

2.Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 89,3

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 236,3

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 236,3 – 89,3 = 147

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 476 mL x 1 L/1000 mL = 0,476

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 147 g/L x 0,476 L = 69,97

Al_2O_3 kazanım randımanı = (69,97 / 84) x 100 = % 83,29

3.Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 89,3

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 225,68

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 225,68 – 89,3 = 136,38

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 476 mL x 1 L/1000 mL = 0,476

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 136,38 g/L x 0,476 L = 64,92

Al_2O_3 kazanım randımanı = (64,92 / 84) x 100 = % 77,28

Çizelge 5. 3. Boksit tane boyutu - 0,074 +0,044 mm için deney sonuçları

Deney No	Na_2O_b (g/L)	Al_2O_3 (g/L)	Na_2O_k (g/L)
1	227,9	210,0	218,4
2	215,45	222,7	207,7
3	223,30	241,4	217,5

1. Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 91,8

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 210

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 210 – 91,8 = 118,2

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 522 mL x 1 L/1000 mL = 0,522

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 118,2 g/L x 0,522 L = 61,7

Al_2O_3 kazanım randımanı = (61,7 / 84) x 100 = % 73,45

2. Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 90,1

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 222,7

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 222,7 – 90,1 = 132,6

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 488 mL x 1 L/1000 mL = 0,488

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 132,6 g/L x 0,488 L = 64,71

Al_2O_3 kazanım randımanı = (64,71 / 84) x 100 = % 77,03

3. Deneyde kullanılan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 91,80

Deney sonunda oluşan çözeltideki Al_2O_3 miktarı (g/L) = 241,4

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g/L) = 241,4 – 91,80 = 149,60

Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L) = 418 mL x 1 L/1000 mL = 0,418

Deney sonunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı (g) = 149,60 g/L x 0,418 L = 62,53

Al_2O_3 kazanım randımanı = (62,53 / 84) x 100 = % 74,00

Çizelge 5. 4. Belirlenen elek fraksiyonlarındaki % Al₂O₃ verimleri

Deney No	% Al ₂ O ₃ randımanı		
	—0,210 + 0,149 mm	—0,149 + 0,074 mm	— 0,074 + 0,044 mm
1	68,17	80,80	73,45
2	85,22	83,29	77,03
3	79,07	77,28	74,00
Ortalama	77,45	80,45	74,83

Tamamı -0,044 mm altına öğütülmüş olan boksit fraksiyonu yine 240°C sıcaklık, 30 atm basınç altında laboratuvar tipi otoklavda 120 dakikalık reaksiyona sokulmuş, ekstraksiyon sonucunda çözeltiye geçen Al₂O₃ miktarı 170 g/L, boksitteki Al₂O₃ 'ün çözeltiye geçme veriminin ise %84,8 olduğu hesap edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda —0,149 + 0,074 mm elek aralığında en iyi sonuç alınmıştır. Bu elek fraksiyonunda reaksiyon süresi değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

- —0,149 + 0,074 mm boksit ve reaksiyon süresi 90 dakika olan 2 adet paralel deney;

1. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 81,6 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 231,2 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (231,2 - 0,608 \times 1,5 \times 81,6)$$

$$V = 2,940 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\text{Konsantre çözelti miktarı} = 150 \text{ g} \times 2,940 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times$$

$$1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 441 \text{ mL}$$

2. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 94,4 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 226,7 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (226,7 - 0,608 \times 1,5 \times 94,4)$$

$$V = 3,280 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\text{Konsantre çözelti miktarı} = 150 \text{ g} \times 3,280 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times$$

$$1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 492 \text{ mL}$$

$$1. \text{Deneyde kullanılan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 81,6$$

$$\text{Deney sonunda oluşan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 245,65$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 245,65 - 81,6 = 164,05$$

$$\text{Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L)} = 441 \text{ mL} \times 1 \text{ L} / 1000 \text{ mL} = 0,441$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g)} = 164,05 \text{ g/L} \times 0,441 \text{ L} = 70,35$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ kazanım randımanı} = (70,35 / 84) \times 100 = \% 86,12$$

$$2. \text{Deneyde kullanılan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 94,4$$

$$\text{Deney sonunda oluşan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 221,85$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 221,85 - 94,4 = 127,45$$

$$\text{Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L)} = 492 \text{ mL} \times 1 \text{ L} / 1000 \text{ mL} = 0,492$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 127,45 \text{ g/L} \times 0,492 \text{ L} = 62,71$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ kazanım randımanı} = (62,71 / 84) \times 100 = \% 74,65$$

$$\text{Ortalama } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ kazanım randımanı} = 80,4$$

• —0,149 + 0,074 mm boksit ve reaksiyon süresi 60 dakika olan 2 adet paralel deney;

1. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 88,4 \text{ g / L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 231,2 \text{ g / L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (231,2 - 0,608 \times 1,5 \times 88,4)$$

$$V = 3,063 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 3,063 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 460 \text{ mL} \end{aligned}$$

2. Deney için konsantre çözeltinin özellikleri;

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 96,1 \text{ g} / \text{L}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_k = 234,1 \text{ g} / \text{L}$$

$$V = W / (N - 0,608 \times \alpha_k \times A)$$

$$V = 461,3 / (234,1 - 0,608 \times 1,5 \times 96,1)$$

$$V = 3,150 \text{ m}^3 / \text{ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsantre çözelti miktarı} &= 150 \text{ g} \times 3,150 \text{ m}^3 / \text{ton} \times 1 \text{ ton} / 1\,000\,000 \text{ g} \times \\ &1\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3 \times 1 \text{ mL} / 1 \text{ cm}^3 = 473 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$1. \text{Deneyde kullanılan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 88,4$$

$$\text{Deney sonunda oluşan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 201,5$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 201,5 - 88,4 = 113,1$$

$$\text{Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L)} = 460 \text{ mL} \times 1 \text{ L} / 1000 \text{ mL} = 0,460$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g)} = 113,1 \text{ g/L} \times 0,460 \text{ L} = 52,03$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ kazanım randımanı} = (52,03 / 84) \times 100 = \% 61,9$$

$$2. \text{Deneyde kullanılan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 96,1$$

$$\text{Deney sonunda oluşan çözeltideki } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 202,73$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g/L)} = 202,73 - 96,10 = 106,63$$

$$\text{Deneyde kullanılan konsantre çözelti miktarı (L)} = 473 \text{ mL} \times 1 \text{ L} / 1000 \text{ mL} = 0,473$$

$$\text{Deney sonunda çözeltiye geçen } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ miktarı (g)} = 106,63 \text{ g/L} \times 0,473 \text{ L} = 50,44$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ kazanım randımanı} = (50,44 / 84) \times 100 = \%60,04$$

Çizelge 5. 5. -0,149 + 0,074 mm tane boyutunda farklı zamanlardaki % Al₂O₃ verimleri

Deney No	% Al ₂ O ₃ Verimi		
	60 dakika	90 dakika	120 dakika
1	61,9	86,12	80,80
2	60,04	74,65	83,29
3	-	-	77,28
Ortalama	60,97	80,39	80,45

6. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE YORUM

Eti Alüminyum A.Ş.'nin Seydişehir tesislerinde, fabrika koşullarında böhmistik boksitten alümina üretiminde, boksitin cevheri en az %96'sının 0,149 mm' nin altına geçecek şekilde, bunun da %75'inin 0,053 mm altına geçecek şekilde yaş olarak öğütülmektedir. Öğütülmüş boksit pulp halinde 240°C sıcaklık ve 30 atm basınç altında 2 saat süreyle otoklavlarda kostik soda ile reaksiyona tabi tutularak kırmızı çamurlu sodyum alüminat çözeltisi elde edilmektedir. Kırmızı çamur çökelti ve filtre edildikten sonra alınan temiz sodyum alüminat çözeltisi alüminyum hidroksit ile aşılınıp alüminyum hidroksit olarak kritallendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Daha sonraki aşamalarda alüminyum hidroksitin bir kısmı susuzlandırılıp satışa sunulabilmekte, bir kısmının da bünye suyu kalsinasyon ile giderilip alümina elde edilmekte ve bu alüminanın bir kısmından da elektroliz yoluyla metalik alüminyum elde edilmektedir.

Bu çalışmada Seydişehir Eti Alüminyum A.Ş. Tesislerinde alümina üretiminde kullanılan böhmistik boksit cevherinin, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında kostik soda ile reaksiyona (otoklav liçi) sokulmadan önce gerçekleştirilen öğütme işleminde, boksitin tane boyutunun reaksiyon süresine ve buna bağlı olarak prosesteki Al_2O_3 kazanım verimine etkisi incelenmiştir. Konuyla ilgili tüm laboratuvar çalışmaları, Eti Alüminyum A.Ş.'nin Seydişehirdeki tesislerinde bulunan Merkez Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

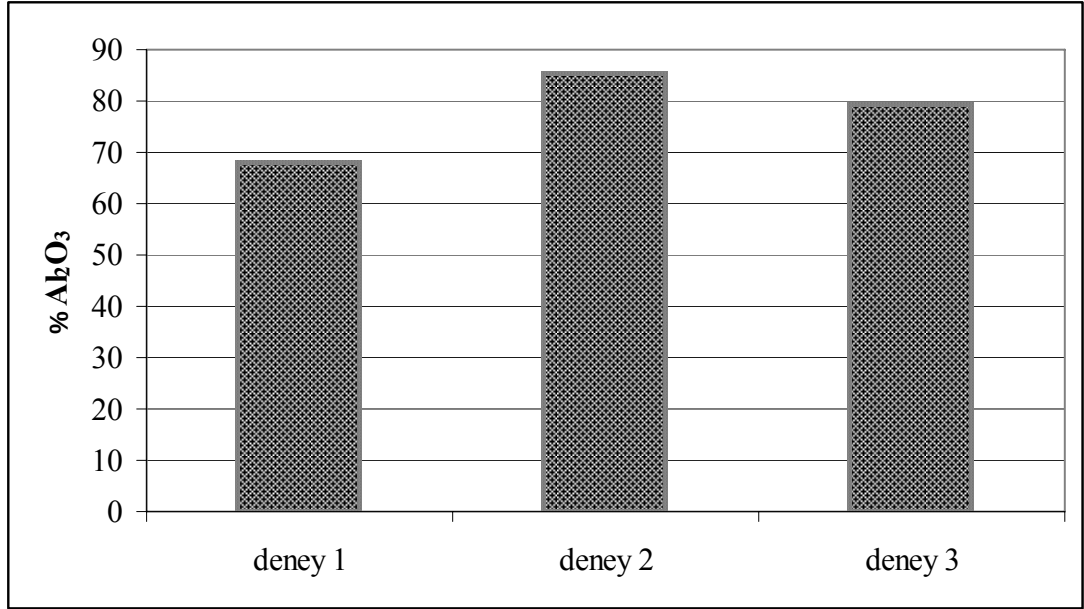
Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde, tesiste olduğu gibi 240°C sıcaklık, 30 atm basınç altında ancak farklı olarak 1 L iç hacimli laboratuvar tipi otoklavda, boksit cevherinin değişik elek fraksiyonları değişik süreler boyunca kostik soda (tesiste kullanılan) ile reaksiyona sokulmuştur.

Tüm deneylerde homojen olarak hazırlanan böhmistik boksitten alınan 150 g ağırlığında ancak farklı elek fraksiyonlardaki numuneler kullanılarak en uygun elek fraksiyonu belirlenmiş, belirlenen optimum elek fraksiyonu için farklı reaksiyon süreleri ile çalışılarak uygun reaksiyon süresi tespit edilmiştir. Laboratuvar

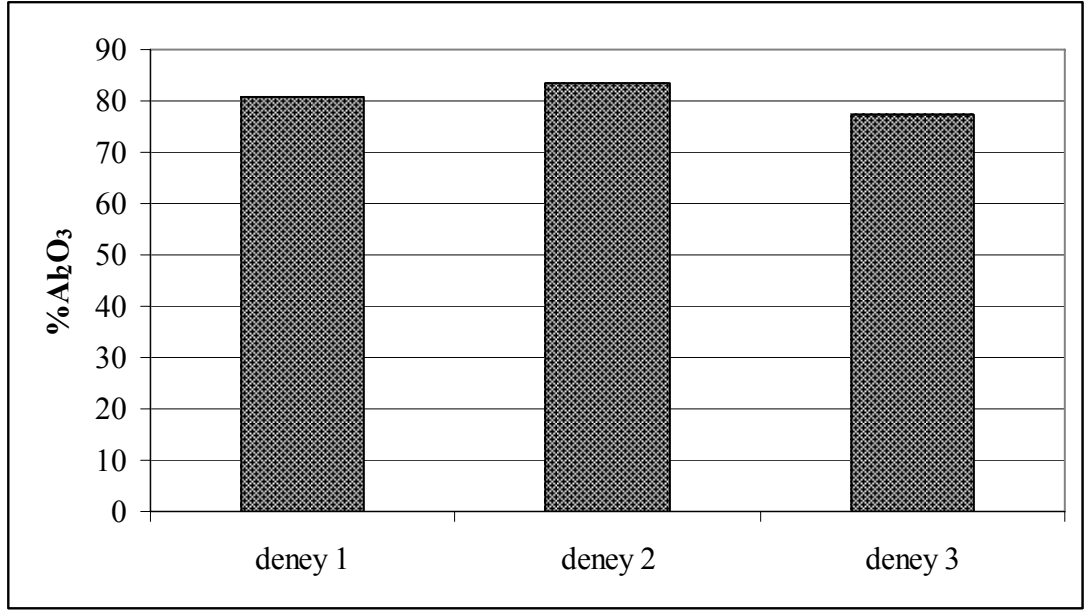
yapılan otoklav liçlerinde pulpun homojenliğini sağlamak için otoklav içindeki karıştırıcı hızı tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler yardımıyla, proses öncesi öğütülmekte olan boksit tane boyutunun reaksiyon hızına etkisi ile boyut ve reaksiyon süresine bağlı olarak çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarları (g/L) tespit edilerek, Al_2O_3 verimleri (metalurjik verimler) hesaplanmıştır.

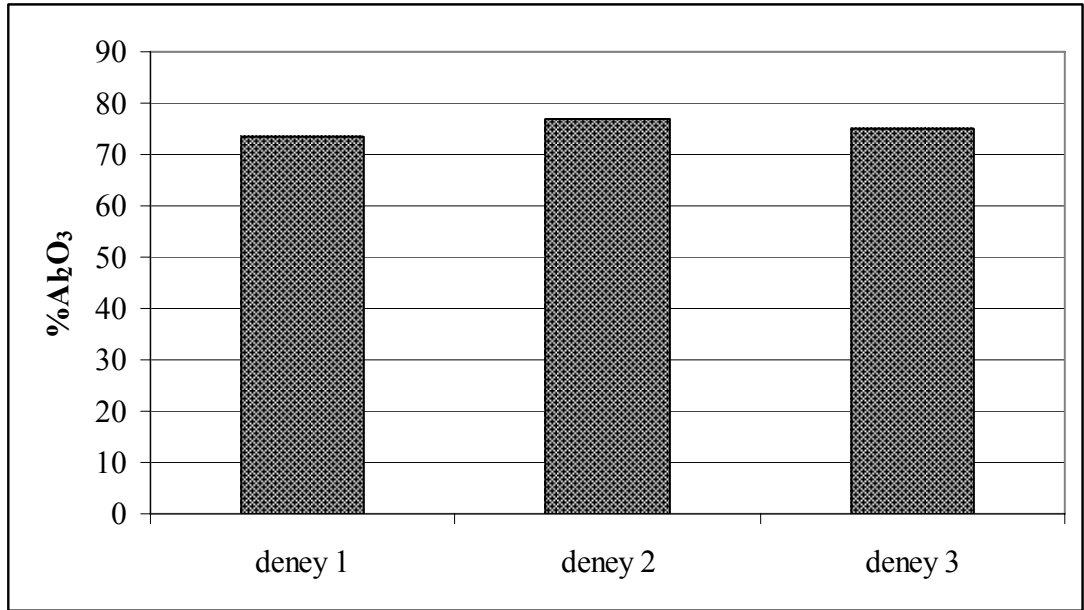
Deneyler her bir elek fraksiyonları için üçer defa tekrarlanmış olup, her bir deneyde elde edilen Al_2O_3 verimi deney numaralarına karşı Çizelge 6.4 de verilmiş, aynı çizelgede elek fraksiyonuna karşılık gelen ortalama verimlerde belirtilmiştir. Al_2O_3 veriminin her bir elek fraksiyonunda yapılan deneylerde elde edilen değerleri deney numaralarına göre grafiğe geçirilmiş olup, bunlar Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 de görülmektedir.



Şekil 6.1 —0,210 + 0,149 mm elek fraksiyonundaki boksitin % Al_2O_3 verimi



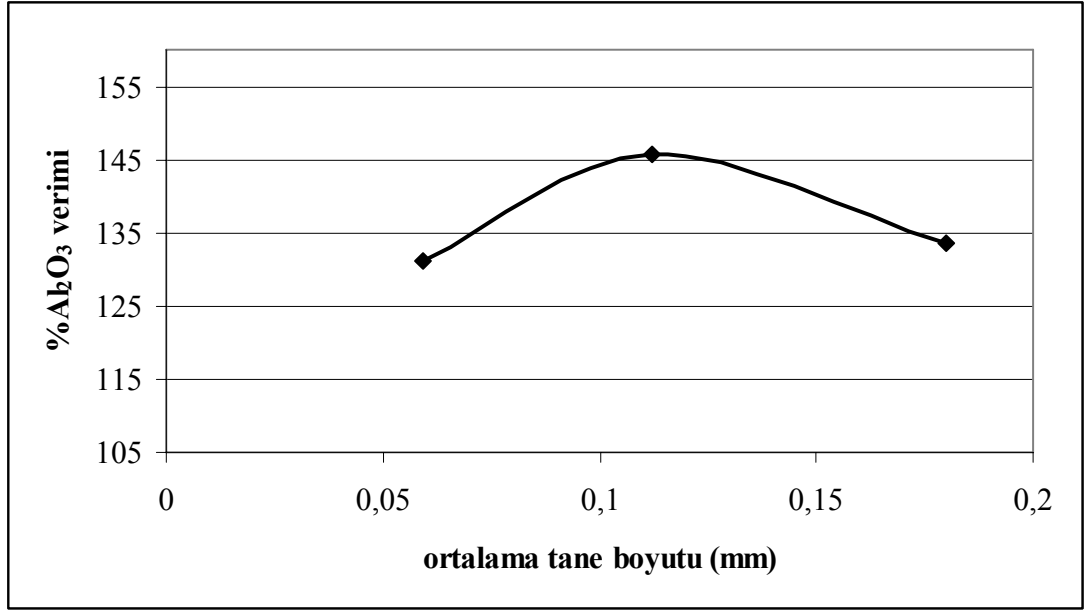
Şekil 6.2 — 0,149 + 0,074 mm elek fraksiyonundaki boksitin % Al₂O₃ verimi



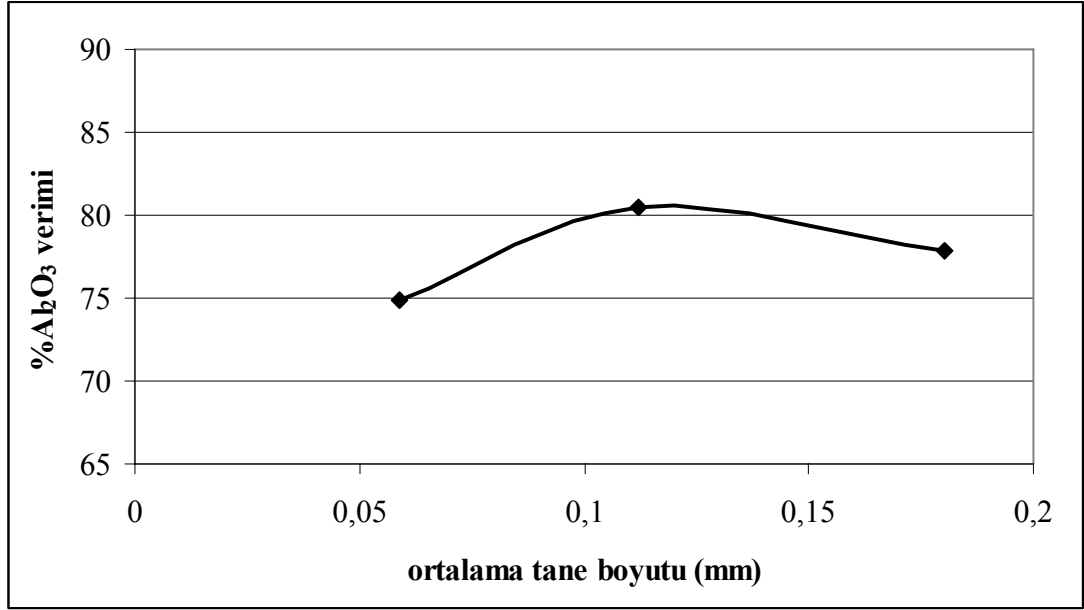
Şekil 6.3 — 0,074 + 0,044 mm elek fraksiyonundaki boksitin % Al₂O₃ verimi

Deney sonuçlarını daha iyi yorumlamak için her bir elek fraksiyonu için ortalama tane boyutları – 0,074 + 0,044 mm aralığı için 0,059 mm, -0,149 + 0,074mm aralığı için 0,112 mm, -0,210 + 0,149 mm aralığı için 0,18 mm olarak hesaplanmış ve bu değerlere karşı Çizelge 5.4 belirtilen ortalama Al₂O₃ verimleri grafiğe geçirilmiştir.

Şekil 6.4 te ortalama tane boyutu ortalama çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarı g/L olarak grafiğe geçirilmiş, Şekil 6.5 te ise Al_2O_3 verimi ortalama tane boyutuna karşı grafiğe geçirilmiştir. Çizelge ve şekillerden de görüleceği gibi Al_2O_3 veriminin en yüksek değeri -0,149 +0,074 mm elek fraksiyonu (0,112mm ortalama tane boyutu) için elde edilmiştir.

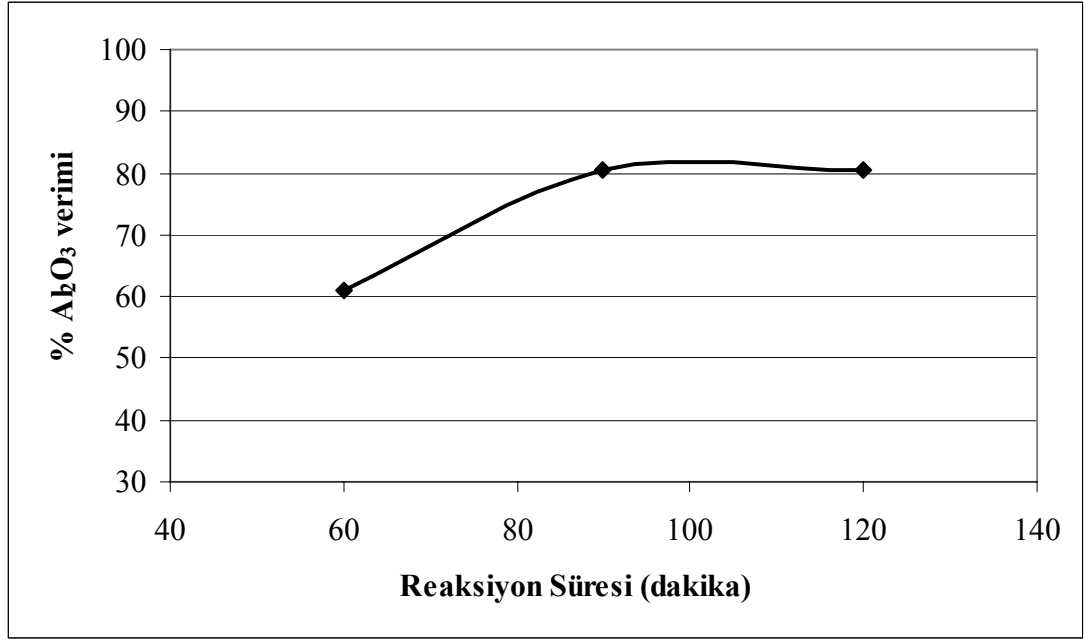


Şekil 6. 4. Böhmitik boksitte öğütme boyutunun çözeltiye geçen Al_2O_3 (g/L) miktarına olan etkisini gösteren grafik



Şekil 6. 5. Partikül boyutunun sodyum alüminat çözeltisindeki Al₂O₃ miktarına etkisi

Optimum tane boyutunun tespitinden sonra söz konusu elek fraksiyonu ile (-0,149+0,074 mm) 60, 90 ve 120 dakikalık sürelerle; yine 240°C sıcaklık, 30 atm basınç altında laboratuvar tipi otoklavda reaksiyon gerçekleştirilmiş ve reaksiyon süresine bağlı olarak çözeltiliye geçen Al₂O₃ miktarları (g/L) tespit edilerek, Al₂O₃ verimleri (metalurjik verimler) hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.5 ve reaksiyon süresine karşılık Al₂O₃ verimi grafiğinde (Şekil 6.6) verilmiştir. Verilen çizelge ve grafikten boksitin -0,149 +0,074 mm fraksiyonu için 90 dakikalık süreden sonra verimlilik artışının çok düşük seviyede kaldığı görülmüştür.



Şekil 6. 6. -0,149 +0,074 mm partikül boyutundaki böhmitik boksitin zamana bağlı olarak sodyum alüminat çözeltisindeki Al₂O₃ miktarına etkisi

Çizelge ve şekillerin incelenmesinden partikül boyutunun Al₂O₃ verimine etkisi;

- —0,210 + 0,149 mm aralığındaki boksitle yapılan 3 adet deneyde 120 dakikalık ekstraksiyon sonucunda çözeltiye geçen Al₂O₃ miktarının ortalama 131,03 g/L, boksitteki Al₂O₃ 'ün çözeltiye geçme veriminin ise ortalama %77,45 olduğu,
- —0,149 + 0,074 mm aralığındaki boksitle yapılan 3 adet deneyde 120 dakikalık ekstraksiyon sonucunda çözeltiye geçen Al₂O₃ miktarının ortalama 145,76 g/L, boksitteki Al₂O₃ 'ün çözeltiye geçme veriminin ise ortalama %80,45 olduğu,
- —0,074 + 0,044 mm aralığındaki boksitle yapılan 3 adet deneyde 120 dakikalık ekstraksiyon sonucunda çözeltiye geçen Al₂O₃ miktarının ortalama 133,46 g/L, boksitteki Al₂O₃ 'ün çözeltiye geçme veriminin ise ortalama %74,83 olduğu görülmektedir.

Öğütme boyutunun etkisini tespit için yapılan deneylerin sonuçlarına göre $-0,149 + 0,074$ mm aralığındaki boksitle yapılan ekstraksiyonda en yüksek Al_2O_3 kazanım verimi (sodyum alüminat olarak çözeltiye alma) elde edilmiştir.

Reaksiyon süresinin boksitteki Al_2O_3 'ün çözeltiye geçme verimine olan etkisini tespit içinde zaten 120 dakikalık ekstraksiyon sonucu bilinen $-0,149 + 0,074$ mm aralığındaki boksit numunesi bu defa 60 ve 90 dakikalık sürelerle yine laboratuvar tipi otoklavda ekstraksiyona tabi tutulmuştur.

Çizelge ve şekillerin incelenmesinden reaksiyon süresinin Al_2O_3 verimine etkisi;

- 120 dakikalık reaksiyonu sonucunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarının ortalama 145,76 g/L, boksitteki Al_2O_3 'ün çözeltiye geçme veriminin ise ortalama %80,45 olduğu üstteki deneylerde tespit edilmiştir.
- 90 dakikalık reaksiyonu sonucunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarının ortalama 145,75 g/L, boksitteki Al_2O_3 'ün çözeltiye geçme veriminin ise ortalama %80,39 olduğu,
- 60 dakikalık reaksiyonu sonucunda çözeltiye geçen Al_2O_3 miktarının ortalama 109,86 g/L, boksitteki Al_2O_3 'ün çözeltiye geçme veriminin ise ortalama %60,97 olduğu görülmektedir.

Optimum elek fraksiyonu olarak seçilen $-0,149 + 0,074$ mm aralığındaki boksitin 90 dakikalık ekstraksiyon ile 120 dakikalık ekstraksiyonları arasında Al_2O_3 'ün çözeltiye geçme verimleri bakımından 0,06 puanlık (onbinde altı) 120 dakikalık süre lehine bir fark bulunmuştur. Bu farkın teknik bakımdan önemsenecek bir değeri yoktur.

Bu durumda böhmitik boksitin tamamının -0,149 mm altına öğütülmesi durumunda, 240°C sıcaklık, 30 atm basınç altında 90 dakika otoklavlarda ekstraksiyona tabi tutulmasının süre bakımından yeterli olacağı anlaşılmaktadır.

1. Seydişehir'in böhmitik boksit cevherini (Mortaş ve Doğankuzu boksit cevherleri) kullanan Alüminyum Tesislerinde otoklavlarda gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde en kısa süreli reaksiyon neticesinde en yüksek randımanla cevherdeki Al_2O_3 'ün sodyum alüminat olarak çözeltiye geçmesi için boksitin tamamının 0,149 mm altına öğütülmesinin gerektiği,

2. Boksitin daha ince öğütülmesinin Al_2O_3 randımanına kayda değer olumlu etkisinin olmadığı ve tamamı 0,044 mm altına öğütülen boksit numunesinde yapılabilen tek bir deneyin sonucunda Al_2O_3 randımanında 4 puan civarında bir artış görüldüğü, yapılan deneylerde optimum boyut olarak tespit edilen $-0,149 + 0,074$ mm elek fraksiyonunun hemen alt ve üst fraksiyonlardan daha iyi sonuç vermesi dikkate alındığında boksitin tamamının 0,149 mm altına öğütülmesinin yeterli olacağı, tamamı -0,044 mm altına öğütülen boksitte görülen %4'lük randıman artışına karşılık, öğütme prosesinde aşırı ince öğütmenin ek maliyet getirmesinin yanısıra bunun kapasite düşüklüğüne de sebep olabileceği hususları dikkate alınarak, öğütme devrelerinde boksitin tamamının 0,149 mm altına öğütülmesinin yeterli olacağı ve öğütme devrelerinde yer alan tane sınıflandırma ekipmanlarının öğütme üst boyutunun (0,149 mm) kontrolünü tam ve doğru bir şekilde yapabilecek şekilde dizayn edilmelerinin yararlı olacağı,

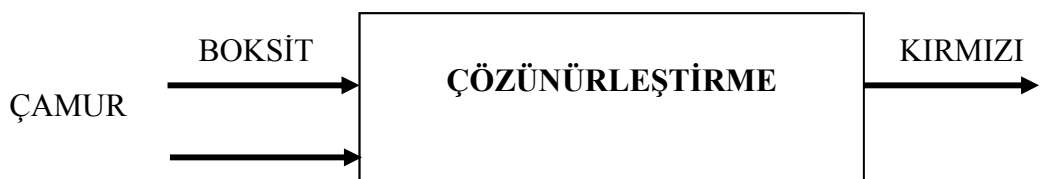
3. Boksitin tamamının optimum boyut altına (-0,149 mm) öğütülmesi halinde otoklavlarda gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminde cevherin içerdiği Al_2O_3 'i en yüksek verimle sodyum alüminat halinde çözelti içine alınmasının sağlanabileceği ve 120 dakika olan reaksiyon süresinin de 90 dakikaya düşebileceği, kısılacak reaksiyon süresinden ötürü ısı tüketimlerinin azalacağı, metalurjik randımanların da artacağı ve böylece alümina üretim maliyetlerinin düşeceği anlaşılmaktadır.

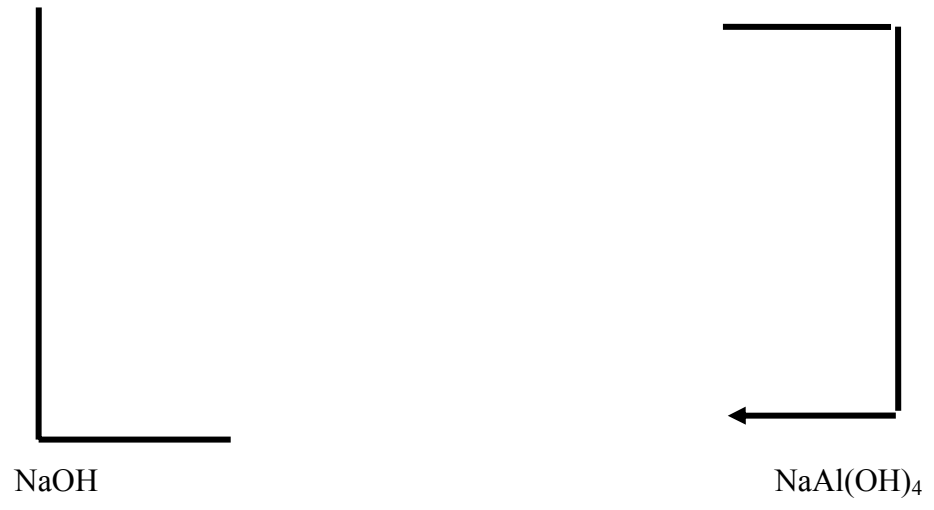
KAYNAKLAR

- 1- Etibank, “Eti Alüminyum A.Ş. Tesisleri Tanımı”, *Etibank Yayınları*, Seydişehir, 3–9, (1992).
- 2- Etibank, “Alüminyum Endüstrisi”, *Etibank Yayınları*, Seydişehir, 1–15, (1992).
- 3- Devlet Planlama Teşkilatı, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Boksit Çalışma Grubu Raporu”, *DPT: 2625 - ÖİK: 636, Ankara*, 3–5, (2001).
- 4- TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, “Alüminyum Raporu”, *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara*, 9–12, (2004).
- 5- Gencer, E., Nemli, H. F., “Boksitten Alümina Üretiminin Kimyasal Temeli ve Teknolojisi”, *Etibank yayınları*, Seydişehir, 13-15, (1981).
- 6- Etibank, “Alümina Fabrikası Tanımı”, *Etibank Yayınları*, Seydişehir, 1–16, 1992.
- 7- Eti Alüminyum A.Ş., Alümina Fabrikası Müdürlüğü Talimatlar El Kitabı, *Eti Alüminyum A. Ş.*, Seydişehir, 70-71, (2006).
- 8- Eti Alüminyum A.Ş., Laboratuvarlar ve Araştırma Müdürlüğü Talimatlar El Kitabı, *Eti Alüminyum A. Ş.*, Seydişehir, 7-2, (2006).
- 9- Özdemir, S., “Etibank Alüminyum Tesisleri Alümina Fabrikası Teknolojik Tanımı”, *Etibank yayınları*, Seydişehir, 1-8, (1974).

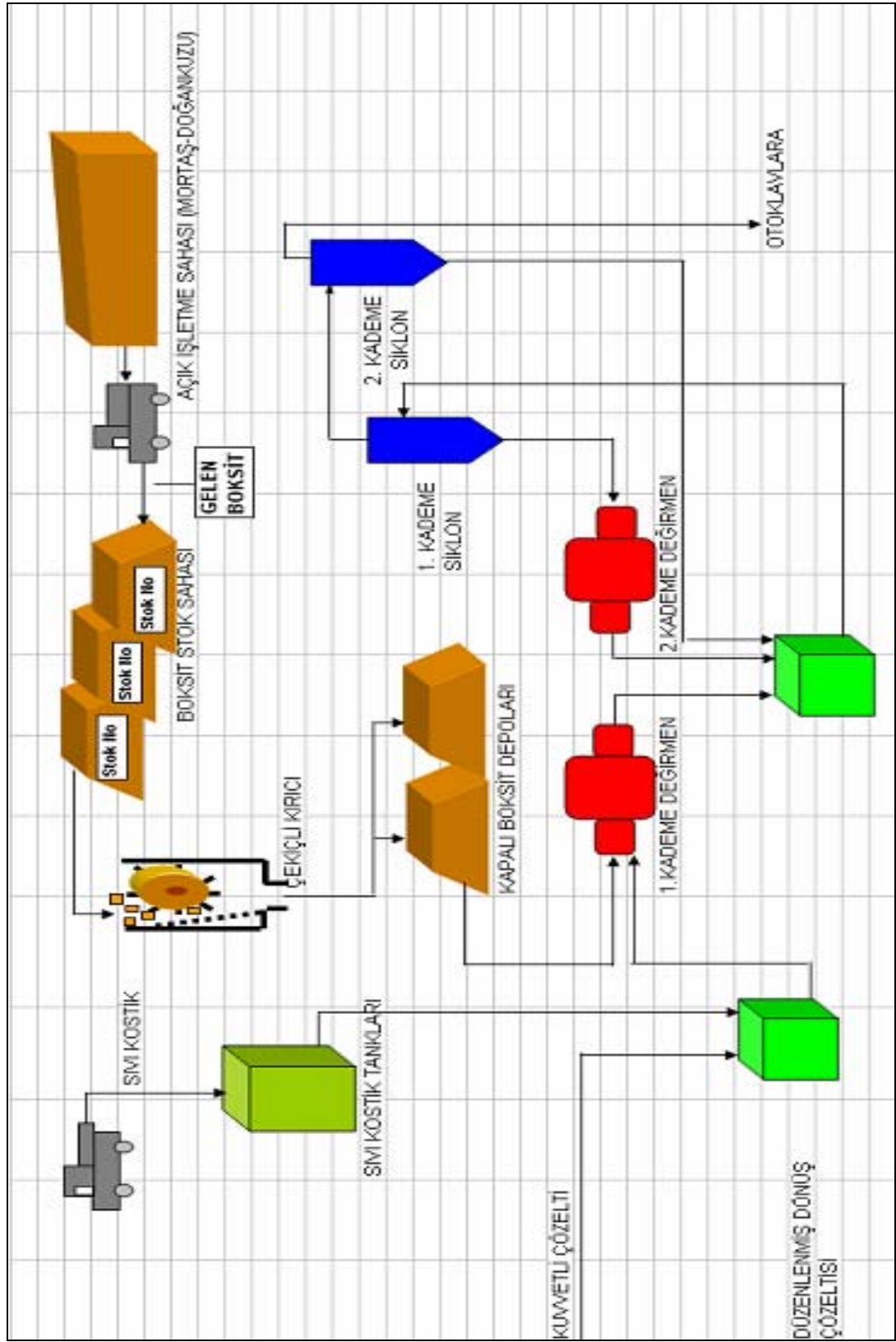
EKLER

EK-1 Bayer prosesinin Basitleştirilmiş akım şeması

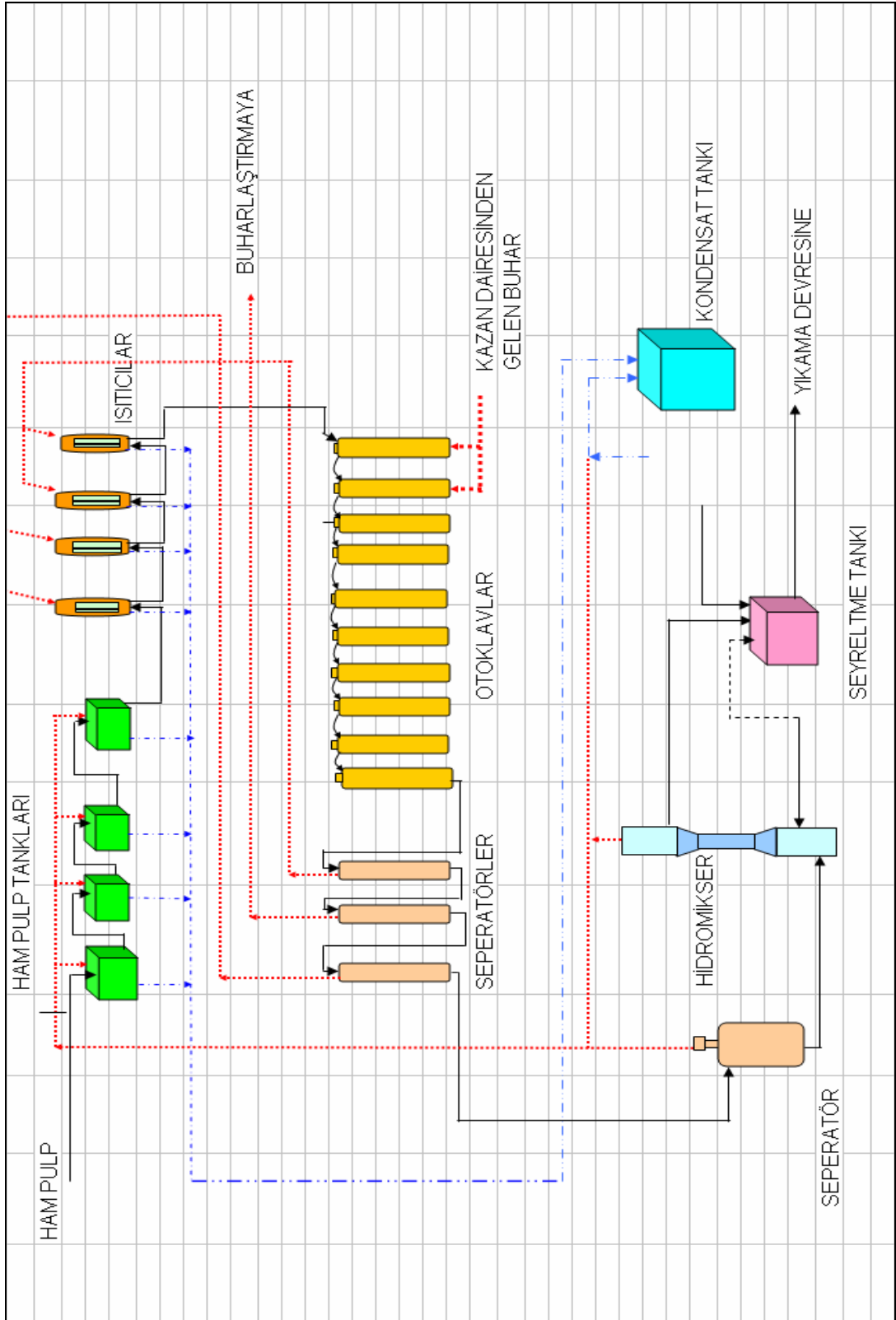




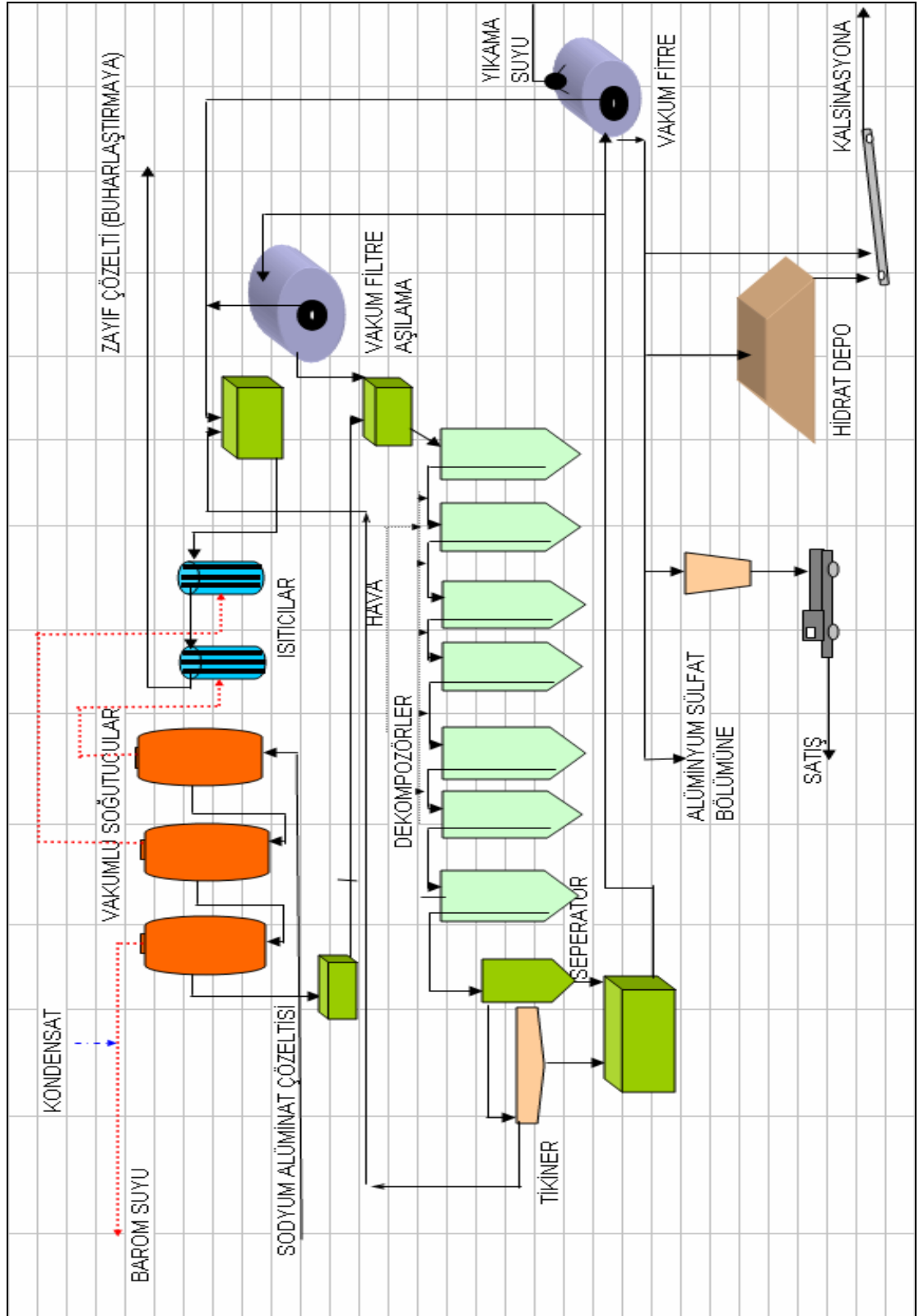
EK-2 Hammadde hazırlama bölümü akım şeması



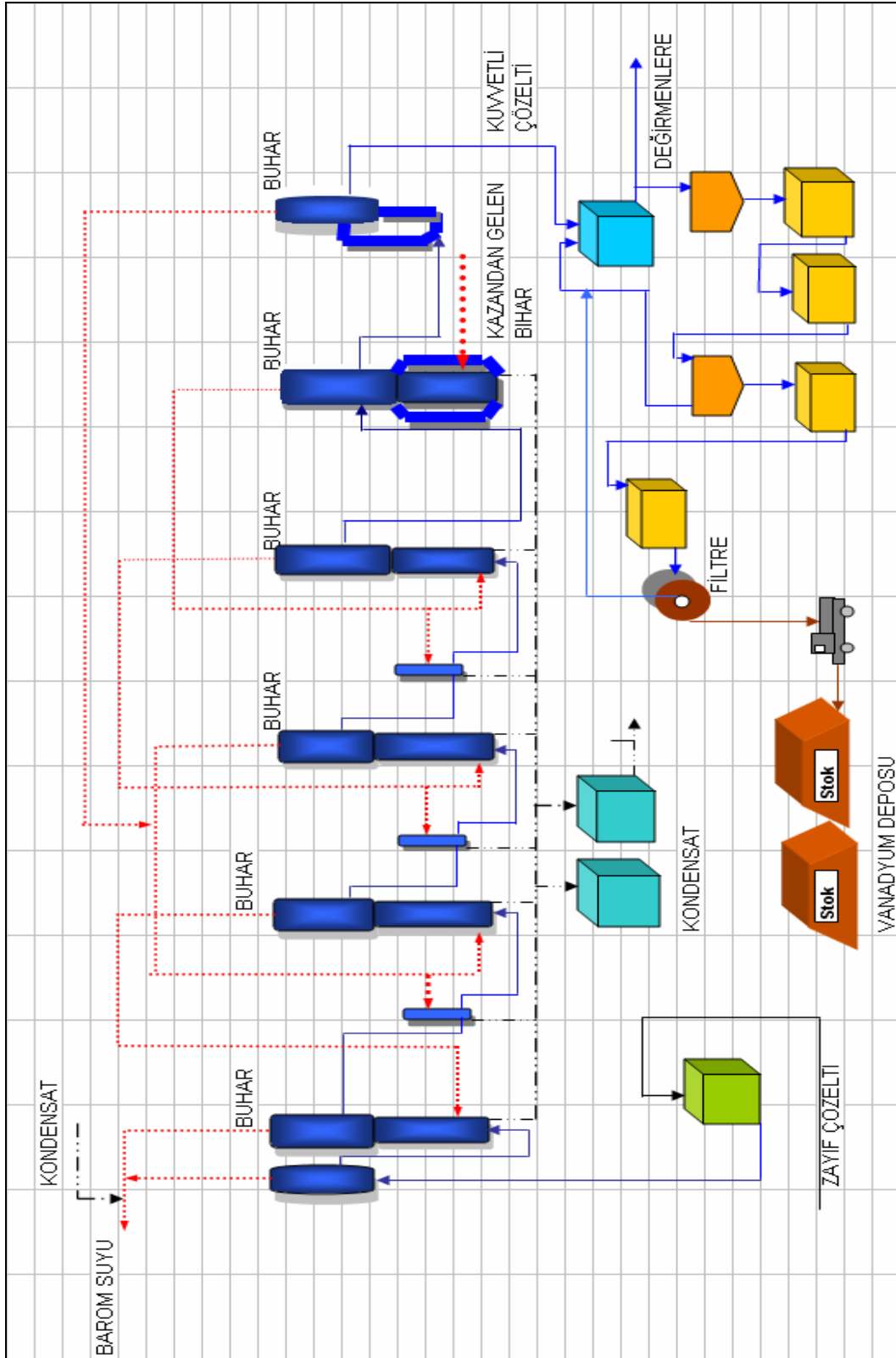
EK-3 Otoklavlar ve kırmızı çamur bölümü akım şeması



EK-4 Dekompozisyon ve hidrat bölümü akım şeması



EK-5 Buharlaştırma bölümü akım şeması



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HACIOĞLU, Sibel
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 16.08.1981 Artvin
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 332 582 30 30 / 3641
e-mail : sibelhacioglu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Kimya mühendisliği	2004
Lise	Ankara Cumhuriyet Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005 -	ETİ ALÜMİNYUM A.Ş.	Kalite Kontrol ve Fizikokimyasal Analizler Laboratuvarı Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce