

EMET BORİK ASİT FABRİKASI ATIKLARINDAN

BOR'UN KAZANILMASI

Ersin BÜYÜKYILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Anabilim Dalı

Haziran - 2007

EMET BORİK ASİT FABRİKASI ATIKLARINDAN  
BOR'UN KAZANILMASI

Ersin BÜYÜKYILDIZ

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Kimya Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

Haziran - 2007

**KABUL ve ONAY SAYFASI**

Ersin BÜYÜKYILDIZ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı Emet Borik Asit Fabrikası Atıklarından Bor'un Kazanılması başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

Üye : Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cengiz YENİKAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Süleyman TOPAL

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M.Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## EMET BORİK ASİT FABRİKASI ATIKLARINDAN BOR'UN KAZANILMASI

Ersin BÜYÜKYILDIZ

Kimya Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

### ÖZET

Bor, Türkiye'nin sahip olduğu çok önemli endüstriyel hammaddelerinden biridir. Ülkemiz, gerek bor minerallerinin sahip olduğu rezerv büyüklüğü, niteliği ve çeşitliliği açısından, gerekse işletme maliyeti ve tenör avantajları ile dünyada birinci sırada bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, Türkiye'de bor konsantresi üretiminde kullanılan kırma, yıkama, sınıflandırma ve triyaj gibi zenginleştirme işlemleri esnasında önemli miktarlarda atık çıkmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi hem doğal kaynakların maksimum düzeyde kullanılması, hem stoklanması hem de çevre açısından önem arz etmektedir.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletme Müdürlüğüne bağlı Hisarcık ve Espey Konsantratör Tesisleri bünyesinde üretilmekte olan kolemanit cevheri, işletme bünyesinde bulunan Emet Borik Asit Fabrikası'nda borik asit üretiminde kullanılmaktadır. Ancak, konsantre kolemanit üretim işlemi esnasında önemli miktarda su kullanılmakta, sonuçta ortaya sulu atık çıkmakta ve bu atıklar ancak atık barajlarında depolanmaktadır. Bu çalışmada, Emet Borik Asit Fabrikası atıklarından bor'un geri kazanılması amaçlanmıştır. Bunun için Emet Borik Asit Fabrikası atıklarından olan Hisarcık Eski Atık Barajı'ndan alınan kolemanit numuneleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Emet-Hisarcık Eski Atık Barajından temin edilen katı atığın tanımlanmasından sonra bor'un kazanılması için kalsinasyon işlemi yapılmıştır. Deneyde kalsinasyon işlemine sıcaklık, süre ve eleme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Sonuçta, sıcaklık, süre ve farklı eleklerden eleminin kalsinasyon işlemi ile bor'un kazanılmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Laboratuvar tipi fırında 350-500°C sıcaklık ve 15-60 dakikalık süreler arasında kalsinasyon işlemi gerçekleştirilerek kalsine ürün elde edilmiştir. Daha sonra 0,25 mm. ve 0,50 mm. eleklerden kalsine kolemanitin kilden ayrılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Böylece Hisarcık Eski Atık Barajındaki kolemanit atığından kalsine kolemanit üretimi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ölçekli testlerin sonucunda, 450°C sıcaklık ve 25 dakika süre sonunda 0,50 mm elekten elemeye %30,52 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ve %92,96 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kurtarma verimi ile kalsine konsantre üretimi yapılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Barajı, Bor'un Kazanılması, Kalsinasyon, Kolemanit

## RECOVERING OF BORON FROM EMET BORIC ACID FACTORY'S WASTES

Ersin BÜYÜKYILDIZ

Chemistry Department, M.S. Thesis, 2007

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN

### SUMMARY

Boron is one of the most important and valuable industrial raw material of Turkey. With the quantity, quality and kind of boron mineral reserves and cheap production cost and advantage of  $B_2O_3$  contents, Turkey has the first place in the world. In spite of this, during beneficiation processes like crushing, washing, classification and triage used for boron concentrate in Turkey, considerable amounts of tailings are accumulated. Evaluation of this tailing is important for both maximum usage of reserves, stockpiling and for the environment aspects.

Colemanite ore produced in Espey and Hisarcık Concentrator Plants depending on Emet Boron Works of Eti Mine Works General Management is used in Boric acid production in Emet Boric Acid Factory in the same plant. But, during production of concentrate colemanite, considerable amounts of water is to use, in this result, tailings with water are accumulated outside and these tailings are stored in only waste ponds. In this study, it was aimed to recover of Boron from Emet Boric Acid Factory's solid wastes. For this aim, it was studied on solid colemanite samples collected from Emet-Hisarcık Old Waste Pond. For recovering of boron after determination of the Emet Hisarcık Old Waste Pond's solid wastes, calcination was applied on them. Effect of time, temperature and sifting on calcination was investigated in experiment. According to the experimental test result, it was determined that time, temperature and sifting with different screens affect the calcination. Calcination was performed in laboratory type furnaces between 350-500°C and 15-60 minutes and calcined colemanite was produced. And then calcined colemanite was separated from the clay by sifting with 0,25 mm and 0,50 mm screens. As a result, it was aimed to produce calcined colemanite from Emet-Hisarcık Old Waste Pond's solid colemanite wastes. As the result of the laboratory scaled experiments, by calcining at 450°C in 25 minutes, and by sifting with 0,50 mm screen, calcined product with a grade of 30,52%  $B_2O_3$  and with 92,96% efficiency is obtained.

**Key Words:** Tailing Pond, Recovering of Boron, Calcination, Colemanite

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Yunus ERDOĞAN'a, çalışmam sırasında yakın ilgi ve alakalarını gördüğüm, Kimya Bölümünün değerli hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve yüksek lisans arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Emet Borik Asit Fabrikası Merkez Laboratuvarında tez çalışmasına izin veren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne başta olmak üzere, Emet Bor İşletmeleri Genel Müdürlüğüne, Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletmesi Teknik Müdürü Sayın Dr. Mehmet SAVAŞ'a ve Merkez Laboratuvar sorumlusu Kimya Mühendisi Sayın Yasemin KAMA'ya ve çalışmalarım sırasında yardım ve bilgilerini esirgemeyen Emet Bor işletmesinde çalışan Laborant Sayın Tacettin AKBUNAR'a, ve Laborant Sayın İbrahim Ethem GÜL'e yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca yanımda olup beni her zaman destekleyen aileme saygı ve sevgilerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. BOR VE BOR MİNERALLERİ .....	3
2.1. Borun Tarihçesi .....	3
2.2. Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri .....	4
2.3. Bor Mineralleri .....	5
2.4. Dünya Bor Rezervleri .....	7
2.5. Türkiye Bor Yatakları .....	9
2.5.1. Sultan çayır ( Susurluk ) bor yatağı .....	10
2.5.2. Kırka bor yatakları .....	10
2.5.3. Emet bor yatakları .....	10
2.5.4. Bigadiç bor yatakları .....	11
2.5.5. Kestelek bor yatakları .....	11
2.6. Bor Ürünlerinin Başlıca Kullanım Alanları .....	11
2.6.1. Cam sanayi .....	11
2.6.2. Seramik ve emaye sanayi .....	12
2.6.3. Yanmayı geciktirici maddeler .....	12
2.6.4. Temizleme ve beyazlatma sanayi .....	12
2.6.5. Tarım .....	12
2.6.6. Metalürji sanayi .....	12
2.6.7. Nükleer uygulamalar.....	13
2.6.8. Diğer kullanım alanları .....	13
3. BOR ATIKLARININ ÇEVREYE ETKİLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	14
3.1. Bor Üretiminden Kaynaklanan Çevre Sorunları .....	14
3.2. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri.....	15

## İÇİNDEKİLER ( devam )

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Atıklardan bor'un geri kazanılması.....	17
3.2.1.1. <u>Katı atıklardan bor'un geri kazanılması</u> .....	17
3.2.1.2. <u>Sıvı atıklardan bor'un geri kazanılması</u> .....	19
3.2.2. Atıkların uygun sektörlerde kullanılması.....	20
3.2.3. Atıkların uygun bir şekilde depolanması.....	21
4.KOLEMANİT CEVHERİNİN KALSİNASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ.....	22
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
5.1. Deneyde Kullanılan Materyaller .....	25
5.1.1. Kullanılan cihaz ve düzenekler.....	25
5.1.2. Kullanılan kimyasal maddeler, çözeltiler ve hazırlanışı.....	25
5.1.2.1. <u>0,5 N NaOH çözeltisinin hazırlanışı</u> .....	25
5.1.2.2. <u>İndikatörlerin hazırlanışı</u> .....	26
5.2. Numunenin Kimyasal Analiz Metotları.....	26
5.2.1. Volümetrik yöntem ile kolemanit'te B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> analiz metodu.....	26
5.2.2. X-RF metodu.....	27
5.3. Yapılan Çalışmalar .....	28
5.3.1. Numunenin temini.....	28
5.3.2. Numunenin analizi.....	28
5.3.2.1. <u>Numunenin kimyasal analizi</u> .....	28
5.3.2.2. <u>Numunenin yaş elek analizi</u> .....	28
5.3.3. Kalsinasyon-eleme ile zenginleştirme çalışmaları.....	29
6. SONUÇLAR .....	31
6.1. Numune Analizi sonuçları .....	31
6.2. Kalsinasyon Deneylerinin Sonuçları.....	34
7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER .....	47
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	49



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Türkiye'deki bor yatakları.....	10
3.1. Bor atıklarının değerlendirilmesinde mevcut seçenekler .....	17
3.2. Bor atıklarının sektörel bazda dağılımı.....	20
6.1. Numuneye ait B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tenör ve dağılımının elek fraksiyonlarına bağlı olarak değişim grafiği.....	33
6.2. 350°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen –0,50 mm ve –0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik.....	41
6.3. 400°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen –0,50 mm ve –0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik.....	41
6.4. 450°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen –0,50 mm ve –0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik.....	42
6.5. 475°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen –0,50 mm ve –0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik.....	42
6.6. 500°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen –0,50 mm ve –0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik.....	43
6.7. Farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan en uygun kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen –0,50 mm ve –0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik .....	43
6.8. Farklı sıcaklıkların –0,50 mm kalsine konsantrelerine ait Tenör–Süre grafiği.....	44
6.9. Farklı sıcaklıkların –0,50 mm kalsine konsantrelerine ait Verim–Süre grafiği .....	44
6.10. Farklı sıcaklıkların –0,25 mm kalsine konsantrelerine ait Tenör–Süre grafiği .....	45
6.11. Farklı sıcaklıkların –0,25 mm kalsine konsantrelerine ait Verim–Süre grafiği .....	45
6.12. Her bir sıcaklık için Süre-Ağırlık kaybı grafiği.....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor elementinin özellikleri .....	5
2.2. Başlıca bor mineralleri ve özellikleri .....	7
2.3. Dünya bor rezervleri .....	8
6.1. Numunenin kimyasal analiz sonuçları.....	32
6.2. Numuneye ait elek fraksiyonlarının ağırlık dağılımları, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> içerikleri ve dağılımları .....	32
6.3. Numuneye ait her bir elek fraksiyonlarının eleküstü/elekaltı ağırlık ve tenörlerin karşılaştırılması.....	33
6.4. 0,50 mm'lik elekten eleme sonucu elde edilen tenörler ve verimler.....	35
6.5. 0,25 mm'lik elekten eleme sonucu elde edilen tenörler ve verimler.....	36
6.6. Numuneye Ait Kalsinasyon Testlerinin Detaylı Sonuçları .....	37

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
ppm	Milyonda kısım
<sup>0</sup> C	Celsius derecesi
K	Kelvin
kJ	Kilojoule
J	Joule
g	Gram
m	Metre
km	Kilometre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
L	Litre
mL	Mililitre
dk	dakika
r	yarıçap
<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
M.Ö.	Milattan Önce
RR	Risk Ratio (Risk oranı)
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TLV	Threshold Limit Value (Eşik sınır değer)
X-RF	X- ışınları Floresans Spektroskopisi

## 1. GİRİŞ

Bor, yer kabuğunda nadir olarak bulunan elementlerden birisidir. Toprağın bor içeriği yaklaşık 10–20 ppm'dir. Deniz sularında 0,5–9,6 ppm oranında, tatlı sularda ise 0,001–1,5 ppm arasında bor bulunmaktadır. Bor doğada serbest olarak bulunmaz. Değişik oranlarda bor oksit içeriği ile 250 den fazla mineralin yapısında yer almaktadır [1]. Ancak bunlardan ticari önemi olanlar tinkal, tinkalkonit, kernit, üleksit, kolemanit, pandermite, inyoit, hidroborasit, szaybelit, datolit, probertit, sasolit gibi minerallerdir [2].

Doğada az bulunmasına karşın dört yüzü aşkın kullanım alanının olması ve gelişen teknolojiyle kullanım alanlarının gün geçtikçe artması borun önemini ortaya koymaktadır. Bor başlıca; cam sanayinde, seramik ve emaye sanayinde, temizleme ve beyazlatma sanayinde, tarımda, metalürjide ve nükleer uygulamalarda kullanılmaktadır. Dünyada gelişen teknoloji adeta bor tüketiminin teşvikçisi olmakta ve gün geçtikçe gelişen yeni kullanım alanları bor'u dünya ekonomisinde biraz daha vazgeçilmez yapmaktadır. Dünya bor rezervinin yaklaşık %70'ine sahip olan Türkiye üretim bakımından ABD'den sonra ikinci sıradadır. Ülkemiz gerek kalite, gerekse miktar bakımından dünyanın en zengin yataklarına sahip olmasına rağmen, bor ürünleri ile rafine bor bileşiklerinin üretimi ve ticareti açısından olması gereken düzeyde değildir.

Dünya bor rezervleri hakkında oldukça farklı yayınlanmış bilgiler bulunabilmesine karşın, Eti Maden İşletmeleri tarafından verilen bilgiler dikkate alındığında, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında 369 milyon ton görünür, 807 milyon ton muhtemel ve mümkün olmak üzere toplam dünya bor rezervi 1,176 milyar ton olarak hesaplanmaktadır. Dünya toplam bor rezervinin yaklaşık %72,2'sinin Türkiye'de bulunması borun Türkiye için önemini açık olarak ortaya koymaktadır [3].

Türkiye'de, bor konsantresi üretimi Kütahya (Emet), Balıkesir (Bigadiç), Eskişehir (Kırka) ve Bursa (Mustafa Kemal Paşa)'da yapılmaktadır. Türkiye'deki tüm tesislerde bor konsantresi üretimi kırma-yıkama-sınıflandırma ve triyaj gibi fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile yapılmaktadır. Bor mineralinin oluşumu esnasında bor'larla birlikte çöken killer ana empüriteleri; dolayısıyla zenginleştirme işlemleri esnasında açığa çıkan atığı oluşturmaktadır. Killeri ayırma esnasında kullanılan fiziksel zenginleştirme yöntemleri sonucunda atık olarak killerin yanında bor da atılmaktadır [4]. Bu sebepten dolayı, bor içeriğine bağlı olarak bu atıklar ekonomik kayıp, çevre kirliliği, stoklama sorunları gibi problemlerle karşımıza çıkmaktadır. Kaybedilen atıklardaki B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cevherinin geri kazanılması gerekmektedir. Böylece kaybolan

atıktaki  $B_2O_3$  tekrar değerlendirilmesi ile ekonomik kayıp, çevre kirliliği ve stoklama sorunları en aza inecektir.

Bu çalışmada Eti Maden Emet Borik Asit Fabrikası atıklarından bor'un geri kazanılması (zenginleştirilmesi) amaçlanmıştır. Bunun için Emet Borik Asit Fabrika atıklarından olan Emet-Hisarçık Eski Atık (-3mm) Barajı'ndan alınan katı kolemanit numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Temin edilen numuneye, en uygun zenginleştirme metodunun bulunması için, yaş elek analizi uygulanmıştır. Yapılan yaş elek analizi sonuçları çizelge 6,3'de incelendiğinde atık barajındaki malzemenin %54'ü montmorillonit tipi kilden oluştuğu, bununda liç esnasında bor'un kazanılmasında engel oluşturduğu düşünülerek kalsinasyon-eleme ile zenginleştirilmesine karar verilmiştir. Optimum kalsinasyon şartlarının belirlenmesi için malzemeden hazırlanan 50'şer gramlık numuneler belirli sıcaklık ve sürelerde kalsinasyona tabi tutulmuştur. Kalsinasyon işlemi sonunda elde edilen her bir kalsine numuneler hem 0,50 mm hem de 0,25 mm lik eleklerden elenmiştir. İki farklı elek kullanılarak elde edilen kalsine konsantrelerine ve kalsine atıklarına  $B_2O_3$  analizleri yapılmıştır. Numunelere ait kalsinasyon analiz sonuçları çizelge 6,4-6,6'de verilmiştir. Başlangıçta ve kalsine-eleme sonrasında elde edilen numunelerin  $B_2O_3$  yüzdeleri volümetrik ile tayin edilmiş ve bunların verimleri de hesaplanarak verim-tenör değişim değerleri incelenmiştir. Her bir sıcaklık için zamana karşı yapılan verim-tenör değerlerinin karşılaştırılması şekil 6,2-6,6'da ve her bir elek içinde tenör-zaman ve verim-zaman grafikleri şekil 6,7-6,10'da sunulmuştur.

Yapılan bu çalışma sonucunda ağırlık kaybından yola çıkarak, 350°C ve 400°C'de 35 dakikalık bir süreye karşılık 450°C ve daha yüksek sıcaklıklarda 25'şer dakikalık süreler iyi bir kalsine için yeterli görülmüştür. Ayrıca bu laboratuvar ölçekli çalışmada zaman ve /veya kalsine atığındaki  $B_2O_3$  tenörü ve miktarı dikkate alındığında, 450°C sıcaklık ve 25 dakika süre sonunda 0,50 mm elekten elemeye %30,52  $B_2O_3$  tenörü ve %92,96  $B_2O_3$  kurtarma verimi ile kalsine konsantre üretimi yapılabilir.

## 2.BOR VE BOR MİNERALLERİ

### 2.1 Borun Tarihçesi

Arapça buraq/baurach, Farsça'da burah kavramı ile tanımlanan bor bileşikleri günümüzden altı bin yıl öncesinden, Babilliler döneminden bu yana bilinmektedir. Mısırlılar, Çinliler, Tibetliler ve Araplarda bu doğal kaynaktan yararlanmışlardır. Örneğin Mısırlılar ve Mezopotamya uygarlıkları bazı hastalıkların iyileştirilmesinde ve ölümlerin mumyalanmasında boraks kullanmışlardır. M.Ö. 800 yıllarında Çinlilerce porselen sırası olarak ve Himalaya topluluklarıncı değerli metallerin eritilmesinde boraks kullanılmıştır. İki bin yıl öncesinden gelen Arapça ve Farsça yazıtlarda borakstan söz edildiği ve sanstrikçe yazıtlarda tinkal deyimini "tincanaé" sözcüğünün karşıladığı bilinmektedir [5].

Modern boraks endüstrisi ise 13. yüzyılda boraksın Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesi ile başlar [6].

Bor ayrı bir element olarak ilk defa 1808'de Fransa'da Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humphry Davy tarafından bulunmuştur. 1892 yılında ise H. Moissan bor trioksiti magnezyum ile indirgeyerek % 95-98 saflıkta bor elde etmiştir [7].

1828 yılında Francesca Lardoret tarafından İtalya'da Tuscany yakınlarındaki sıcak su kaynaklarında borik asit varlığı saptanmıştır [5].

Endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği 1852'de Şili' de başlamış ve hemen hemen tüm dünya tüketimi bu kaynaktan karşılanmıştır. 1864 yılında Kaliforniya'daki tuzlu göllerde borun varlığı saptanmış ve aralıklı üretime geçilmiştir [6].

Ülkemizde ise ilk bor işletmeciliği 1865 yılında, Susurluk yakınlarında bir Fransız şirketi aracılığı ile başlamıştır [5].

Değişik ülkelerde 1927 yılına değin dağınık ve küçük ölçekli işletmeler biçiminde sürdürülen boraks madenciliği, bu dönemde Kaliforniya'daki boraks ve kernit yataklarının bulunması sonucunda değişmiş ve dünya tüketiminin büyük bölümü bu yataklardan karşılanmaya başlamıştır [5].

## 2.2 Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Periyodik cetvelin 13. gurubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor, doğada kütle numaraları 10 (%19,8) ve 11 (%80,2) olan iki kararlı izotopun karışımından oluşmaktadır [2].

Bor biri amorf ve altısı kristalin polimorf olmak üzere çeşitli allotropik formlarda bulunur. Alfa ve beta rombohedral formlar en çok çalışılmış olan kristalin polimorflardır. Alfa rombohedral yapı 1200 °C'nin üzerinde bozulur ve 1500 °C'de beta rombohedral form oluşur. Amorf yapı 1000 °C'nin üzerinde beta rombohedrala dönüşür ve her türlü saf bor ergime noktasının üzerinde ısıtılıp tekrar kristallendirildiğinde beta rombohedral forma dönüşür [8].

Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengidir. Ancak çok gevrek ve sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmastan sonra en sert elementtir [1].

Borun elektrik iletkenliği normal oda sıcaklığında düşük, yüksek sıcaklıklarda ise yüksektir [5].

Borun kimyası 13. gruptaki diğer elementlerden çok farklıdır. Bor ametaldir; kovalent bağ oluşturur. Alüminyum ve diğer grup 13 elementlerinden ziyade karbon ve silisyuma benzer. Karbon gibi çok sayıda hidrür ve silisyum gibi karmaşık yapılı oksijen içeren mineraller (boratlar) oluşturur [9].

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyona girmez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerken borik asit ve diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlama şeklinde olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur [1].

Kimyasal olarak ametal olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asitler ile soy davranışlar gösterirken, sadece yüksek konsantrasyonlu nitrik asit ile sıcak ortamda borik asite dönüşür. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek bor oksit ( $B_2O_3$ ), aynı koşullarda azot ile bor nitrat (BN) ve titanyum diborit ( $TiB_2$ ) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşturur [1].

Bor elementinin bazı özellikleri çizelge 2,1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Bor elementinin özellikleri [10 ve 11]

Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10,811
Erime noktası	2075 °C
Kaynama noktası	4000 °C
Erime ısısı	50,2 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	480 kJ/mol
Isı kapasitesi (25 °C)	11,087 J/mol.K
Özgül ağırlık	2,34 gr/cm <sup>3</sup>
Elektronegatiflik	2,04
Oksidasyon sayısı	3
1. İyonlaşma enerjisi	800,6 kJ/mol
2. İyonlaşma enerjisi	2427,1 kJ/mol
3. İyonlaşma enerjisi	3659,7 kJ/mol
Isıl genleşme katsayısı	5 -7 µm/m.K
Mohs sertliği	9,5

### 2.3 Bor Mineralleri

Yeryüzünün 51 yaygın elementi olan bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10–20 ppm, deniz suyunda 0,5–9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,001–1,5 ppm aralığındadır. Bor tabiatta serbest olarak bulunmaz. Bor elementi, doğada değişik oranlarda bor oksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) içeriği ile 250 den fazla mineralin yapısında yer almaktadır [1]. Buna rağmen, ekonomik anlamda en önemli bor mineralleri kalsiyum, sodyum, magnezyum elementleri ile hidrat bileşikleri halinde bulunur ve bu elementlerine göre sınıflandırılırlar. Bor minerallerinden ticari değere sahip olanları, tinkal, kolemanit, üleksit, probertit, borasit, pandemit, szaybelit, hidroborasit ve kernittir [2].



Kimyasal bileşimi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  olan boraks (tinkal) monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 2–2,5 arasında değişir. Özgül ağırlığı  $1,7 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Bor içeriği %11,3,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %36,5'dir. En belirgin özelliği suda kolay çözünmesidir. Çözünürlük ve çözünme hızı, su sıcaklığı ile artar. Genellikle renksiz ve saydam olmasına karşın, bünyesindeki diğer bileşenlere göre pembe veya sarımsı gri renklerde taşıyabilmektedir [12].

Kimyasal bileşimi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  olan kernit monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 2,5–3, özgül ağırlığı  $1,91 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Bor içeriği %15,8,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %50,9'dur. Boraksa göre suda daha yavaş çözünür. Renksiz ve saydamdır [12].

Kimyasal bileşimi  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  olan üleksit monoklinik sistemde kristallenir. Beyaza çalan hafif şeffaf görünüşünden dolayı üleksit, pamuk gülü olarak da adlandırılır. Sertliği 2,5 ve özgül ağırlığı  $1,96 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Soğuk suda az, sıcak suda ve asit içerisinde kolayca çözünür. Bor içeriği %13,8,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %43'dür [12].

Kolemanit minerali monoklinikdir. Kimyasal bileşimi  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dur. Beyaz-gri ve yeşilimsi gri gibi tipik renkleri vardır. Sertliği 4–4,5 ve özgül ağırlığı  $2,52 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Suda çok düşük bir çözünürlüğe sahip olup, asitte kolay çözünmektedir. Bor içeriği %15,7,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %50,8'dir [12].

Kimyasal bileşimi  $\text{H}_3\text{BO}_3$  olan sasolit (katı borik asit) triklinik sistemde kristallenir. Sertliği 1, özgül ağırlığı  $1,48 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Bor içeriği %17,5,  $\text{B}_2\text{O}_3$  içeriği %56,3'dür. Beyaz ve yağlı parlak görümlü kristaller şeklindedir [6].

İşletilen bor yataklarında bulunan diğer önemli bor mineralleri çizelge 2,2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Başlıca bor mineralleri ve özellikleri [12].

Mineralin adı	Formülü	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Dünyada bulunduğu yer
Tinkal (Boraks)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	36,5	47,2	Türkiye (Kırka), ABD (Boron, Kaliforniya), Arjantin
Tinkalkonit	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .5H <sub>2</sub> O	47,8	30,9	ABD (Kaliforniya), Türkiye, Arjantin
Kernit	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .4H <sub>2</sub> O	50,9	26,4	ABD (Boron, Kaliforniya), Arjantin
Üleksit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O	43,0	35,6	ABD (Kaliforniya, Nevada), Arjantin, Şili, Peru, Tibet, Türkiye (Bigadiç)
Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	50,8	21,9	Türkiye (Emet, Bigadiç, Kestelek), ABD (Kaliforniya, Nevada), Meksika
Pandermit	Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O	49,8	18,1	Türkiye
İnyoit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .13H <sub>2</sub> O	37,6	42,2	Kazakistan, Arjantin
Hidroborasit	CaMgB <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .6H <sub>2</sub> O	50,5	26,2	Rusya (Kafkaslar), Arjantin
Aşarit (Szaybelit)	Mg <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .H <sub>2</sub> O	41,4	10,7	Rusya ve Çin
Datolit	Ca <sub>2</sub> B <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>9</sub> .H <sub>2</sub> O	21,8	5,6	Kazakistan
Probertit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O	49,6	25,6	ABD (Kaliforniya)
Sasolit	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	56,3	43,7	İtalya (Tuscany)

## 2.4 Dünya Bor Rezervleri

Yayınlanmış bor rezervleri ile ilgili bilgiler arasında önemli farklılıklar olmakla birlikte Eti Maden İşletmeleri tarafından verilen bilgiler dikkate alındığında, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında 369 milyon ton görünür, 807 milyon ton muhtemel ve mümkün olmak üzere toplam dünya bor rezervi 1,176 milyar tondur. Türkiye'nin bor rezervi 227 milyon ton görünür, 624 milyon ton muhtemel ve mümkün olmak üzere toplam 851 milyon tondur. Dünya toplam bor rezervinde Türkiye'nin payı %72,2 olmaktadır. ABD ise 40 milyon ton görünür, 40 milyon ton muhtemel ve mümkün rezervle toplam bor rezervinin %6,8'ine sahiptir.

**Çizelge 2.3** Dünya bor rezervleri (Bin ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [3].

Ülke	Görünür ekonomik rezerv	Muhtemel mümkün rezerv	Toplam rezerv	Toplam rezervdeki pay (%)	Toplam rezerv ömrü (yıl)
Türkiye	227.000	624.000	851.000	72,20	567
ABD	40.000	40.000	80.000	6,80	53
Rusya	40.000	60.000	100.000	8,50	67
Çin	27.000	9.000	36.000	3,10	24
Arjantin	2.000	7.000	9.000	0,80	6
Bolivya	4.000	15.000	19.000	1,60	13
Şili	8.000	33.000	41.000	3,50	27
Peru	4.000	18.000	22.000	1,90	15
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	1,30	10
Sırbistan	3.000	0	3.000	0,30	2
TOPLAM	369.000	807.000	1.176.000	100,00	784

Çizelge 2,3'den de görüleceği üzere dünyanın en önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da bulunmaktadır.

ABD'deki bor rezervlerinin çoğu Kaliforniya Eyaletindedir. En önemli rezervler ise Kramer bölgesinde Boron'daki %75 tinkal ve %25 kernit içeren yataklardır. Bu cevherler civardaki rafinasyon tesislerinde işlenerek, borik asit ve diğer bor türevleri üretilmektedir [13].

Death Valley (Vadisi) bor yatakları Kaliforniya'nın kuzeyinde Nevada yakınlarındadır. Bu yataktaki bor mineralleri kolemanit, üleksit, probertitdir. Üleksit ve probertit birincil mineral, kolemanit ise ikincil mineraldir [12].

Searles Lake (Gölü) bor yatakları Mojave Çölü'nün doğusundadır. Gölü besleyen Owens Nehri ortalama 1 ppm düzeyinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermektedir ve yılda yaklaşık 800 ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> taşımaktadır. Bu bölgede sodyum borat rezervleri bulunmaktadır [12].

Kaliforniya’da San Bernardino şehrinin batısında düşük tenörlü iki kolemanit yatağı daha bulunmaktadır. Bu iki yatağın  $B_2O_3$  içeriği %5–17 arasındadır [14].

Ayrıca Utah’ta kolemanit içeren yataklar bulunmaktadır. Bu yatakların  $B_2O_3$  tenörü %20 dolaylarındadır [13].

Rusya’da bor yatakları Hazar Denizi’nin 250 km kuzeyinde Inder Gölü bölgesinde yer alır. Bu bölgedeki mineraller magnezyum boratlar (szaybelit ve hidroborasit) ile kalsiyum boratlardan (pandermit, inyoit, kolemanit) oluşmaktadır [5]. Inder bölgesindeki yataklara ek olarak Kafkasya’da ve Baykal Gölü yakınlarında da büyük yataklar bulunmuştur [13].

Çin ve Tibet’teki bor yatakları çok küçüktür ve haklarında çok az bilgi bulunmaktadır. Tibet’teki yataklar termal kaynaklar çevresinde oluşmuş yataklardır. En iyi bilinen yatak Keşmir yakınlarındaki Puga Vadisi yatağıdır. Çin’deki en önemli yatak Tainghai Eyaletinde Tsaidan Havzasındaki, Iksaydam Gölü yöresinde oluşmuştur. Çin bu yataklardan iç tüketimine yetecek kadar bor üretmektedir [12].

Arjantin bor yatakları küçük ve dağınık yataklar halindedir. En önemli yataklar Salar del Hombre Muerto Havzasındaki Tincalayu bölgesindedir. Bu bölgedeki en önemli mineral tinkaldir. Diğer bir yatak Salar de Pastos Grandes olup, kolemanit ve hidroborasit elde edilmektedir [5].

Şili, ülkenin batısında bulunan Antofugasta Eyaletindeki Salar de Ascotan bölgesinde üleksit yataklarına sahiptir [13].

Peru, Arequipa bölgesinin doğusundaki Laguna de Salinas’da üleksit yataklarına sahiptir [12].

## **2.5 Türkiye Bor Yatakları**

Türkiye’nin bilinen bor yataklarının tümü Batı Anadolu’da yer almaktadır. Günümüze dek saptanmış olan bor yatakları, Marmara denizinin güneyinde, doğu-batı doğrultusunda yaklaşık 300 km’lik ve kuzey-güney doğrultusunda ise 150 km’lik bir alan içinde Bigadiç, Sultançayır, Kestelek, Emet ve Kırka bölgelerinde bulunmaktadır. Kırka dışındaki tüm bor yataklarında kolemanit egemen mineraldir. Diğer taraftan bor yataklarının ayrıntılı mineralojisi önemli derecede farklılıklar gösterir [15].



Şekil 2.1 Türkiye’deki bor yatakları.

### 2.5.1 Sultançayır (Susurluk) bor yatağı

Türkiye’nin bilinen en eski bor yatağıdır. Bu yatakta egemen mineral pandermittir. Kolemanit ve havlit ise çok düşük ölçüde bulunmaktadır [5]. Yatak 1954 yılında rezervin bittiği gerekçesiyle kapatılmıştır [15].

### 2.5.2 Kırka bor yatakları

Kırka tinkal yatağı Eskişehir ilinin 60 km güneybatısında yer almaktadır. Yataktaki başlıca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu minerallere ilaveten yatakta tinkalkonit, tünelit, kurnakovit, inyoit, meyerhofferit ve hidroborasit mineralleri de oluşmuştur. Boraks konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer, yatağın merkezi olan Sarıkaya’dır [14]. Kırka boraks yatağı dünyanın en büyük rezervine sahip olup, yatağın ortalama  $B_2O_3$  tenörü %26–26,7’dir [1].

### 2.5.3 Emet bor yatakları

Emet bor yatakları Kütahya ilinin 60 km batısında yer almaktadır. Bölgedeki başlıca borat zonları; Hisarcık, Espey, Killik ve Harmanköy yörelerindedir. Yataklarda en çok bulunan bor minerali kolemanittir. Yan bor mineralleri olarak meyerhofferit, üleksit, tünelit, terugit, hidroborasit ve veatcit görülür [14]. Emet bor yataklarının  $B_2O_3$  içeriği yaklaşık %26-28’dir [1].

#### 2.5.4 Bigadiç bor yatakları

Bigadiç bor yatakları, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür ki bu özellik cevherin önemini artırmaktadır [14]. Yataklardaki kolemanit ve üleksitin  $B_2O_3$  içeriği ortalama %28-30'dur [1].

#### 2.5.5 Kestelek bor yatakları

Kestelek kolemanit yatağı Bursa ilinin Mustafa Kemal Paşa ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır. Yataklardaki başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, probertit, meyerhofferit, ve üleksit yan mineraller olarak görülür [14]. Yatağın ortalama tenörü %29-31  $B_2O_3$ 'dür [1].

### 2.6 Bor Ürünlerinin Başlıca Kullanım Alanları

Endüstride çok yaygın ve çok çeşitli kullanım alanlarına sahip bor bileşiklerinin önemi ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde 400 den fazla üründe vazgeçilmez bir element olarak kullanılmaktadır [16].

Ticari anlamda borlar, genelde içerdikleri  $B_2O_3$  içeriğine göre tanımlanmakta ve satılmaktadır. Diğerleri içinde en fazla ticareti yapılan bor ürünleri boraks pentahidrat ve borik asittir. Bor bileşiklerinin kullanım alanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [12].

#### 2.6.1 Cam sanayi

Günümüzde üretilen borun %40' ı cam ve fiberglas sanayinde tüketilmektedir. Borosilikat camlar bor bileşiklerinin önemli bir kullanım alanını oluşturur. Bor camın termal genişleme katsayısını düşürür ve ısıya dayanıklı hale getirir. Bor işlem sırasında, hammaddenin erime noktasını ve ergimiş ortamın vizkozitesini düşürür, camlaşmayı kolaylaştırır. Camın saydamlığını ve parlaklığını artırır. Camın kırılma indisini büyütür. Çizilmeye karşı dayanımı artırır [17]. Bu tip camlar fırınlarda, masa kaplamalarında, laboratuvar ve endüstriyel cam ürünleri üretiminde kullanılmaktadır [12].

Bor ayrıca kristalleşme eğilimini düşürmesi ve liflerin dayanıklılığını ve neme karşı direncini artırması nedeniyle cam elyafı üretiminde kullanılır. Cam elyafı her türlü yalıtımdan bilişim sektörüne kadar çok çeşitli alanlarda, farklı amaçlar için kullanılmaktadır [17].

### **2.6.2 Seramik ve emaye sanayi**

Bor özellikle, seramiklerin sırlanmasında ve emaye sanayinde kullanılır. Bu sektör Türkiye'nin en çok bor tükettiği alanlardan birini oluşturmaktadır. Bor, seramik malzemelerin sırlanmasında kullanıldığında özellikle silisin kolay erimesi ve seramik yüzeyine çabuk yayılmasını sağlar. Sır için kullanılan karışımda silis miktarı azaltılır, bor miktarı artırılırsa; sır daha sert, daha dayanıklı ve parlak bir görünüm alır. Ayrıca bor, emaye sanayinde emayelerin parlaklığını, sertliğini ve dayanıklılığını arttırmak amacıyla kullanılır [12].

### **2.6.3 Yanmayı geciktirici maddeler**

Borik asit ve boratlar yanmayı geciktirici özelliğinden dolayı tekstil üretiminde kullanılır. Ayrıca bor bileşikleri plastiklerde yanmayı önleyici olarak gittikçe artan oranlarda kullanılmaktadır. Bu amaç için kullanılan bor bileşiklerinin başında, çinko borat, baryum, metaborat, bor fosfatlar ve amonyum fluoborat gelir [12].

#### **2.1.6.4 Temizleme ve beyazlatma sanayi**

Dünya bor tüketiminin yaklaşık %20' si sabun, deterjan gibi temizlik ürünlerinin üretimine yöneliktir [17]. Sabun ve deterjanlara mikrop öldürücü ve su yumuşatıcı etkisi nedeniyle %10 boraks dekahidrat ve beyazlatıcı etkisini arttırmak için toz deterjanlara %10–20 oranında sodyum perborat katılmaktadır. Çamaşır yıkamada kullanılan deterjanlara katılan sodyum perborat aktif bir oksijen kaynağı olduğundan etkili bir ağartıcıdır [14].

### **2.6.5 Tarım**

Bütün bitkilerin büyümeleri için bir miktar bora ihtiyaçları vardır. Çok az miktardaki bor bitkilerin gelişmesine yardım eder. Toprakta 0,5–1 ppm'in altında bor bulunması bor eksikliği yaratmaktadır. Bu nedenle gübrelere katılır. Toprakta 2–4 ppm'den fazla bor bulunması bitkiler için öldürücü etki yapar. Bu özellikten yararlanarak, yabancı otlar ile mücadelede kullanılır [12 ve 17].

### **2.6.6 Metalurji sanayi**

Boratlar; yüksek sıcaklıkta düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma nedeniyle özellikle demir dışı metal sanayinde cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılır. Bor bileşikleri; elektrolitik kaplama sanayinde, banyo bileşimlerinde kullanılmaktadır. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise

kalay, kurşun, bakır, nikel gibi demir dışı metal banyo bileşimlerinde kullanılmaktadır. Çelik endüstrisinde çeliğin sertleştirilmesinde bor kullanılır. 50 ppm'e kadar bor çeliğe gerekli sertliği verebilir. Özel amaçlar için, çeliğin dış yüzü bor ile sertleştirilebilir. Bu işlemde bor yüzeyden içeri doğru işleyerek karbon veya nitrürlü çelikten daha dayanıklı  $Fe_2B$  ve  $FeB$  yi oluşturur. Bu tip çelik, su ile temas eden hareketli parçaların imalinde kullanılır [12].

Kanada, Almanya, Japonya ve Türkiye' de çelik üretiminde florit yerine kolemanit kullanılmaktadır [8].

Ayrıca stabor seramiği diye bilinen bor bileşiği metal ergitmede kullanılan potaların yapılmasında, daha dayanıklı olması nedeniyle zirkon potaların yerine kullanılmaktadır. Bor bileşiklerinin düşük özgül ağırlıklı ve yüksek dayanımlı olmaları bu bileşiklerden elde edilen fiberlerle desteklenmiş plastik ve metallerin çeşitli endüstri dallarında kullanılmalarını artırmaktadır. Örneğin uçak kanatları, helikopter pervaneleri, dar temel üzerine oluşturulmuş yüksek binalar, asma köprüler ve benzeri yapılar bu tip fiberler ile desteklenmiş plastik ve metallere yararlanılarak yapılabilmektedir [12].

### **2.6.7 Nükleer uygulamalar**

Bor karbür 2450 °C'de eriyen, kimyasal reaksiyonlara ve radyasyona duyarlı, oldukça sert bir malzemedir. Özgül ağırlığının 2,4 olması yanında, elmas ve bor nitrid'den sonra en sert ve dayanıklı malzeme olması, uçak ve diğer askeri araçların yapımında kullanılmasını sağlar yine bor karbür nükleer enerji santrallerinde, nötron emici özelliği nedeniyle denetim çubukları yapımında kullanılan önemli bir maddedir [12]. Ayrıca nükleer atıkların depolanması için kolemanit kullanılır [8].

### **2.6.8 Diğer kullanım alanları**

Bu kullanım alanları dışında bor bileşikleri; fotoğrafçılıkta, ilaç endüstrisinde, dokumacılıkta, döküm ve kaynakçılıkta, boya ve kâğıt endüstrisinde, alçı ve benzeri maddelerin katılaşmasının geciktirilmesinde, plastik yapımında, dericilikte, sondaj çamurunda katkı malzemesi olarak, lastik ve lâteks endüstrisinde pH kontrolünde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır [12].



### 3. BOR ATIKLARININ ÇEVREYE ETKİLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 3.1 Bor Üretiminden Kaynaklanan Çevre Sorunları

Bor ürünlerinin çevreye olumsuz etkileri diğer sanayi sektörlerine oranla çok daha düşük düzeydedir. Hatta, kemoterapi sonrası radyoaktif maddelerin etkisini azaltmak üzere kullanım, insan ve canlılara gerekliliği nedeniyle çevre dostu sayılabilecek elementlerdendir. Birçok ülkede mineral takviyesi amacıyla insanlar için bor tabletleri üretilmeye başlanmıştır. Tarımda kullanımı da aynı şekilde gelişime açık görülmektedir [18].

Bor, insanlarda beyin gelişiminden kemik gelişimine, menopozdan alerjiye ve metabolizmaya kadar birçok işlevinden dolayı günlük olarak alınması gereken elementlerden birisidir. İnsanlar günlük bor ihtiyacını sularından ve yiyeceklerden karşılamaktadır. İnsanlar tarafından günlük alınan bor miktarı 1,2 mg/gün olarak tahmin edilmektedir. Global düzeydeki içme sularında kabul edilen bor seviyesi ise 0,1 – 0,3 mg/l'tir. Yetişkin insanların, güvenilir olarak alabileceği bor miktarı ise 1–13 mg/gün olarak kabul edilmektedir. Borların insan ve hayvanlarda kansorejen etkisi ise yoktur [18].

Maden ve proses tesislerinde çalışan işçilerde yapılan testlere göre bu tür işlerde çalışmayan işçilere nazaran aşağıdaki oranlarda akut etki görülmüştür.

Burun tahrişi RR= 8,8

Boğaz tahrişi RR= 5,2

Göz tahrişi RR= 2,9

Öksürük RR= 1,7

Solunum güçlüğü RR= 7,1

Ancak devam ettirilen gözlemler sonucunda, bu etkilerin ilgili işyerlerinden ayrıldıktan sonra herhangi bir sekel bırakmadan düzeldiği görülmüştür. İşçiler için kabul edilebilir eşik değer limiti ise, TLV= 10 mg borat/m<sup>3</sup> olarak verilmekte ve bunun toz standartlarına da uyduğu belirtilmektedir [18].

B.S.Şaylı tarafından yapılan araştırmalarda borun insan sağlığına olumsuz etkisi kesin olarak tespit edilmiştir [18].

Bitkilerde ve hayvanlarda eksikliği de bazı sorunlara yol açmaktadır. Dolayısıyla, tüm canlıların bor'a hayati ihtiyacı vardır. Bor, ağızdan alındığında düşük toksitite değerine sahiptir. Borların canlılara etkisi konusundaki araştırmalar yetersiz olmakla birlikte, birçok canlının bor'u tolere edebilme kapasitesinin yüksek olduğu görülmektedir [18].

Bor'un çevreye olumsuz etkisini azaltmak için, bor ürünlerinin nakliyesinde kullanılan tüm vasıtalar, sızdırmaz, tozlaşmaya ve dökülme gibi kirlenmeye ve zayıyata neden olmayacak şekilde seçilmelidir [18].

Cevher zenginleştirme ve rafinasyon işlemleri esnasında oluşan bor içeren sıvı atıkların sızdırmaz gölet veya barajlarda depolanması, katı atıkların ise yine çevreyi kirletmeyecek şekilde muhafaza edilmesine özen gösterilmelidir [18].

Atık barajlarında toplanan bor atıklarının sanayide kullanımı için gerekli araştırmalar yapılmalı ve ilgili endüstri dalları ile ortak projeler geliştirilmelidir [18].

### **3.2 Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri**

Cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıklar genellikle ince boyutlu katı ve pülp halindedir. Çevre bilinci gelişmeden önce bu atıklar maden alanlarının yakınındaki sahalara, atık barajlarına, denizlere, göllere ve nehirlere boşaltılmaktaydı. Günümüzde ise zenginleştirme tesis atıklarından yararlanmak veya eğer bu mümkün değilse atıkların çevreye zarar vermeden uygun biçimde bertaraf etme yoluna gidilmektedir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, Dünyanın birçok ülkesinde araştırmacılar ve işletmeler bu konuda yoğun çaba harcamaktadır. Yapılan araştırmalar daha çok yapı malzemeleri üretimine, cam ve seramik endüstrilerine hammadde hazırlamaya yöneliktir [18 ve 19].

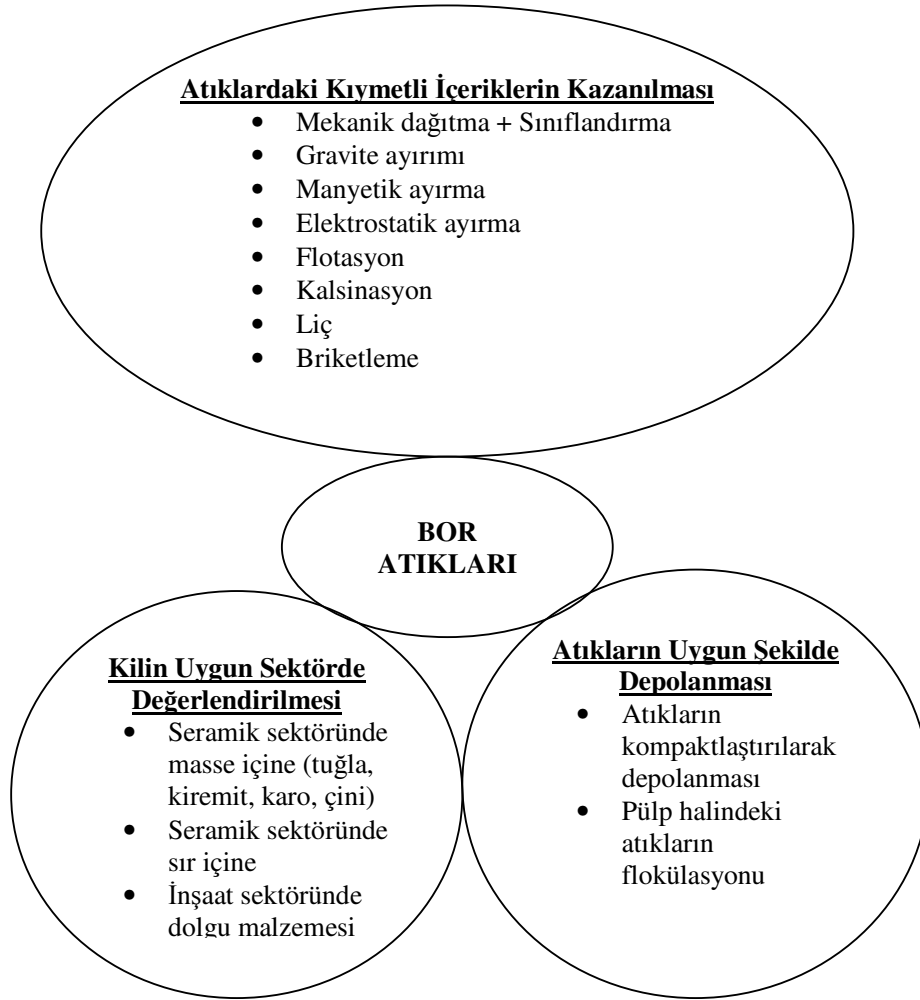
Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile cevherin ekonomik tenörleri aşağılara çekilmekte, atık konumundaki birçok depolanmış yığın da bu sayede değerlendirilmektedir. Buna göre atıkların atılmasında gelecekte muhtemel değerlendirme olanakları göz önünde bulundurulmalıdır. Bor atıkları bu konumda belki de en önde gelen atıklardan biridir. Bu nedenlerden dolayı bor atıkların depolanmasına azami önem göstermek gereklidir [18 ve 19].

Atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesinde elde edilecek avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [18 ve 19]:

- Atıkların stoklanmasından doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak, yani atıkların atıldıkları göletlerin yapımı için işletmeler büyük paralar ödemeyecek,
- Çevre kirliliği en aza inecek,
- Hâlihazırda büyük bir potansiyel olan stoklar ülke ekonomisine kazandırılacak, yani bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünle ek bir kazanç sağlanacak,
- Atıkların yeraltı ve yerüstü sularını kirletmesi önlenecektir.

Bor atıklarının değerlendirme çalışmaları bor'un geri kazanımı, uygun sektörde hammadde ve katkı maddesi olarak kullanılması ve uygun bir şekilde depolanması başlıkları altında toplanmıştır. Bor atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar, bor atıkları için en uygun değerlendirme şeklinin, öncelikle atıktaki bor'un geri kazanılması ve geriye kalan kil içerikli mineralin uygun sektörlerde kullanılabilir hale getirilmesidir [20].

Bor atıklarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler şekil 3,1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Bor atıklarının değerlendirilmesinde mevcut seçenekler [18]

### 3.2.1 Atıklardan bor'un geri kazanılması

#### 3.2.1.1 Katı atıklardan bor'un geri kazanılması

Genelde bor atıklarına, zenginleştirme sırasında atığa kaçan bor'un tekrar kazanılması amacıyla:

- Suda bekletme + sınıflandırma,
- Gravite yöntemleri,
- Manyetik ayırma,
- Elektrostatik ayırma,

- Soda liçi,
- Çözeltme + flokülasyon,
- Flotasyon,
- Isıl işlem(kalsinasyon, dekrepitasyon)
- Briketleme

yöntemleri uygulanmaktadır [21, 22, 23, 24 ve 25]. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği [26 ve 27] ve atıklardaki bor'un doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve önemli neticeler alınmıştır [28].

Bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma + sınıflandırma yöntemleri ancak iri boyutlara uygulanabilmekte, ince boyuttaki (-0,5 mm) %15–20 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir [29 ve 30].

Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve para manyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir [31, 32 ve 33].

Aytekin ve Badruk (1992) American Borate Corporation şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve kalsinasyon yöntemlerini kullandığını bildirmiştir [34].

Flotasyonla yapılan bor zenginleştirmede mekanik dağıtma ve sınıflandırma ile kil içerikli şlamın atılması ve doygun bor çözeltilerinde çalışılması gereği üzerinde durulmaktadır [35 ve 36]. Şlam halinde bulunan kilin bor mineralleri üzerine şlam kaplama mekanizması nedeniyle flotasyon verimini düşürdüğü kanıtlanmıştır [30]. %5 oranında kil varlığında bile flotasyon verimi büyük ölçüde düşmektedir [37]. Kilin kolemanit yüzeyine elektrostatik çekim vasıtasıyla yapıştığı tespit edilmiştir [38].

Bor minerallerine 350-550°C'de kristal sularını uzaklaştırması amacıyla yapılan işleme kalsinasyon (dekrepitasyon) denmektedir. Bor mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olduğu yanında çevre kirliliği meydana getirmediği belirtilmektedir [39]. Aytekin ve Badruk (1992) konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkların kalsinasyon ile zenginleştirilmesinin TÜBİTAK tarafından proje kapsamında çalışıldığını ve hatta Etibank'ın Banaz'da pilot çapta bir tesiste denemeler yaptığını bildirmektedir. Araştırmalar bor atıkları içindeki bor'un kalsinasyon yöntemi ile

kazanılabileceğini göstermiştir [24 ve 34]. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır [40, 41, 42 ve 43].

İster ham cevher olsun ister konsantre olsun boratların çok ince boyutta (-0,5 mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaca yönelik olarak üleksite, boraksa ve kolemanite boyut kazandırma çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalardan çıkan ortak sonuç, tanelerin suyla veya borik asitle nemlendirilmesi ile istenen özellikte biriketler elde etmek mümkün olduğu yönündedir [29, 44, 45, 46 ve 47].

### **3.2.1.2 Sıvı atıklardan bor'un geri kazanılması**

Ülkemizde bor'un kazanımı sırasında uygulana yıkama, buharlaştırma ve kristalizasyon teknikleri esnasında bor kaçakları olmaktadır. Ayrıca bor işleme ve üretim fabrika atık sularının yanında bor içeren jeotermal atık sulardan ve bor maden yataklarının drenaj sularından da ciddi bor kayıpları meydana gelmektedir. Bu işlemler sırasındaki bor kaçakları 19 ppm'e kadar çıkabilmektedir. Bitki ve hayvanlar için gerekli bir mikro besin hammaddesi olan bor'un 5 ppm'in üzerinde olması, bitkiler üzerinde toksit etki yapmaktadır. Teknolojik olarak çok çeşitli ve yaygın bir kullanım alanına sahip bor'un atık sulardaki bu denli yüksek konsantrasyonu, çevreye verdiği zararın yanında aynı zamanda ekonomik bir kayıptır. Gelişmiş teknolojilerde çok düşük bor içeren göl sularından bile bor ekonomik olarak geri kazanılabilmektedir. Dolayısıyla çevre ve ekonomik boyutları ele alındığında, bor içeren atık sulardan bor'un ekonomik bir şekilde uzaklaştırılması veya geri kazanılması gerekmektedir [48, 49 ve 50].

Bor kaçaklarını geri kazanmak yukarıda sayılan klasik yöntemlerle mümkün değildir. Bor'un sudan ve atık sulardan uzaklaştırılması için birçok fizikokimyasal işlem gerektirir. Bunlar:

- Bir inorganik adsorplayıcı ile adsorpsiyon
- İyon değiştiriciler
- Sıvı-sıvı ekstraksiyonu
- Sıvı-sıvı ekstraksiyonu ve adsorpsiyon kombine prosesi
- Membran prosesleri
- Ultra filtrasyon

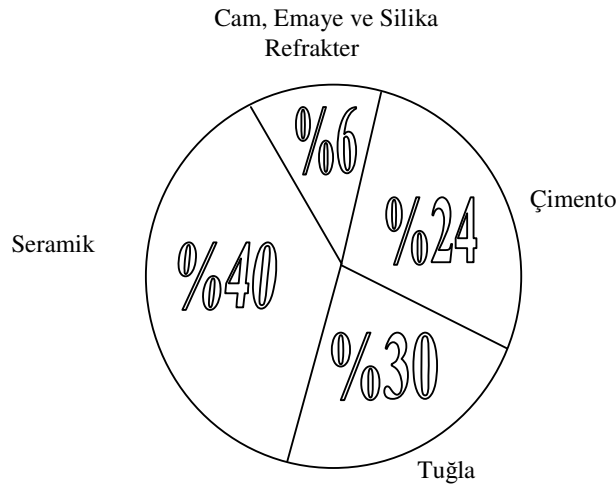
gibi tekniklerdir. Günümüzde bor içeren sulu çözeltilerden bor'un uzaklaştırılması veya geri kazanılması için en hızlı ve ekonomik teknik sıvı-sıvı ekstraksiyon tekniğidir [48, 49 ve 50].

### 3.2.2 Atıkların uygun sektörlerde kullanılması

Bor atıklarının kil içeriği bakımından zengin oluşu, söz konusu atıkların değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmaları; esas hammaddesi kil olan seramik başta olmak üzere, tuğla ve çimento sektörüne yönlendirmiştir. Atık killerin uygun sektörde değerlendirilmesi ile hem sektöre ek hammadde kaynağı sağlamakta hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler en aza indirilmektedir. Bu gibi çalışmalarda, bor atıklarından yeni bir ürün eldesinin yanında, bu ürünlerin fiziksel ve fizikomekanik özellikleri üzerindeki etkisine yer verilmesi dikkat çekilmesi gereken bir diğer husustur [18, 20 ve 51].

Bugüne kadar bor atıkları seramik sektöründe firit ve sır üretimi, çini hamuru ve döküm çamuru yapımı, yer ve duvar karosu üretiminde; yapı sektörü (inşaat sektörü vb) için çimento, beton ve tuğlaya katkı malzemesi; yol, baraj ve köprü yapımında dolgu malzemesi; cam, emaye ve silika refrakterler için, hammadde ve katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bor atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili bilimsel araştırmaların özellikle seramik sektöründe yoğunlaştığını, onu tuğla ve çimento üretim çalışmalarının izlediği görülmüştür [20 ve 52].

Bor atıklarının çeşitli sektörlerde hammadde veya katkı maddesi olarak kullanımına göre dağılımı şekil 3,2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Bor atıklarının sektörel bazda dağılımı [20]

### **3.2.3 Atıkların uygun bir şekilde depolanması**

Atıkların atık sahasında çok fazla yer kaplamaması ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla preslenerek kompaktlaştırılabilir [53].

Atıkların göletlere verilmeden önce uygun flokülasyonu ve koagülasyon yöntemleriyle katı-sıvı ayırımına tabi tutulur. Susuzlaştırma ile göletlerin hızlı bir şekilde dolması engellenebileceği gibi elde edilen sıvı tekrar kullanılmak üzere tesise de beslenebilecektir. Atıkların diğer sektörlerde kullanılabilmesi için de susuzlaştırma işleminin gerekliliği göz ardı edilmemelidir [54 ve 55].



#### 4. KOLEMANİT CEVHERİNİN KALSİNASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Düşük tenörlü kolemanit cevherinde arınması gereken mineraller genellikle kil, marn ve kalkerdir. Bunların sertliği ve özgül ağırlığı kolemanit ile kıyaslanacak olursa:

Mineral	Bileşimi	Sertlik	Özgül Ağırlık
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	4 – 4,5	2,4
Kalsit	$\text{CaCO}_3$	3	2,6
Montmorillonit	$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$	1	2,1

Marn'ın sertliği ve özgül ağırlığı, içindeki kil miktarının artışı ile kalsitinkilerden aşağıya doğru düşecektir [56].

Yukarıdaki değerlerin izleniminden, kolemanit'in trommelerde yıkanması ile suyun yardımı ile şişen ve dağılan kilden, arınmasının kolay olacağı, buna karşılık kalker ve marn'ın özgül ağırlık farkından faydalanan usullerle dahi ayırlamayacağı anlaşılır [56].

Kolemanit'in ilginç bir özelliği de yüksek sıcaklıkta parçalanarak dağılmasıdır. “Kalsinasyon” ile adlandırılan bu terim, bir maddeyi ergime sıcaklığının altındaki yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtarak fiziksel ve kimyasal yapısını ısı olarak bozma ya da faz değişimi işlemidir. Bu yolla maddedeki kristal suyu, karbondioksit, kükürt dioksit ve diğer uçucu unsurlar buharlaştırılarak uzaklaştırılır ve geriye oksit bileşikleri kalır. Bu arada bazı kükürtlü cevher mineralleri oksitlenir ve yine kükürtlü gazlar salınır [57]. Bu kalsinasyon işlemi sonucunda bazı minerallerin kimyasal yapılarında meydana gelen değişikliğe bağlı olarak fiziksel özelliklerinin değişimi, bunların diğer minerallerden ayrılmasında etken olmaktadır. Kalsinasyon ile, manyetik özelliklerin değişimi, gözenekliğin (porozitesinin) değişimi, dağılma (parçalanma) buna örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca, liç öncesinde uygulanan kalsinasyonla, bazı minerallerin (sülfürlü mineraller vb) çözünürlükleri artırılmakta ve fazla reaktif sarfına yol açan bazı minerallerin (karbonatlı mineraller vb) zararlı etkileri de ortadan kaldırılmaktadır [58].

Kolemanit cevheri belirli sıcaklık ve sürelerde kalsinasyona tabi tutulduğunda içerdiği kristal suyunu dışarıya ısı vererek uzaklaştırmaktadır. Bu reaksiyon, dehidrasyon olarak nitelendirilmektedir. Bünyesindeki suyu bırakarak dehidre olan kolemanit cevheri, mikronize boyutta ufalanmaktadır. Kolemanit mineralinin kimyasal formülü  $2\text{CaO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  olup, bu formüle göre 1g  $\text{B}_2\text{O}_3$  0,431 g kristal suyu içermektedir. Kalsine olan kolemanit minerali

mikronize olup ufalanırken, diğer taraftan, esas safsızlık olan killer ise kalsinasyon sıcaklığının etkisi ile amorf yapısını terk ederek, daha şekilli bir yapıya bürünmektedir. Yapısal değişim sonucunda ufalanarak kalsine olmuş kolemanit minerali eleme veya havalı ayırma ile ayrılıp, zenginleşmeye tabi tutularak kalsine konsantresi üretimi yapılabilmektedir [4].

Kalsinasyon metodu ile zenginleştirme ABD de uygulanmıştır. Kolemanit, üleksit, kil ve kalker karışımı olan bir cevher, önce 18 mm'ye kırılmakta ve bir döner fırında 800°C'ye ısıtılmaktadır. Dağılan kolemanit ve bir miktar ince kil, 24 meş'lik bir elekten elendikten sonra pnömatik sarsıntı tablalarında zenginleştirilmektedir. Elek üstü ise kalsine üleksit ile gang minerallerinden oluşmaktadır. Bu karışımdan da jig ve tablalarda üleksit konsantresi elde edilmektedir. Son zamanlarda alınan patentler ise, kolemanit'in akışkan yataklı fırınlarda kalsine edilerek havalı siklonlarla tutulmasını öngörmektedir[56, 59 ve 60].

Ayrıca, bor atık malzemesinin direkt olarak sülfürik asit ile çözülmesi (liç metodu) yerine kalsine edildikten (kalsinasyon metodu) sonra çözülmesi yoluyla daha verimli sonuçlar alınmaktadır. Yani bor minerallerinin termal bozundurmaya uğratılıp dehidratize hale getirilmesi durumunda sulu veya asitli ortamdaki çözünürlük değerleri etkili bir şekilde arttığı gözlenmiştir [61 ve 62]. Çünkü bu atık malzemesinin liç yoluyla kazanılmasına engel olan iki sebep vardır. Bunlardan birisi, sülfürik asit liçi esnasında, ince kil parçaları kolemanitin yüzeyini kaplayarak kolemanitin asit ile temasını önlemesi sonucu liç reaksiyonunun oluşmasını engellemesi; ikinci sebep ise liç esnasında killer katı-sıvı ayrımında filtrelerin gözeneklerini tıkayarak sıvı geçişini engellemesi sonucu katı-sıvı ayrımının sağlanamamasıdır. Kalsinasyon yönteminin uygulanmasıyla bu problemlerin giderilmesi sağlanabilmektedir [4]. Yapılan bir çalışmada, doğal bor minerallerinin sulu ortamda çözünürlükleri kolemanit, pandemit, ve tünellit için sırası ile % 22,90; % 10,02 ve %46,52 iken aynı bor minerallerinin 500°C sıcaklıkta kalsine edilmesi durumunda da sulu ortamdaki çözünürlükleri sırası ile 52,34; 48,41 ve 81,50 olarak bulunmuştur [61 ve 62].

Kalsinasyon işleminin diğer zenginleştirme yöntemlerine göre diğer bir avantajı da, kalsinasyon işlemi sonucunda çıkan atığın katı fazda olmasıdır. Çünkü bu katı atıkların atık barajları yerine tumba sahalarında katı olarak depolanması hem atık bertaraf maliyetini düşürecek hem de çevresel sorunların asgari düzeye indirilmesini sağlayacaktır. Ayrıca borik asit üretiminde daha düşük kil içerikli hammadde kullanılması, üretimde kapasite ve verimin artmasına neden olacaktır [63].

Kalsinasyonun yüksek sıcaklıklarda yapılmamasına dikkat edilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda yapılması üç nedenden tercih edilmemektedir. Bunlardan ilki, 550°C'nin üstünde kalsine kolemanit parçacıkları sinterleşmektedir. İkinci neden ise, malzeme içindeki sülfürlü mineraller yüksek sıcaklıklarda oksitlenmekte ve bu durum, asit liçi esnasında oksit minerallerinin kolayca çözünerek çözeltiliye geçmesinden dolayı istenmeyen bir durumdur. Üçüncü ve son olarak, kalsinasyon sıcaklığının yüksek olması maliyeti de etkileyeceğinden ekonomik olmayacaktır. Bunun için kalsinasyon sıcaklığının düşük seviyede tutulması tercih edilmektedir [4 ve 64].

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların hepsi Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Kütahya-Emet Bor İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün Merkez Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

### 5.1 Deneyde Kullanılan Materyaller

Deneyde kullanılan materyaller Kütahya-Emet Bor İşletmesinin merkez Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

#### 5.1.1 Kullanılan cihaz ve düzenekler

Titreşimli yaş elek cihazı; farklı boyutlarda elekler (3,15 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm ve 0,075 mm'lik elekler); bıçaklı ayırıcı; etüv; fırın; hassas terazi; kapaklı alüminyum kap (silindir şeklinde r = 3,75 cm; h = 3 cm); dijital büret; desikatör; hot plate (ısıtıcı tabla); X-RF cihazı (Rigaku ZSX Primus marka) ve diskli öğütücü

#### 5.1.2 Kullanılan kimyasal maddeler, çözeltiler ve hazırlanışı

Derişik HCl asit; %0,1'lik Fenolftalein indikatörü; %0,1'lik Metil Red indikatörü; 0,5 N NaOH çözeltisi; (1:1) oranında Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve NaHCO<sub>3</sub> karışımı; Mannitol ve saf su

##### 5.1.2.1 0,5 N NaOH çözeltisinin hazırlanışı

20 g NaOH tartılarak, saf suda çözülür. 1 litreye tamamlanır. Hazırlanan çözelti H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>'e karşı ayarlanır.

*0,5 N NaOH çözeltisinin H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>'e karşı ayarlanması:* 250 mL'lik erlenlere 0,4–0,5 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> tartılır. (8–10 adet) Her bir numuneye 60–75 mL saf su ilave edilir. Kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dakika kaynatılır. Su banyosunda soğutulur. Soğutulan çözeltiliye 3–5 damla Metil Red, 3–5 damla Fenolftalein damlatılır. 4–5 g Mannit ilave edilerek renk soğan kabuğuna dönene kadar 0,5 N NaOH ile titre edilir.

$$F = \frac{T}{0,03092 \times S}$$

Not: Borik asit tartılmadan önce 50°C'de 6 saat kurutulur.

### 5.1.2.2 İndikatörlerin hazırlanışı

%0,1'lik Metil Red: 1g tartım alınır. 750 mL etil alkolde çözülür. Saf su ile 1L'ye tamamlanır.

%0,1'lik Fenolftalein: 1 g tartım alınır. 600 mL etil alkolde çözülür. Saf su ile 1L'ye tamamlanır.

## 5.2 Numunenin Kimyasal Analiz Metotları

Numunenin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> analizleri volümetrik, diğer safsızlıkların (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SrO, SO<sub>4</sub> ve As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) analizleri ise XRF metotla yapılmıştır.

Numunenin kimyasal analizi sonuçları çizelge 6,1'de verilmiştir.

### 5.2.1 Volümetrik yöntem ile kolemanit'te B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> analiz metodu

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> analizi Eti Maden Kütahya-Emet bor İşletmeleri Genel müdürlüğü'nün Merkez Laboratuvarı'nda uygulanan yöntemle yapılmıştır.

Numune 105°C'de etüvde 2 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numune diskli öğütücüden geçirilerek (veya havanda öğütülerek) pudra haline getirilir. Tekrar aynı sıcaklıkta yarım saat kurutulur. Bu numuneden 1 ± 0,2 g tartım alınarak 250 mL'lik bir erlene konur. Bunun üzerine 50–60 mL saf su ve 5–10 mL derişik HCl asit ilave edilir. Erlenin üstü saat camı ile kapatılıp 10 dakika ısıtıcıda (hot plate) kaynatılır. Kaynama bittikten sonra Metil red damlatılır. Renk sarıya dönüncüye kadar azar azar Sodyum karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ve Sodyum bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) karışımı ilave edilir. Ortam nötre yakın bazik olmalıdır (karbonat fazla eklenmiş ise asitlendirilip tekrar ayarlanır). Birkaç dakika tekrar kaynatılır ve soğutulur. Soğutulduktan sonra adi süzgeçten süzülür. Süzgeç kâğıdı üzerindeki çökelek saf su ile 6–7 kez yıkanır. Süzüntü hafif asitlendirilip 20 dk kaynatılır ve soğutulur. Soğuyan çözelti faktörü ayarlanmış 0,5 N NaOH ile soğan kabuğu rengine gelene kadar nötrleştirilir. Üzerine 5–10 damla fenolftalein ve 10–15 g mannit eklenir. Faktörü ayarlanmış 0,5 N NaOH ile renk kırmızıdan sarıya, sarıdan soğan kabuğu rengine dönene kadar titre edilir. Aşağıdaki formülle B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüzdesi hesaplanır:

$$\%B_2O_3 = \frac{0,017405 \times (S-S_0) \times F}{T} \times 100$$

$S = 0,5 \text{ N NaOH sarfiyatı (mL)}$

$F = 0,5 \text{ N NaOH faktörü}$

$T = \text{Numune miktarı (g)}$

$S_0 = \text{Numune hariç aynı reaktifler kullanılarak yapılan kör denemenin sarfiyatı (mL)}$

### **5.2.2 XRF metodu**

X-ışınları Floresans Spektroskopisi, analizi yapılacak numunenin iç kabuk boşluğunun X-ışınları kullanılarak oluşturulması ve bu boşluğun dış kabuk elektronları tarafından doldurulması sırasında yayılan X-ışınlarının ölçülmesi ilkesine dayanır. Örneğe gönderilen X-ışınları, numuneden yayılan X-ışınlarından daha büyük enerjiye ve daha büyük dalga boyuna sahiptir. Floresans ışımının şiddeti, numune tarafından absorblanan ışımının fonksiyonudur ve örneğin derişimi ile doğru orantılıdır [65].

X-ışınları Floresans Spektroskopisi ile katı, sıvı ve gaz numuneler analiz edilebilir. Katı numuneler toz haline getirildikten sonra bir bağlayıcı ile yüksek basınçta preslenerek tablet haline getirilir. Çözeltiler plastik veya hafif elementlerden yapılmış metalik hücreler içinde numune bölmesine yerleştirilir. Gaz numuneleri için yüksek basınca dayanıklı kaplar kullanılır [65].

X-ışınları Floresans Spektroskopisi ile nitel analizde floresans şiddeti veya şiddetin logaritmasına karşı dalga boyu, enerji veya kanal sayısının kaydedildiği spektrumlar, bilinen spektrumlarla karşılaştırılır [65].

### **5.3 Yapılan Çalışmalar**

#### **5.3.1 Numunenin temini**

Üzerinde çalışma yapılan numune, Eti Maden Kütahya-Hisarçık Konsantratör Tesisi Eski Atık (3 mm elekaltı) Barajı'ndan bizzat işletmeye gidilerek temin edilmiştir.

#### **5.3.2 Numunenin analizi**

Kütahya-Hisarçık Konsantratör Tesisi Eski Atık Barajı'nı temsil edecek şekilde yaklaşık 40–50 kg numune alınmıştır. Bu alınan numune bıçaklı ayırıcıdan geçirilerek yaklaşık 1 kg temsili numune hazırlanmıştır. Bu temsili numuneden, numunenin tanınması için kimyasal analiz ve yaş elek analizi uygulanmıştır. Bu analizler Eti Maden Kütahya-Emet Bor İşl. Gen. Müdürlüğü'nün Merkez Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

##### **5.3.2.1 Numunenin kimyasal analizi**

1 kg temsili numuneden, numunenin kimyasal analizi yapılmıştır.  $B_2O_3$  analizi volumetrik metotla, diğer empüriteler ise XRF metoduyla analiz edilmiştir. Numunenin kimyasal analiz sonuçları çizelge 6,1'de sunulmuştur.

##### **5.3.2.2 Numunenin yaş elek analizi**

1 kg temsili numuneden 600–650 g alınarak yaş elek analizi yapılmıştır. Bunun için üstten püskürtmeli titreşimli elek cihazı kullanılmıştır. Elek boyutları olarak 3,15 mm; 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm ve 0,075 mm elekler kullanılmıştır. Yıkama, en alttaki (0,075 mm'lik) elekten geçen su berrak akıncaya kadar sürdürülmüştür. Yıkama suyu kovalarda biriktirilip süzümüştür. Yıkama işleminden sonra eleklerde kalan ve süzüntüde kalan numuneler 105°C de 4 saat süreyle etüvde kurutulup tartılmıştır. Elek fraksiyonlarının tamamında % $B_2O_3$  analizi yapılmıştır. Ayrıca tane boyut aralıklarındaki  $B_2O_3$  dağılımları da tespit edilmiştir. Elek analizi sonuçları çizelge 6,2 ve 6,3'de verilmiştir.

### 5.3.3 Kalsinasyon-eleme ile zenginleştirme çalışmaları

Numuneye ait yaş elek fraksiyonlarının ağırlık dağılımları,  $B_2O_3$  içerikleri ve dağılımları çizelge 6,2'de incelendiğinde, numunenin  $B_2O_3$  tenörü tane boyu aralığına göre %9,94-37,51 aralığında değişmekte olup, ortalama tenörü %21,48'dir ve numunenin %54,22'si 0,075 mm'nin; %94,00'ü de 3,15 mm'nin altında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre barajdaki malzemenin ekonomik değere sahip olduğu ve değerlendirilmesinin yolları aranmalıdır. Ayrıca, çizelge 6,3'de incelendiğinde atık barajındaki malzemenin %54'ü montmorillonit tipi kilden oluşmaktadır. Bu kil amorf yapıda olup, çok ince tane boyuna sahiptir. Bu özellikleri ile yoğunluk ve boyut olarak kolemanit mineraline yakın olması birbirlerinden ayrılmasında problem oluşturmaktadır. Kilin bu yapısını değiştirerek daha şekilli bir yapıya kavuşmasını sağlamak, diğer yandan kolemanit mineralinin kristal suyunu kaybederek mikronize olması ile bu yapısal farklılıklardan faydalanarak atık baraj malzemesinden ya satılabilir kolemanit konsantresi üretmek ya da bu malzemenin borik asit üretiminde hammadde olarak kullanılabilir hale getirilmesi bu çalışmanın özünü oluşturmaktadır [4].

Bilindiği üzere, bor atık malzemesinin direkt olarak sülfürik asit ile çözülmesi (liç metodu) yerine kalsine edildikten (kalsinasyon metodu) sonra çözülmesi yoluyla daha verimli sonuçlar alınmaktadır. Yani bor minerallerinin termal bozundurmaya uğratılıp dehidratize hale getirilmesi durumunda sulu veya asitli ortamdaki çözünürlük değerleri etkili bir şekilde arttığı gözlenmiştir [61 ve 62]. Çünkü bu atık malzemesinin liç yoluyla kazanılmasına engel olan iki sebep vardır. Bunlardan birisi, sülfürik asit liçi esnasında, ince kil parçaları kolemanitin yüzeyini kaplayarak kolemanitin asit ile temasını önlemesi sonucu liç reaksiyonunun oluşmasını engellemesi; ikinci sebep ise liç esnasında killer katı-sıvı ayrımında filtrelerin gözeneklerini tıkayarak sıvı geçişini engellemesi sonucu katı-sıvı ayrımının sağlanamamasıdır. Kalsinasyon yönteminin uygulanmasıyla bu problemlerin giderilmesi sağlanabilmektedir [4]. Yapılan bir çalışmada, doğal bor minerallerinin sulu ortamda çözünürlükleri kolemanit, pandermite ve tünellit için sırası ile % 22,90; % 10,02 ve %46,52 iken aynı bor minerallerinin 500°C sıcaklıkta kalsine edilmesi durumunda da sulu ortamdaki çözünürlükleri sırası ile 52,34; 48,41 ve 81,50 olarak bulunmuştur [61 ve 62].

Bu deneyde, kalsinasyon ile zenginleştirme çalışmaları laboratuvar tipinde çalışan bir fırında yapılmıştır. Deneyle ilgili fırını önceden istenilen sıcaklığa boş kutu ile birlikte ısıtılmış ve numune kutuya konduktan sonra hemen kapatılarak izlenmeye başlanmıştır. Kalsinasyon işlemi öncesinde numuneler, barajdan getirilen numunenin temsili numunesi



hazırlandıktan sonra geriye kalan numuneden yaklaşık 10 kg alınıp yıkama-eleme işleminden sonra her bir elekte kalan numune, çizelge 6,2'deki ağırlık yüzdeleriyle çarpılarak toplam 2,5 kg'lık numune hazırlanmış ve bu hazırlanan numune ise dörtleme-baklava numune alma yöntemiyle azaltılarak toplam 24 adet 50'şerli gram olacak şekilde hazırlanıp,  $132,5\text{cm}^3$ 'lük ( $r = 3,75\text{cm}$ ;  $h = 3\text{cm}$ ) kapaklı alüminyum kaplara konulmuş ve fırında öngörülen süre ve sıcaklıklara tabi tutularak kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu hazırlanan 50'şer gramlık numunenin giriş tenörü %24,59'dur ( Bu tenör miktarı rastgele alınan 10 kg numuneden hazırlanan 2,5 kg numunenin tenör yüzdesi olup, temsili numunenin ortalama tenör yüzdesi ile karıştırılmamalıdır).

Kalsinasyon öncesinde kalsine olacak numune  $105^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 4 saat etüvde kurutulmuş, tartımı alınarak ortam sıcaklığında fırına konulmuş, öngörülen süre sonunda fırından çıkarılan numune soğutulmuş ve tekrar tartılmıştır. Son olarak numuneler hem 0,50 mm'lik hem de 0,25 mm'lik eleklerden elenerek kalsine konsantre elde edilmiştir. Bu işlemler sonunda hem kalsine konsantrede hem de atıkta  $\text{B}_2\text{O}_3$  analizleri yapılmıştır. Sonuçlar çizelge 6,4–6,6'da verilmiştir.

## 6. SONUÇLAR

### 6.1 Numune Analizi Sonuçları

Numunenin kimyasal analiz sonuçları çizelge 6,1'de sunulmuştur.

Numunenin elek analiz sonuçları çizelge 6,2 ve çizelge 6,3'de, %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Tenör ve Kümülatif %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dağılımını gösteren grafik ise şekil 6,1'de gösterilmiştir. Çizelgelerde kullanılan Kümülatif %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dağılım değerleri hesaplanırken %Kümülatif Elekalıtı değerleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 6,2 ve çizelge 6,3'deki elek analizi sonuçları incelendiğinde;

- Numunenin ortalama tenörü % 21,48 olup, elek fraksiyonlarının B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri% 9,94–37,51 arasında değişmektedir.
- Numunenin %54,22'si 0,075mm'nin; %94,00'ün de 3,15 mm'nin altındadır
- Numunenin % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dağılımları incelendiğinde B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün %8,31'nin 3,15 mm üzerinde; %25,09'un ise 0,075 mm'nin altındadır.

Yukarıdaki sonuçlara göre, malzemenin ekonomik değere sahip olduğu ve bu malzeme değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmasının yolları aranmalıdır.

Ayrıca numunenin büyük çoğunluğunu 0,075 mm boyutunun altında kalan ince tane boyutuna sahip ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bakımından oldukça fakir malzeme oluşturmaktadır. Yine bu boyuttaki malzemenin tenör değeri, diğer elek fraksiyonlarının tenör değerleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Numunenin ortalama tenörü %21,48 iken, 0,075 mm elekaltına geçen malzeme düşünülmediği durumda tenör %35,15'lere çıkmaktadır.

**Çizelge 6.1** Numunenin kimyasal analiz sonuçları

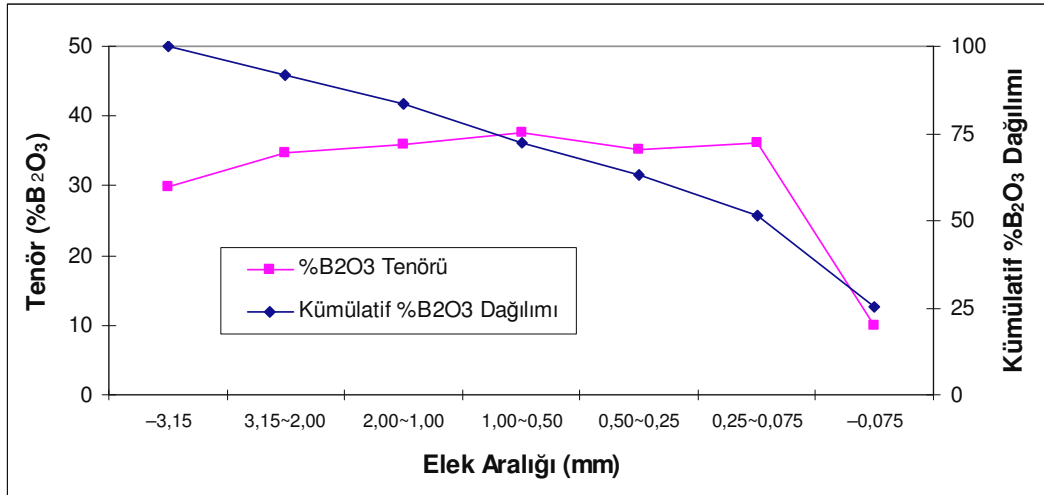
<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> %	<b>CaO</b> %	<b>MgO</b> %	<b>SiO<sub>2</sub></b> %	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> %	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> %	<b>SrO</b> %	<b>SO<sub>4</sub></b> %	<b>Na<sub>2</sub>O</b> %	<b>K<sub>2</sub>O</b> %	<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> ppm
21,48	15,34	6,60	21,18	2,78	1,08	6,51	0,29	0,12	1,73	2138

**Çizelge 6.2** Numuneye ait elek fraksiyonlarının ağırlık dağılımları, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri ve dağılımları

<b>ELEK ARALIĞI (mm)</b>	<b>NUMUNE</b>				<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>			
	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Yüzde (%)</b>	<b>% Küm. Eleküstü</b>	<b>% Küm. Elekaltı</b>	<b>Yüzde (%)</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>Dağılım (%)</b>	<b>% Küm. Dağılım</b>
<b>+3,15</b>	36,73	<b>6,00</b>	6,00	—	<b>29,78</b>	10,94	8,31	—
<b>-3,15+2,00</b>	31,51	<b>5,14</b>	11,14	94,00	<b>34,65</b>	10,92	8,29	91,69
<b>-2,00+1,00</b>	39,59	<b>6,46</b>	17,60	88,86	<b>36,03</b>	14,26	10,84	83,40
<b>-1,00+0,50</b>	32,37	<b>5,28</b>	22,88	82,40	<b>37,51</b>	12,14	9,23	72,56
<b>-0,50+0,25</b>	44,71	<b>7,30</b>	30,18	77,12	<b>35,25</b>	15,76	11,97	63,33
<b>-0,25+0,075</b>	95,56	<b>15,60</b>	45,78	69,82	<b>36,18</b>	34,57	26,27	51,38
<b>-0,075</b>	332,21	<b>54,22</b>	100,00	54,22	<b>9,94</b>	33,02	25,09	25,09
<b>Toplam</b>	<b>612,68</b>	<b>100</b>	—	—	<b>21,48</b>	<b>131,61</b>	<b>100</b>	—

**Çizelge 6.3** Numuneye ait her bir elek fraksiyonlarının Eleküstü/Elekaltı ağırlık ve tenörlerin karşılaştırılması

Eleküstü (mm) / Elekalı (mm)	Numune		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	Ağırlık (g)	Yüzde (%)	Yüzde (%)	Ağırlık (g)	Dağılım (%)
+3,15 -3,15	36,73 575,95	6,00 94,00	29,78 20,95	10,94 120,67	8,31 91,69
+2,00 -2,00	68,24 544,44	11,14 88,86	32,03 20,16	21,86 109,75	16,60 83,40
+1,00 -1,00	107,83 504,85	17,60 82,40	33,49 18,92	36,12 95,49	27,44 72,56
+0,50 -0,50	140,20 472,48	22,88 77,12	34,42 17,64	48,26 83,35	36,67 63,33
+0,25 -0,25	184,91 427,77	30,18 69,82	34,62 15,80	64,02 67,59	48,64 51,38
+0,075 -0,075	280,47 332,21	45,78 54,22	35,15 9,94	98,59 33,02	74,91 25,09
<b>Toplam</b>	<b>612,68</b>	<b>100</b>	<b>21,48</b>	<b>131,61</b>	<b>100</b>



**Şekil 6.1** Numuneye ait B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör ve dağılımının elek fraksiyonlarına bağlı olarak değişim grafiği

## 6.2 Kalsinasyon Deneylerinin Sonuçları

İki farklı elek kullanılarak elde edilen kalsine konsantresine ait sonuçlar çizelge 6,4 ve çizelge 6,5'de, her bir sıcaklık için süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafikler ise şekil 6,2–6,6'da verilmiştir. Ayrıca bu sıcaklıkların her bir elek için zamana bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafikler ise şekil 6,8–6,11'de gösterilmiştir. Her bir sıcaklık için süre-ağırlık kaybı grafiği şekil 6,12'de verilmiştir. Bu test sonuçlarının tamamı çizelge 6,6'da detayları ile düzenlenmiştir. Bu çalışmada en uygun kalsinasyon koşulu belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca seçilen en uygun sıcaklık ve sürelerin tenör ve verimlerini karşılaştıran grafik ise şekil 6,7'de verilmiştir.

Çizelge 6.4 0,50 mm'lik elekten eleme sonucu elde edilen tenörler ve verimler

T E S T  N O	KALSİNASYON		GİRİŞ NUMUNESİ		KALSİNE KONSANTRE (-0,50 mm.)		KALSİNE ATIĞI (+0,50 mm.)		VERİM (% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Ağırlık (gr)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (gr)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (gr)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	
1	350	15	50	24,59	40,63	24,67	7,38	28,56	81,52
2	350	25	50	24,59	38,94	29,71	5,97	4,73	94,09
3	350	35	50	24,59	39,85	29,86	4,52	4,98	96,78
4	350	45	50	24,59	40,84	28,62	3,66	4,32	95,06
5	350	60	50	24,59	40,55	29,55	3,73	8,56	97,45
6	400	15	50	24,59	38,57	28,35	5,98	7,46	88,93
7	400	25	50	24,59	38,75	29,99	5,76	5,07	94,52
8	400	35	50	24,59	40,48	29,18	3,25	6,83	96,07
9	400	45	50	24,59	40,68	29,72	2,97	6,19	98,33
10	400	60	50	24,59	41,21	29,24	3,60	5,13	98,00
11	450	15	50	24,59	38,54	29,39	6,12	4,52	92,13
12	450	25	50	24,59	37,45	30,52	6,23	3,96	92,96
13	450	35	50	24,59	40,38	29,31	3,22	5,74	96,26
14	450	45	50	24,59	41,80	28,93	1,85	9,31	98,35
15	450	60	50	24,59	40,18	30,12	3,12	6,12	98,43
16	475	15	50	24,59	39,30	29,44	5,26	6,81	94,10
17	475	25	50	24,59	39,85	29,73	3,55	5,34	96,36
18	475	35	50	24,59	40,51	29,78	2,77	7,70	98,12
19	475	45	50	24,59	40,15	29,83	3,15	5,93	97,41
20	475	60	50	24,59	39,95	29,95	3,29	8,30	97,31
21	500	15	50	24,59	41,05	28,56	3,16	8,40	95,35
22	500	25	50	24,59	39,46	30,56	3,01	9,37	98,08
23	500	35	50	24,59	40,15	30,20	2,26	8,34	98,62
24	500	45	50	24,59	40,25	30,15	2,20	7,85	98,70

Çizelge 6.5 0,25 mm'lik elekten eleme sonucu elde edilen tenörler ve verimler

T E S T  N O	KALSİNASYON		GİRİŞ NUMUNESİ		KALSİNE KONSANTRE (-0,25 mm.)		KALSİNE ATIĞI (+0,25 mm.)		VERİM (% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Ağırlık (g)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (g)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ağırlık (g)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	
1	350	15	50	24,59	29,40	26,14	18,61	23,89	62,50
2	350	25	50	24,59	34,34	31,55	10,57	9,62	88,12
3	350	35	50	24,59	33,15	32,87	11,22	10,93	88,63
4	350	45	50	24,59	34,21	31,49	10,29	10,43	87,62
5	350	60	50	24,59	33,95	33,05	10,33	10,48	91,26
6	400	15	50	24,59	32,51	30,36	12,04	12,55	80,27
7	400	25	50	24,59	32,85	32,48	11,66	10,95	86,77
8	400	35	50	24,59	33,36	32,37	10,37	11,93	87,83
9	400	45	50	24,59	33,91	32,75	9,74	11,98	90,32
10	400	60	50	24,59	34,45	32,20	10,36	11,04	90,22
11	450	15	50	24,59	30,20	32,23	14,46	12,90	79,16
12	450	25	50	24,59	34,26	31,00	9,42	11,19	86,38
13	450	35	50	24,59	34,09	32,05	9,51	11,51	88,86
14	450	45	50	24,59	32,79	33,68	10,86	11,03	89,82
15	450	60	50	24,59	33,35	33,00	9,95	12,92	89,51
16	475	15	50	24,59	32,35	32,59	12,21	11,40	85,75
17	475	25	50	24,59	34,04	32,34	9,36	11,72	89,53
18	475	35	50	24,59	32,03	33,38	11,25	13,45	86,95
19	475	45	50	24,59	32,72	32,87	10,58	13,55	87,47
20	475	60	50	24,59	32,87	32,69	10,37	14,39	87,39
21	500	15	50	24,59	31,65	31,74	12,56	15,48	81,70
22	500	25	50	24,59	31,69	33,41	10,78	14,91	86,11
23	500	35	50	24,59	32,79	33,35	9,62	13,26	88,94
24	500	45	50	24,59	31,88	33,82	10,57	14,45	87,69

Çizelge 6.6 Numuneye ait kalsinasyon testlerinin detaylı sonuçları

Test No		1	2	3	4	5	6	
<b>Kalsinasyon</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	350	350	350	350	350	400	
	<b>Süre (dak.)</b>	15	25	35	45	60	15	
<b>Giriş Numunesi</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	50	50	50	50	50	50	
	<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	
<b>Kalsine Konsantre</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	40,63	38,94	39,85	40,84	40,55	38,57
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>24,67</b>	<b>29,71</b>	<b>29,86</b>	<b>28,62</b>	<b>29,55</b>	<b>28,35</b>
	<b>-0,50+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	11,23	4,60	6,70	6,63	6,60	6,06
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>20,82</b>	<b>15,96</b>	<b>14,94</b>	<b>13,80</b>	<b>11,56</b>	<b>17,57</b>
	<b>-0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	29,40	34,34	33,15	34,21	33,95	32,51
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>26,14</b>	<b>31,55</b>	<b>32,87</b>	<b>31,49</b>	<b>33,05</b>	<b>30,36</b>
<b>Kalsine Atığı</b>	<b>+0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	7,38	5,97	4,52	3,66	3,73	5,98
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	28,56	4,73	4,98	4,32	8,56	7,46
	<b>+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	18,61	10,57	11,22	10,29	10,33	12,04
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	23,89	9,62	10,93	10,43	10,48	12,55
<b>Ağırlık Kaybı</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>1,99</b>	<b>5,09</b>	<b>5,63</b>	<b>5,50</b>	<b>5,72</b>	<b>5,45</b>	
	<b>Yüzde (%)</b>	3,98	10,18	11,26	11,00	11,44	10,90	
<b>Verim (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>81,52</b>	<b>94,09</b>	<b>96,78</b>	<b>95,06</b>	<b>97,45</b>	<b>88,93</b>	
	<b>-0,25 mm</b>	<b>62,50</b>	<b>88,12</b>	<b>88,63</b>	<b>87,62</b>	<b>91,26</b>	<b>80,27</b>	



Çizelge 6.6 Numuneye ait kalsinasyon testlerinin detaylı sonuçları (Devamı)

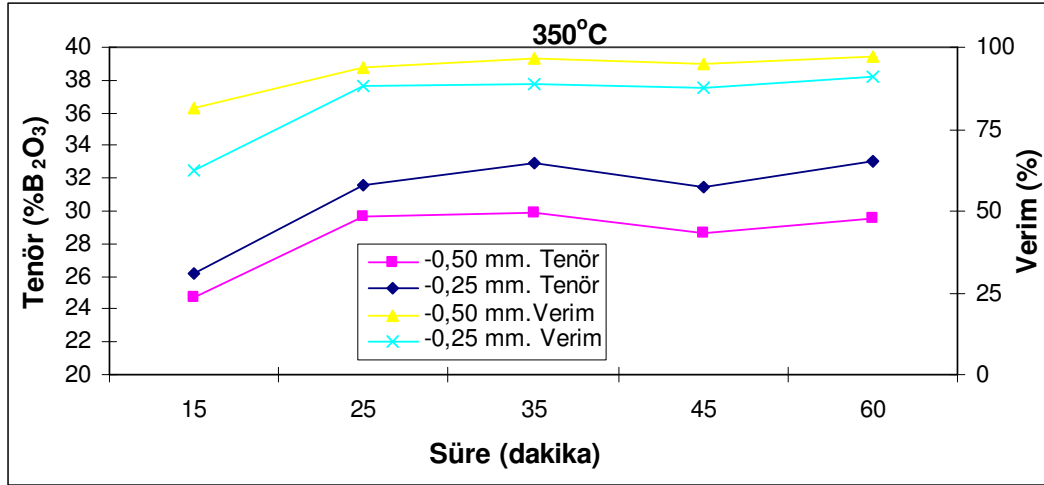
Test No		7	8	9	10	11	12	
<b>Kalsinasyon</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	400	400	400	400	450	450	
	<b>Süre (dak.)</b>	25	35	45	60	15	25	
<b>Giriş Numunesi</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	50	50	50	50	50	50	
	<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	
<b>Kalsine Konsantre</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	38,75	40,48	40,68	41,21	38,54	37,45
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>29,99</b>	<b>29,18</b>	<b>29,72</b>	<b>29,24</b>	<b>29,39</b>	<b>30,52</b>
	<b>-0,50+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	5,90	7,12	6,77	6,76	3,24	9,01
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>16,69</b>	<b>14,26</b>	<b>14,52</b>	<b>14,18</b>	<b>25,40</b>	<b>11,38</b>
	<b>-0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	32,85	33,36	33,91	34,45	30,20	34,26
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>32,48</b>	<b>32,37</b>	<b>32,75</b>	<b>32,20</b>	<b>32,23</b>	<b>31,00</b>
<b>Kalsine Atığı</b>	<b>+0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	5,76	3,25	2,97	2,60	6,12	6,23
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	5,07	6,83	6,19	5,13	4,52	3,96
	<b>+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	11,66	10,37	9,74	9,36	14,46	9,42
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	10,95	11,93	11,98	11,04	12,90	11,19
<b>Ağırlık Kaybı</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>5,49</b>	<b>6,27</b>	<b>6,35</b>	<b>6,19</b>	<b>5,34</b>	<b>6,32</b>	
	<b>Yüzde (%)</b>	10,98	12,54	12,70	12,38	10,68	12,64	
<b>Verim (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>94,52</b>	<b>96,07</b>	<b>98,33</b>	<b>98,00</b>	<b>92,13</b>	<b>92,96</b>	
	<b>-0,25 mm</b>	<b>86,77</b>	<b>87,83</b>	<b>90,32</b>	<b>90,22</b>	<b>79,16</b>	<b>86,38</b>	

Çizelge 6.6 Numuneye ait kalsinasyon testlerinin detaylı sonuçları (Devamı)

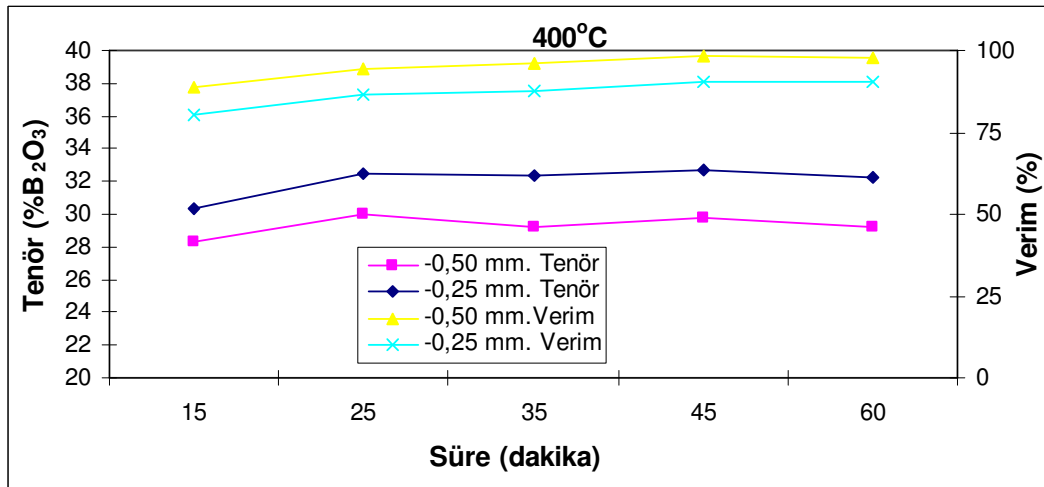
Test No		13	14	15	16	17	18	
<b>Kalsinasyon</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	450	450	450	475	475	475	
	<b>Süre (dak.)</b>	35	45	60	15	25	35	
<b>Giriş Numunesi</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	50	50	50	50	50	50	
	<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	
<b>Kalsine Konsantre</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	40,38	41,80	40,18	39,30	39,85	40,51
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>29,31</b>	<b>28,93</b>	<b>30,12</b>	<b>29,44</b>	<b>29,73</b>	<b>29,78</b>
	<b>-0,50+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	6,29	7,77	6,83	6,95	5,81	8,48
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>14,46</b>	<b>17,40</b>	<b>16,03</b>	<b>14,80</b>	<b>14,50</b>	<b>15,33</b>
	<b>-0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	34,09	32,79	33,35	32,35	34,04	32,03
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>32,05</b>	<b>33,68</b>	<b>33,00</b>	<b>32,59</b>	<b>32,34</b>	<b>33,38</b>
<b>Kalsine Atığı</b>	<b>+0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	3,22	1,85	3,12	5,26	3,55	2,77
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	5,74	9,31	6,12	6,81	5,34	7,70
	<b>+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	9,51	10,86	9,95	12,21	9,36	11,25
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	11,51	11,03	12,92	11,40	11,72	13,45
<b>Ağırlık Kaybı</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>6,40</b>	<b>6,35</b>	<b>6,70</b>	<b>5,44</b>	<b>6,60</b>	<b>6,72</b>	
	<b>Yüzde (%)</b>	12,80	12,70	13,40	10,88	13,20	13,44	
<b>Verim (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>96,26</b>	<b>98,35</b>	<b>98,43</b>	<b>94,10</b>	<b>96,36</b>	<b>98,12</b>	
	<b>-0,25 mm</b>	<b>88,86</b>	<b>89,82</b>	<b>89,51</b>	<b>85,75</b>	<b>89,53</b>	<b>86,95</b>	

Çizelge 6.6 Numuneye ait kalsinasyon testlerinin detaylı sonuçları (Devamı)

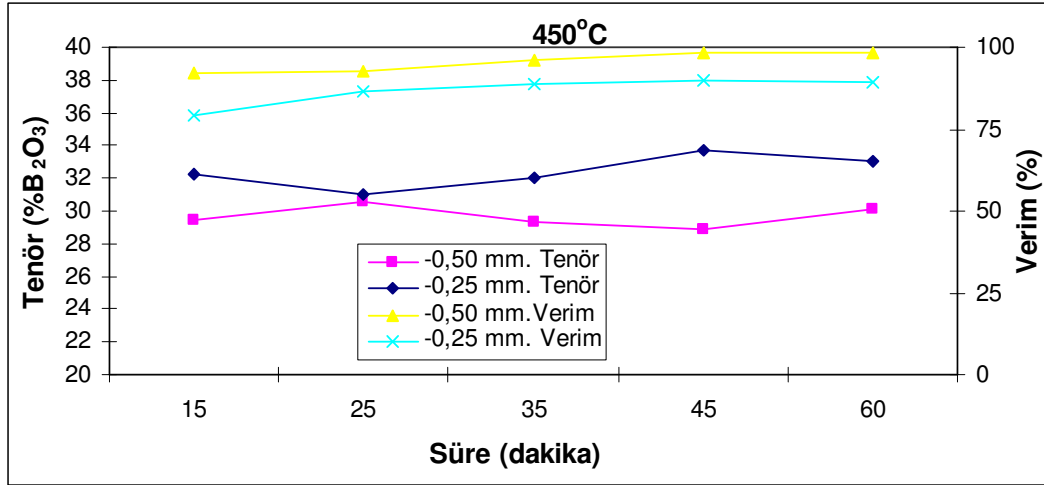
Test No		19	20	21	22	23	24	
<b>Kalsinasyon</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	475	475	500	500	500	500	
	<b>Süre (dak.)</b>	45	60	15	25	35	45	
<b>Giriş Numunesi</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	50	50	50	50	50	50	
	<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	<b>24,59</b>	
<b>Kalsine Konsantre</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	40,15	39,95	41,05	39,46	40,15	40,25
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>29,83</b>	<b>29,95</b>	<b>28,56</b>	<b>30,56</b>	<b>30,20</b>	<b>30,15</b>
	<b>-0,50+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	7,43	7,08	9,40	7,77	7,36	8,37
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>16,78</b>	<b>17,22</b>	<b>17,86</b>	<b>17,06</b>	<b>16,07</b>	<b>16,18</b>
	<b>-0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	32,72	32,87	31,65	31,69	32,79	31,88
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>32,87</b>	<b>32,69</b>	<b>31,74</b>	<b>33,41</b>	<b>33,35</b>	<b>33,82</b>
<b>Kalsine Atığı</b>	<b>+0,50 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	3,15	3,29	3,16	3,01	2,26	2,20
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	5,93	8,30	8,40	9,37	8,34	7,85
	<b>+0,25 mm</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	10,58	10,37	12,56	10,78	9,62	10,57
		<b>Tenör (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	13,55	14,39	15,48	14,91	13,26	14,45
<b>Ağırlık Kaybı</b>	<b>Ağırlık (g)</b>	<b>6,70</b>	<b>6,76</b>	<b>5,79</b>	<b>7,53</b>	<b>7,59</b>	<b>7,55</b>	
	<b>Yüzde (%)</b>	13,40	13,52	11,58	15,06	15,18	15,10	
<b>Verim (%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</b>	<b>-0,50 mm</b>	<b>97,41</b>	<b>97,31</b>	<b>95,35</b>	<b>98,08</b>	<b>98,62</b>	<b>98,70</b>	
	<b>-0,25 mm</b>	<b>87,47</b>	<b>87,39</b>	<b>81,70</b>	<b>86,11</b>	<b>88,94</b>	<b>87,69</b>	



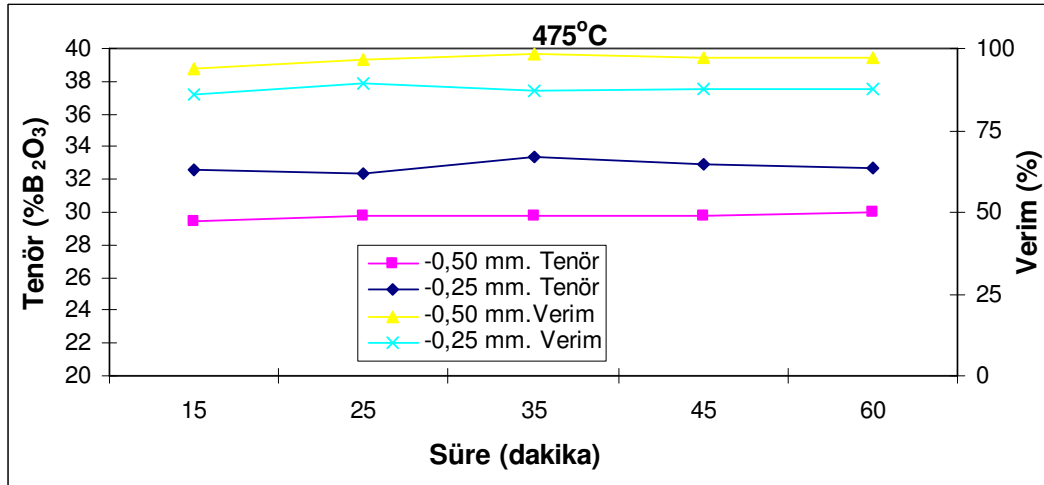
**Şekil 6.2** 350°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen -0,50 mm ve -0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik



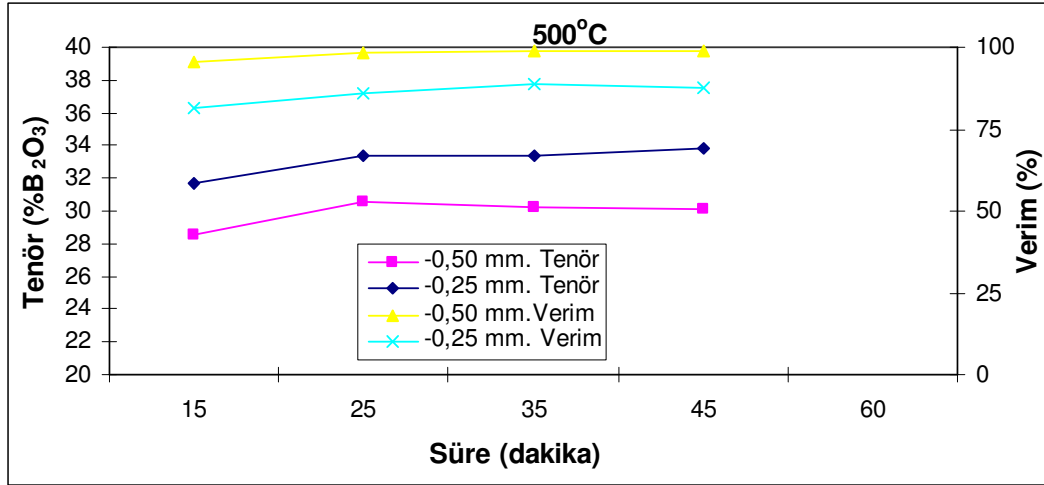
**Şekil 6.3** 400°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen -0,50 mm ve -0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik



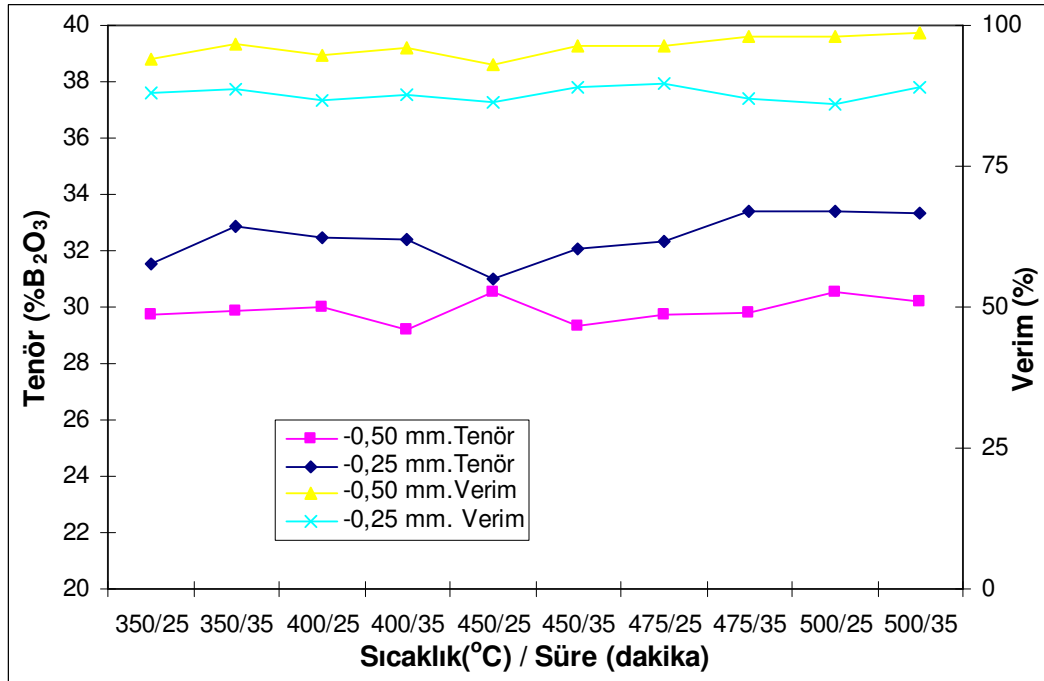
**Şekil 6.4** 450°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen -0,50 mm ve -0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik



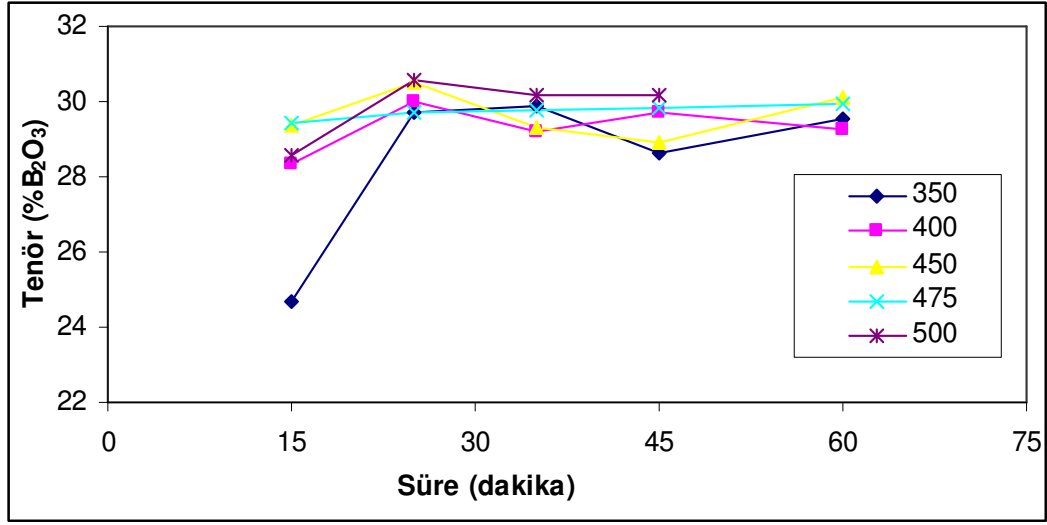
**Şekil 6.5** 475°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen -0,50 mm ve -0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik



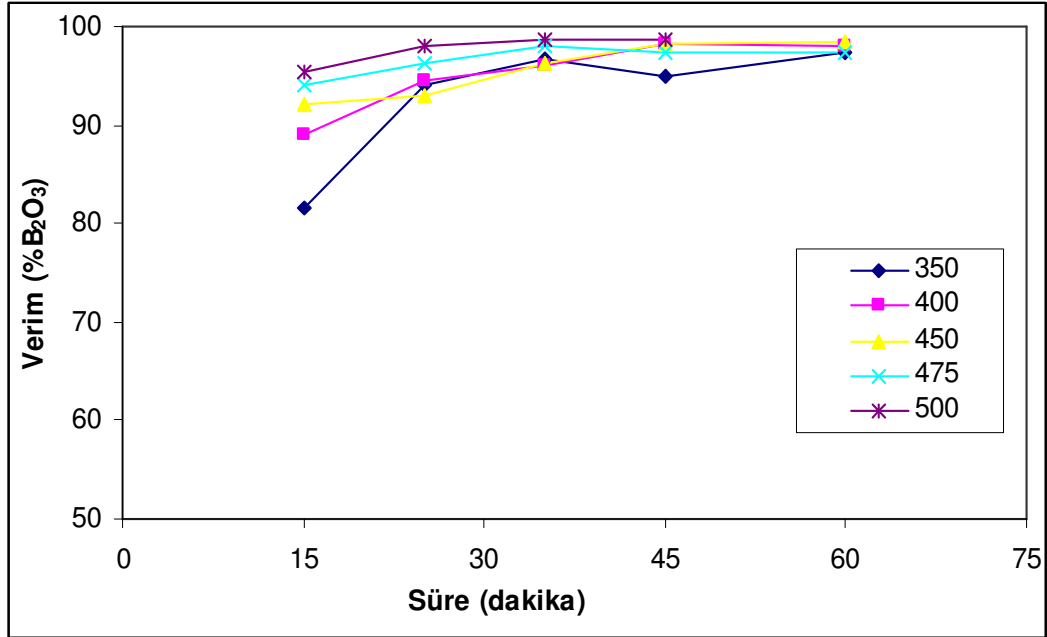
Şekil 6.6 500°C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde yapılan kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen -0,50 mm ve -0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin süreye bağlı tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik



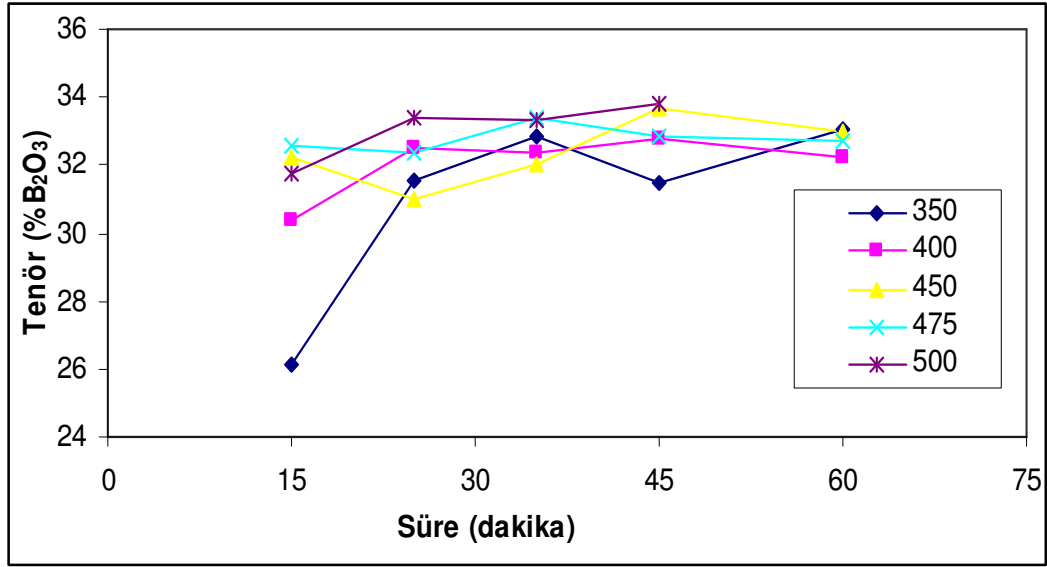
Şekil 6.7 Farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan en uygun kalsinasyon testleri sonucunda elde edilen -0,50 mm ve -0,25 mm boyutuna sahip kalsine konsantrelerin tenör ve verimlerinin karşılaştırılmasını gösteren grafik



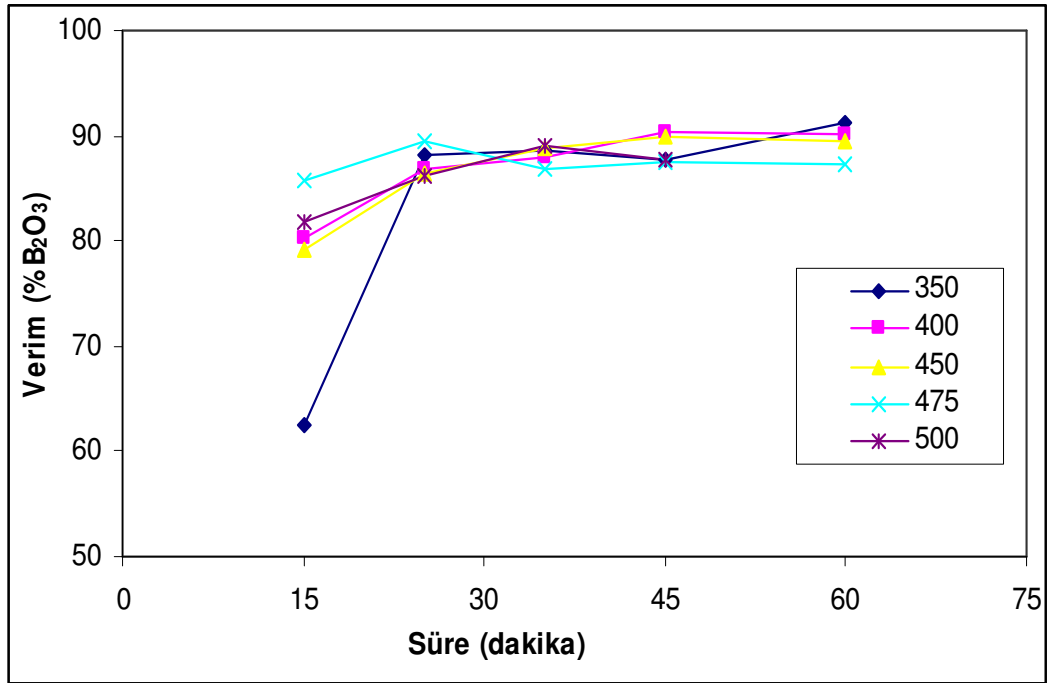
Şekil 6.8 Farklı sıcaklıkların -0,50 mm kalsine konsantrelerine ait Tenör-Süre grafiği



Şekil 6.9 Farklı sıcaklıkların -0,50 mm kalsine konsantrelerine ait Verim-Süre grafiği

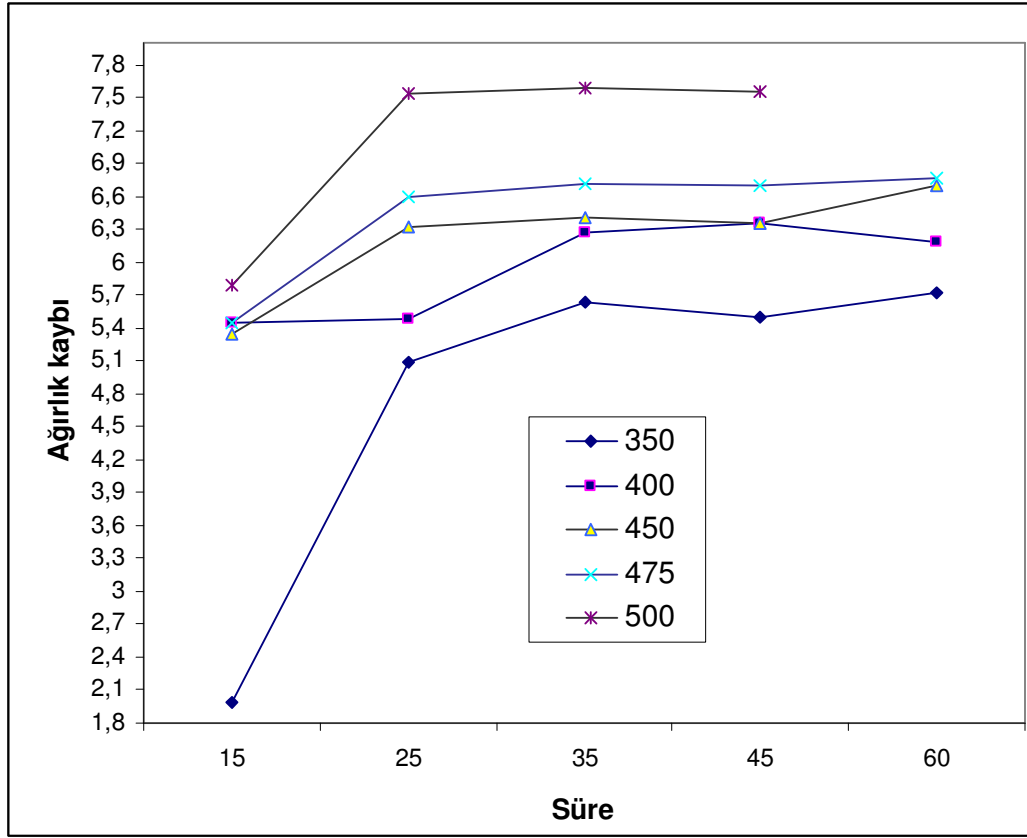


Şekil 6.10 Farklı sıcaklıkların -0,25 mm kalsine konsantrelerine ait Tenör-Süre grafiği



Şekil 6.11 Farklı sıcaklıkların -0,25 mm kalsine konsantrelerine ait Verim-Süre grafiği





Şekil 6.12 Her bir sıcaklık için Süre-Ağırlık kaybı grafiği

## 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan deneylerde öngörülen süre sonunda fırın kapağı açıldığında alüminyum kapların etrafında kalsine kolemanitin dağıldığı gözlenmiştir. Bu dağılma sıcaklık ve sürenin artması ile biraz artmıştır. Numuneler çıkarılıp, soğutulup, tartıldıktan sonra kapakları açıldığında numune yüzeyinin pürüzsüz düzgünlükte olduğu; numune karıştırıldığında ise, yoğunluk ve kütlece büyük olan parçaların tabanda birikerek sınıflandığı görülmüştür. Bu durum dehidrasyon esnasında kristal suyu buharının ortamı terk ederken numuneyi karıştırdığını ve bu yolla sınıflanmanın olduğunu göstermektedir. Yani kırılğan bir yapıya sahip kolemanitin düşük tane boyutlarında yoğunlaştığı kalsine kilin ise kolemanite göre daha sert olması sebebiyle daha büyük tane boyutlarında kaldığını göstermiştir. Bu tür gözlemler numunenin kalsine olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada optimum kalsinasyon şartları (sıcaklık, parçalanma süresi ve parça boyutunun etkileri) ağırlık kaybından (Bkz. şekil 6.12) ve/veya verimden hareketle saptanarak süreler ona göre ayarlanmıştır. Başlangıçta kaplara konan her bir numunede yaklaşık 5,3 g kristal suyu vardır. Bunun için hazırlanan 50'şer gramlık numunelerin iyi bir kalsine olabilmesi için ağırlık kaybının yaklaşık 5,3 g'dan yüksek olması gerekir. Bir de buna her bir numune kalsine sonrası gang minerallerin suyunu kaybetmesi, uçucu gazların buharlaşması ve tozuma kaybı yaşadığı düşünülürse toplam ağırlık kaybı minimum 5,5 g olması gerekir. Yani iyi bir kalsineden sonra numune tartımı 44,5 g veya daha düşük civarlarda olması gerekir. Bu ağırlık kaybı değerleri dikkate alınıp çizelge 6,6 incelendiğinde 350°C ve 400°C 'de 35 dakikalık bir süreye karşılık 450°C ve daha yüksek sıcaklıklarda 25'şer dakikalık süreler iyi bir kalsine için yeterli görülmüştür. Bu değerlerle ilgili karşılaştırmalar şekil 6,7'de verilmiştir. Ayrıca zaman ve/veya kalsine atığındaki B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü de dikkate alındığında, bu kolemanit cevherinin kalsinasyonla zenginleştirilmesine yönelik laboratuvar ölçekli deneyler sonucunda, 450°C sıcaklık ve 25 dakika süre sonunda 0,50 mm elekten elemde %30,52 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ve %92,96 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kurtarma verimi ile kalsine konsantre üretimi yapılabilir.

Çizelge 6.6'da kalsine olmuş her bir numune incelendiğinde kalsine konsantre tenörlerin istenilen yükseklikte olmadığı ve atıkta bir miktar B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cevheri kaldığı görülmüştür. Bunun iki sebebi olduğu düşünülmektedir. Bunlardan birisi, çizelge 6,3'deki verilere bakıldığında, ham numunenin %77,12'sinin %17,64 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörle 0,50 mm elek altında, % 69,22'sinin de %15,80 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörle 0,25 mm elek altında olması; ikinci sebep ise numune kabının küçük olması nedeniyle üst üste binmiş atıkların ısıyı geç alması ve altta kalan atıkların

basınç altında iyi parçalanarak dağılamamasıdır. Bu problemleri gidermek için de iki yol vardır. Bunlardan ilki, yatay veya dikey fırın yerine döner fırının kullanılması ve böylece atıklara ısıyı daha iyi sağlayacak ve atıklar basınca maruz kalmadan daha iyi dağılacak; İkincisi ise 0,50 mm elek altına geçen ham cevher fazla killi ve düşük tenörlü olduğundan önceden ayrılmasında fayda görülmektedir ve bunun için bu fraksiyonun kalsinasyon dışında ya flotasyon yoluyla zenginleştirilmesi ya da uygun sektörde değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

Sonuç olarak yapılan deneylerde barajdaki numunenin değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması gerektiği ve zenginleştirilmesinin kalsinasyon yöntemiyle başarılı olabileceği görülmüştür.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Kılıç, A., M., 2004, Bor madeninin Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri, II. Uluslar arası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 31-41.
- [2] KESK/ESM, TMMOB Jeoloji, Kimya, Metalurji Mühendisleri Odaları, 2003, Bor, Ankara, 330 s.
- [3] [www.etimaden.gov.tr](http://www.etimaden.gov.tr)
- [4] Kayadan, İ., Pehlivan, V., Çağlayan, B., Türedi, S., 2004, Düşük Tenörlü kolemanit cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, II Uluslar arası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 65-69.
- [5] Bayrak, D., Bozbeyoğlu, F., Çağlan, D., Cengiz, İ. ve Çelebi, A., 2001, Özelleştirmenin odağındaki bor, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 77 s.
- [6] Sariiz, K. ve Nuhoğlu, İ., 1992, Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 452 s.
- [7] Lagowski, J., J., 1997, Mcmillan encyclopedia of chemistry, Mcmillan, New York, 1, 366 p.
- [8] DPT, 2001, VIII. Beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayi hammaddeleri çalışma grubu raporu cilt II, Ankara, 179 s.
- [9] Miessler, G., L. and Tarr, D., A., 2002, İnorganik kimya, ( Çev. N. Karacan ve P. Gürkan ), Palme Yayıncılık, Ankara, 642 s.
- [10] Greenwood, N., N. and Earnshaw, A., 1998, Chemistry of elements, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1341 p.
- [11] Lide, D., R., 1999, CRC Handbook of chemistry and physics, CRC Press, New York, 2000 p.
- [12] Ediz, N. ve Özdağ, H., 2001, Bor mineralleri ve ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 133-151.
- [13] Türkiye Sinai Kalkınma Bankası A.Ş., 1980, Bor ve bor bileşikleri kimya sektör araştırması, İstanbul, 193 s.
- [14] DPT, 1995, VII. Beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayi hammaddeleri çalışma grubu raporu, Ankara, 215 s.
- [15] Helvacı, C., 2003, Türkiye borat yatakları jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5, 1, 4-41.

### KAYNAKLAR DİZİNİ ( devam )

- [16] Çalık, A., 2002, Türkiye'nin bor madenleri ve özellikleri, Mühendis ve Makine Dergisi, 508.
- [17] Acarkan, N., 2002, Bor ürün çeşitleri ve kullanım alanları, I. Uluslar arası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1-5.
- [18] [www.kimyamuhendisi.com/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=19](http://www.kimyamuhendisi.com/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=19)
- [19] Karadeniz, M., 1996, Cevher zenginleştirme Tesis Artıkları Çevreye Etkileri Önlemleri, MTA MAT Daire Başkanlığı, Ankara, 332s.
- [20] Oruç, F., Sabah, E., Erkan, Z.E., 2004, Türkiye'de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri, II. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 385-392.
- [21] Doğan, M.Z., Kaytaz, Y., Önal, G., Perek, K.T., 1997, Bigadiç ve Kestelek bor atıklarının ısıtma işlemi, elektrostatik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Köse&Arslan, İzmir, 76-85.
- [22] Sönmez, E., AYTEKİN, Y., 1992, Kırka Tinkal cevherinden doğrudan çözeltme ve üç kademeli flokülasyon yoluyla B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kazanılması, 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed Özbayoğlu, C:2 Antalya, 751-764.
- [23] Yamık, A., Tosun, İ.Y., Güneş, N., Topal, E., 1995, Kırka boraks atıklarının soda liçi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Köse& Kızıl, İzmir, 43-48.
- [24] Kaytaz, Y., Önal, G., Güney, A., 1986, Bigadiç Kolemanit atıklarının değerlendirilmesi, 1. Uluslar arası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed AYTEKİN, C:1, İzmir, 238-249.
- [25] Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M., Öztoprak, M., 1989, Emet konsantratör atık barajındaki arsenik ve kolemanitleri seçimli olarak kazanma imkanları, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11. Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 407-415.
- [26] Alp, İ., Özdağ, H., 2000, Investigation of processing of colemanite tailings by ultrasonic, Mineral Processing on the Verge of the 21st Century, 8th International Mineral Processing Symposium, Eds Özbayoğlu, Hoşten, Atalay, Hiçyılmaz & Aral, Antalya, 693-696.
- [27] Sönmez, E., Özdağ, H., Savaş, M., 1997, Ses ötesi dalgaların kolemanit artıklarının zenginleştirilmesinde kullanımının araştırılması, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Güyagüler, Ersayın&Bilgen, Ankara, 319-324.
- [28] Ediz, N., 1999, Tinkal cevherinin zenginleştirilmesi ve borlu suların arıtılmasında tek kademeli çözme helezonunun kullanımı, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 171s.

### KAYNAKLAR DİZİNİ ( devam )

- [29] Özbayoğlu, G., Şener, S., Özdemir, Z., 2001, Toz üleksite boyut kazandırma, 4. Endüstriyel hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Köse, Arslan&Tanrıverdi, İzmir, 288-291.
- [30] Gülgönül, İ., Çelik, M.S., Çınar, M., 1997, Üleksit flotasyonunda şlamın etki mekanizması. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Köse&Arslan, İzmir, 70-75.
- [31] Griffin, T.S., Downing, T.L., 2001, Rio Tinto Borax's pond reprocessing and sustainable development, New Developments in Mineral Processing, 9th Balkan Mineral Processing Congress, Eds Önal, Atak, Güney, Çelik&Yüce, İstanbul, 319-324.
- [32] Bozkurt, R., 1989, Mineralojik incelemelerin cevher zenginleştirmedeki rolüne iki örnek, Anadolu Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi, cilt: 5, sayı:1, Eskişehir, 15-21.
- [33] Gündüz, M., Çebi, H., Bilici, M.S.U., Akçin, H., Karakoç, G., Doğan, A., 2001, Kestelek konsantratör tesisi ara ürün stokları B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriklerinin iyileştirilmesi çalışmaları, TUMAKS 2001, Türkiye 17. Madencilik Kongresi ve Sergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Ünal, Ünver&Tercan, Ankara, 125-131.
- [34] Aytekin, Y., Badruk, M., 1992, Emet kolemanit cevherinin dekrepitasyon yoluyla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed Özbayoğlu, C: 2, Antalya, 549-562.
- [35] Aytekin, Y., Lübiç, C., Yamık, A., 1988, Kırka tinal cevherinin flotasyonla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, 2.Uluslararası cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed Aytekin, İzmir, 268-280
- [36] Yarar, B., 1973, Düşük tenörlü kolemanit cevherinin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3.Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 571-588
- [37] Hançer, M., Kaytaç, Y., Çelik, M.S., 1993, Doygun çözeltilerde boraks flotasyonunun anyonik ve katyonik reaktiflerle incelenmesi, Türkiye 13.Madencilik Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, 519-528.
- [38] Gülgönül, İ., Yaşar, E., Kaytaç, Y., Çelik, M.S., 1994, Kolemanit flotasyonunda şlamın etki mekanizması, Çukurova Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. 15.Yıl Sempozyumu, Özel Sayı Adana, 369-377.
- [39] Akdağ, M., Batar, T., İpekoğlu, Ü., Polat, M., 1996, Processing of tincal and colemanite ores by decrepitation method and comparison with wet method in terms of production cost, Changing Scopes in Mineral Processing, 6th International Mineral Processing Symposium, Eds Kemal, Akar&Canbazoglu, 389-393.
- [40] Arslan, F., Arslan, C., Çelik, M.S., 1999, Arsenic removal through decrepitation of colemanite ores, Powder Technology, 103, 260-264.

### KAYNAKLAR DİZİNİ ( devam )

- [41] Çelik, M.S., Batar, T., Akın, Y., Arslan, F., 1998, Upgrading schemes for boron minerals through calcination, *Minerals and Metallurgical Processing J.*, 15, 53-56.
- [42] Çelik, M.S., Suner, F., 1995, A thermodynamic analysis of decrepitation process, *Thermochimica Acta*, 245, 167-174
- [43] Çelik, M.S., Uzunoğlu, H.A., Arslan, F., 1993, Decrepitation properties of some boron minerals, *Powder Technology*, 79, 167-172.
- [44] Kocakuşak, S., Köroğlu, J., Ayok, T., Tolun, R., 1992, Kalsine ince toz boraks hidratların kompaktlanması, 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Ed Özbayoğlu, C: 2, Antalya, 911-923.
- [45] Özbayoğlu, G., Özdemir, Z., Şener, S., 2001, Briquetting of colemanite fine concentrate and calcined product, *New Developments in Mineral Processing*, 9th Balkan Mineral Processing Congress, Eds Önal, Atak, Güney, Çelik&Yüce, İstanbul, 307-311.
- [46] Erten, M.H., 1976, Kolemanit flotasyon konsantrelerinin briketleme yolu ile aglomerasyonu, *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, Sayı: 87, Ankara, 70-76.
- [47] Erten, M.H., Özbayoğlu, G., 1973, Kolemanit ve fluorit gibi metalik olmayan minerallerin aglomerasyonu, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3.Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 589-605.
- [48] Tural, S., Tural, B., Karakaplan, M., Hoşgören, H., 2005, Bor'un Sıvı-Sıvı Ekstraksiyonuna 1,3-Diol Yapısının Etkisi (I-II), *I.Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı*, Ankara, 339-345.
- [49] Okay, O., Güçlü, H., Soner, E., Balkas, T., 1985, Boron Pollution in the Simav River, Turkey and Various Methods of Boron Removal. *Wat. Res.*, 19(7), 857-862.
- [50] Recepoğlu, O., Beker, U., 1991, A Preliminary Study on Boron Removal from Kızıldere/Turkey Geothermal Waste Water, *Geothermics*, 20(1/2), 83-89.
- [51] Sönmez, E., Yorulmaz, S., 1995, Kırka boraks işletmesi atık killerin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Köse&Kızıl, İzmir, 163-168.
- [52] Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., Sümer, G., 1993, Kırka boraks işletmesi atık killerin seramik endüstrisinde kullanılabilirliğinin araştırılması, *Türkiye 13.Madencilik Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İstanbul, 561-566.
- [53] Badruk, M., Yamık, A., Akçıl, A., 1997, Tinkal cevherinden elde edilen konsantre ve artığın kompaktlaştırılması ve konsantrenin çözeltmesi, *Türkiye 15.Madencilik Kongresi*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Eds Güyagüler, Ersayın&Bilgen, Ankara, 395-398.

**KAYNAKLAR DİZİNİ ( devam )**

- [54] Sabah, E., Yeşilkaya, L., 2000, Farklı tipte polimerlerle Kırka boraks işletmesi tinkal konsantratörü atıklarının çökeltme davranışlarının incelenmesi, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Derneği Yayını, Sayı: 3, İzmir, 1-12.
- [55] Gür, G., Sayan, P., Türkay, S., Bulutçu, A., 1993, Tinkal Cevherindeki killerin flokülasyonuna etki eden faktörler, 6.Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul, 3-11.
- [56] [www.maden.org.tr/resimler/ekler/21461af90cadfda\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/21461af90cadfda_ek.pdf)
- [57] [www.jmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=984&tipi=23&sube=0](http://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=984&tipi=23&sube=0)
- [58] Önal, G., 1980, Cevher Hazırlama Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri, İTÜ Matbaası, İstanbul, 219-220
- [59] Grisiwold, W.T., Method of Calcining and Classifying Borates, u.s. pat 3, 309, 170
- [60] Taggart, A.F., 1956, Handbook of Mineral Dressing, Wiley, p.p. 3-12
- [61] Gedikbey, T., Şarda, D., Birlik, E., 2004, Kolemanit ve Pandemit Minerallerinden Borik Asit Üretimi, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 285- 290.
- [62] Gedikbey, T., Şarda, D., Birlik, E., 2004, Uleksit ve Tünellit Mineralinden Borik Asit Üretimi, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 291- 296.
- [63] Kayadan, İ., Akçin, H., Uludağ, T., Şentürk,B., Ergül, T., Demirbağ, C., Yılmaz, O., Yalçınoğlu, Y., Mergen, A., 2006, Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, Ankara, 315-316
- [64] Gülensoy, A., 1961, Türkiye'deki bor mineralleri ve bunların dehidrolanması, Mürettebiye Basımevi, İstanbul.
- [65] Yıldız, A., Genç, Ö., 1993, Enstrümental Analiz, Hacettepe Üniversitesi Yayınları A-64, 453 s.