

EMET BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ
HİSARCIK ve ESPEY KONSANTRATÖR ATIKLARININ
MİKRODALGA ENERJİSİ YARDIMIYLA
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mesut AK

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Haziran – 2011

**EMET BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ HİSARCIK ve ESPEY KONSANTRATÖR
ATIKLARININ MİKRODALGA ENERJİSİ YARDIMIYLA
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mesut AK

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Haziran - 2011

KABUL ve ONAY SAYFASI

Mesut AK 'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “EMET BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ HİSARCIK ve ESPEY KONSANTRATÖR ATIKLARININ MİKRODALGA ENERJİSİ YARDIMIYLA ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

30/06/2011

Üye : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Üye : Doç. Dr. Abdullah SEYRANKAYA

Üye : Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

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

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**EMET BOR İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ HİSARCİK ve ESPEY KONSANTRATÖR
ATIKLARININ MİKRODALGA ENERJİSİ YARDIMIYLA
ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mesut AK

Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2011

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada Emet Bor işletmesi Hisarcık ve Espey konsantratör tesislerinde bor zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan atık barajında depolanan, hem çevresel sorunlara, hem de ekonomik kayıplara neden olan ince (-3 mm) atıkların zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bunun için ilk önce alınan numunelerin kimyasal, fiziksel ve fizikokimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada; Hisarcık Atık Barajından alınan temsili numunenin %19,1 B₂O₃, Espey Atık Barajından alınan temsili numunenin %27,86 B₂O₃ içerdiği tespit edilmiştir. Mineralojik incelemeler sonucunda ise Espey atık numunesinin esas olarak kolemanit, montmorillonit ve kalsit, Hisarcık atık numunesinin ise esas olarak kolemanit, kalsit ve illit mineralleri içerdiği belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda; Espey ve Hisarcık konsantratör atıklarının mikrodalga enerjisinden yararlanılarak zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Atıklarının zenginleştirilebilmesi amacıyla mikrodalga fırında, farklı süre ve farklı mikrodalga güç seviyelerinde deneyler yapılmış ve optimum koşullar belirlenmiştir. +0,5 mm tane boyutundaki Hisarcık atık numunesinin 800 watt mikrodalga güçte 30 dakikalık mikrodalga enerjisine maruz bırakılması sonucunda; %94,62 verim ile %46 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga enerjisi, Kolemanit.

**RESEARCH OF THE ENRICHMENT IN HISARCIK AND ESPEY
CONCENTRATOR TAILINGS AT EMET BORON DIRECTORSHIP WITH
MICROWAVE ENERGY USING**

Mesut AK

Master of Science Thesis, 2011

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

SUMMARY

In this study the available thin tailing process existing after the boron process has been searched causing the environmental problems and economical losses at Emet Boron Directorship and Espey concentrator institute. Initially the chemical, physical and physico-chemical characterization tests of the samples have been studied. In this research, sample from the Hisarcık tailing dam includes 19,1%B₂O₃ and sample from the Espey tailing dam includes 27,86%B₂O₃. According to the results of the mineralogical analys Espey tailing sample includes colemanite, montmorillonite and calcite, and the Hisarcık tailing sample includes colemanite, calcite and illite minerals.

In the experimental studies the enrichment availability has been searched with the usage of microwave energy of Espey and Hisarcık concentrator tailings. The different type of tests at different time and microwave power levels have been studied to enrich the tailings at microwave oven and optimum conditions have been determined. Under the condition of 30 min. microwave energy at 800 watt microwave for the Hisarcık tailing sample at 0,5mm grain size; 94,62% efficiency and 46%B₂O₃ concentration tenor results have been carried out.

Keywords: Microwave energy, Colemanite.

TEŞEKKÜR

Yoęun uğraşlar sonucunda ortaya çıkan bu tez çalışması boyunca maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, üstün bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmanın başarıyla sonuçlanmasını sağlayan değerli tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ahmet AYDIN'a şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın hem deneysel kısmında hem de yazım aşamasında yapmış olduğu katkılarından dolayı sayın hocam Arş. Gör. Uęur DEMİR'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca atık kolemanit numunelerinin temininde gösterdikleri ilgi ve B₂O₃ analizi yapımını öğrenmeme yardımcı olan Etimaden Emet ve Bandırma Bor işletmesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak bu günlere gelmemi sağlayan, en kötü günlerimde dahi benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatımın her aşamasında yanımda olan sevgili annem Fatma AK'a, babam Mustafa AK'a ve ağabey'im Yusuf AK'a minnettarım...

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Borun Tanımı	2
2.2. Bor Minerallerinin Özellikleri	3
2.1.1. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	3
2.1.2. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	4
2.1.3. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	4
2.1.4. Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	4
2.1.5. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	4
2.1.6. Pandemit ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4
2.1.7. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	4
2.3. Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları	5
2.4. Türkiye ve Dünya'daki Durumu	8
2.4.1. Dünya'daki bor yatakları ve rezervi	8
2.4.2. Türkiye'deki bor yatakları ve rezervi	9
2.5. Türkiye'de ve Dünyada Bor Tüketimi	11
2.6. Türkiye'de ve Dünyada Bor Tüketimi	12
3. BOR ARTIKLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	14
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesinden Elde Edilecek Avantajlar	14
3.2. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemler	14
3.3. Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması	14
3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>SAYFA</u>
3.5. Atıkların Depolanması.....	15
4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	17
4.1. Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme.....	18
4.2. Mekanik Aşındırma (Yıkama) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme..	18
4.3. Manyetik Zenginleştirme.....	20
4.4. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme.....	20
4.5. Isıl İşlem ile Zenginleştirme.....	21
4.6. Ses Ötesi Dalgalar ile Zenginleştirme.....	21
4.7. Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme.....	22
4.8. Elektro Manyetik Dalgalar ile Zenginleştirme.....	23
4.8.1. Mikrodalgalar.....	25
4.8.2. Mikrodalga fırınların tarihçesi.....	26
4.8.3. Mikrodalga radyasyonun kullanım alanları.....	26
4.8.4. Mikrodalga enerjisinin avantaj ve dezavantajları.....	27
4.8.5. Mikrodalga enerjisi ile ısıtmanın prensibi.....	28
4.8.6. Mikrodalga fırınların çalışma prensibi.....	29
4.8.7. Mikrodalga enerjisi ile yapılan çalışmalar.....	31
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
5.1. Karakterizasyon Testleri.....	34
5.1.1. Kimyasal inceleme.....	35
5.1.2. Isıl özelliklerin incelenmesi.....	35
5.1.3. Mineralojik incelememe.....	39
5.1.4. Tane boyutu analizleri.....	40
5.2. Yöntem.....	43
6. MİKRODALGA DENEYLERİ.....	48
6.1. Hisarcık Atık Barajı Kolemanit Numunesinin Mikrodalga Deneyleri.....	48
6.1.1. Hisarcık Atık Barajı numunesinin + 0,5 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	48
6.1.2. Hisarcık Atık Barajı numunesinin - 0,5 + 0,125 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	52

İÇİNDEKİLER (devam)**SAYFA**

6.1.3. Hisarcık Atık Barajı numunesinin - 0,125 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	54
6.2. Espey Atık Barajı Kolemanit Numunesinin Mikrodalga Deneyleri.....	56
6.2.1. Espey Atık Barajı numunesinin +1 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	56
6.2.2. Espey Atık Barajı numunesinin -1 + 0,125 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	60
6.2.3. Espey Atık Barajı numunesinin - 0,125 + 0,045 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri.....	62
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	68
EKLER.....	72
1. B ₂ O ₃ Analizi.....	72
2. Deney Sonuçlarının Tabloları.....	75
3. Mikrodalga Deney Şekiller.....	82
4. Akım Şemaları.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Bor atıklarının değerlendirilmesinde mevcut seçenekler.....	16
4.1. Ultrasesin bulunduğu dalga boyu ve frekansı.....	22
4.2. Elektromanyetik spektrum.....	23
4.3. Bir mikrodalğanın görünümü.....	24
4.4. Gelişigüzel hareket eden polar ve elektromanyetik alanla hizaya sokulan moleküller.....	28
4.5. Malzeme ile mikrodalğanın etkileşimi.....	29
4.6. Bir mikrodalga ısıtma sisteminin basit diyagramı.....	30
4.7. Bir mikrodalga fırının yapısı.....	30
4.8. tipik bir magnetron ve magnetron kesiti.....	31
5.1. Kütahya Emet Bor İşletmesi Hisarcık ve Espey Atık Barajlarının konumları.....	34
5.2. Hisarcık Atık Barajı kolemanit numunesinin TGA ve DTA grafiği.....	36
5.3. Espey Atık Barajı kolemanit numunesinin TGA ve DTA grafiği.....	38
5.4. Hisarcık Atık Barajındaki kolemanit numunesinin XRD grafiği.....	39
5.5. Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesinin XRD grafiği.....	40
5.6. Hisarcık Atık Barajındaki kolemanit numunesinin tane boyutuna bağlı olarak B ₂ O ₃ dağılımı grafiği.....	41
5.7. Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesinin tane boyutuna bağlı olarak B ₂ O ₃ dağılımı.....	42
5.8. Deneyleerde kullanılan mikrodalga fırın.....	44
5.9. Hisarcık Atık Barajındaki kolemanit numunesine ait akım şeması.....	46
5.10. Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesine ait akım şeması.....	47
6.1. + 0,5 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları...	48
6.2. + 0,5 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları...	49
6.3. + 0,5 mm tane boyutlu numunenin 360 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları...	50
6.4. - 500 +125 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	52
6.5. - 0,5+0,125 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	53
6.6. -0,125 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	55
6.7. +1 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.8. +1 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	57
6.9. +1 mm tane boyutlu numunenin 360 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	58
6.10. -1 +0,125 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	60
6.11. -1 +0,125 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.....	61
7.1. Hisarcık pilot tesisi için önerilen akım şeması.....	66
7.2. Espey pilot tesisi için önerilen akım şeması.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor elementinin fiziksel özellikler.....	2
2.2. Önemli bor mineralleri.....	3
2.3. Bor ürünlerinin kullanım yerleri.....	5
2.4. Bor ürünlerinin kullanım alanları.....	7
2.5. Dünya bor rezervleri.....	8
2.6. Türkiye borat yataklarının ana özelliği.....	10
2.7. Türkiye bor rezervleri ve Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmeler.....	10
2.8. Türkiye bor rezervleri.....	10
2.9. Dünya bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasiteleri.....	11
2.10. Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmelerin bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasiteler.....	12
2.11. Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı.....	13
2.12. Dünya bor tüketimi.....	13
4.1. Elektromanyetik spektrumun genel sınıflandırılması.....	25
4.2. ISM (Industrial, Scientific, and Medical) frekansları.....	25
5.1. Espey ve Hisarcık atık kolemanit numunelerinin kimyasal analizleri.....	35
5.2. Hisarcık Atık Barajı kolemanit numunesinin kuru olarak yapılan elek analizi sonuçları ve %B ₂ O ₃ dağılımları.....	41
5.3. Espey Atık Barajı kolemanit numunesinin kuru olarak yapılan elek analizi ve %B ₂ O ₃ dağılımları.....	42
5.4. Deneysel olarak kullanılan Hisarcık Atık Barajı temsili kolemanit numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımı.....	43
5.5. Deneysel olarak kullanılan Espey Atık Barajı temsili kolemanit numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımı.....	43
5.6. Mikrodalga deneyleri akış programı.....	45
6.1. + 0,5 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.....	51
6.2. - 0,5 +0,125 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.....	54
6.3. - 0,125 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.....	56
6.4. + 1 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.....	59
6.5. - 1 +0,125 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.....	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

Å

°C

 λ **Açıklama** 10^{-8} m

Santigrad derece

Lambda, XRD dalga boyu

Kısaltmalar

DPU

XRD

XRF

TGA

DTA

Açıklama

Dumlupınar Üniversitesi

X-Işını Difraksiyonu

X-Işınları Floresans

Termo Gravimetrik Analiz

Diferansiyel Termal Analiz

1.GİRİŞ

Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren doğal bileşiklerdir. Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcut olup bunların ticari öneme sahip başlıcaları; tinkal, kolemanit, kernit, üleksit, pandermite, borasit, szaybelit ve hidroborasit'tir. Türkiye'de yaygın olarak bulunan bor mineralleri ise; tinkal, kolemanit ve üleksit'dir. Dünyadaki önemli bor yataklarının Türkiye'den sonra Rusya ve ABD'de olduğu bilinmektedir [1,2,3,4].

Atık madenciliğinin amaçları arasında; evrensel kaynakların yeniden kazanımının maksimize edilmesi, atık maddelerdeki değerli mineralin tekrar elde edilmesi ve doğal kaynakların korunması ile doğaya ve dolayısıyla insanlığa zararı olan maddelerin veya minerallerin eliminesinin sağlanmasıdır [5]. Şimdiye kadar bor atıkları ile yapılan çalışmalar üç ana grupta toplanabilir. Bunların ilki atıklardaki borun tekrar kazanılması, ikincisi atıkların çevreye zarar vermeden depolanması, üçüncüsü ise atıkların seramik ve inşaat sanayinde kullanılmasıdır. Bor atıklarını değerlendirmede en uygun strateji atıklar içindeki borun tekrar kazanılmasına müteakip kil içerikli malzemenin uygun sanayilerde kullanılmasıdır. Böylece hem atıl durumda bulunan bu potansiyel kaynaklar ülke ekonomisine kazandırılmış olacak, hem de çevre kirliliği önlenmiş olacaktır [6].

Çalışmanın yapıldığı Emet bölgesi kolemanit yataklarının B_2O_3 bazlı rezervi 225 milyon tondur. Hisarcık konsantratörü tüvenan cevher işleme kapasitesi 900.000 ton/yıl, konsantre cevher üretim kapasitesi 450.000 ton/yıl Espey konsantratörü cevher işleme kapasitesi 300.000 ton/yıl ve konsantre kolemanit elde etme kapasitesi ise 120.00 ton/yıl'dır[7].

Türkiye'deki tüm tesislerde bor konsantresi üretimi, su ile yıkama yoluyla killi malzemenin uzaklaştırılmasını takiben boyuta göre sınıflandırma esasına dayanmakta ve önemli oranlarda kaba ve ince atık birikimi olmaktadır. Bu atıklar stoklama ve çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca atıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da büyük önem arz etmektedir [8]. Bu tesislerden birisi olan Etimaden Emet işletmesi konsantratör tesislerinden %88'i kaba ve %12' si ince olmak üzere yılda 1,5 milyon ton atık ortaya çıkmaktadır [8,9].

Bu çalışmanın amacı, Emet Espey ve Hisarcık konsantratör artıklarını zenginleştirerek çevresel problemleri ortadan kaldırmak ve ekonomiye kazanç sağlamaktır. Çalışmalarda Espey ve Hisarcık konsantratör tesislerine ait atık barajlarından alınan kolemanit numuneleri farklı süre ve mikrodalga güç seviyelerinde mikrodalga enerjisine tabii tutulduktan sonra sınıflandırılarak zenginleştirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Borun Tanımı ve Oluşumu

Kimyasal sembolü “B” olan Bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 özgül ağırlığı $2,34 \text{ gr/cm}^3$ ergime noktası $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $4002 \text{ }^\circ\text{C}$ dir. 51. yaygın element olarak yer kabuğunda boratlar ve borasilikatlar halinde bulunan bor elementi periyodik sistemde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir [2,3,4,10].

Bor yeryüzünde; toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementdir. Yer kabuğundaki konsantrasyonu ortalama 10 ppm, denizlerde ise 3-5 ppm arasındadır. 150'den fazla mineralin bileşiminde bulunan Bor madeni ilk bakışta beyaz bir kaya şeklinde olup, çok sert ve ısıya dayanıklı, doğada serbest bir element olarak değil, tuz bileşikleri şeklinde bulunmaktadır. Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengi ve çok gevrek, sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmastan sonra en sert elementtir [2,4,10,11].

Oda sıcaklığında borun elektrik iletkenliği çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça hızla artar. Bu, metallere ait bir özellik değildir. Diğer metalik özelliklerinin de çok az olmasından dolayı bor bir ametaldir. Havada ısıtıldığında yeşil bir alevle yanar [3].

Çizelge 2.1 Bor elementinin fiziksel özellikleri [1].

Özellik	Değeri
Atomik Kütle	10,811
Kaynama Noktası	$4002 \text{ }^\circ\text{C}$
Ergime Noktası	$2300 \text{ }^\circ\text{C}$
Mohs sertliği	9,3
Yoğunluk	$2,34 \text{ gr/cm}^3$
Görünüş	Sarı-Kahverengi ametallik kristal.
Molar Hacmi	$4,68 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Borun element olarak kullanılışı daha az yaygın olup, yenidir. Oysa borun en çok kullanılan türü olan boraks binlerce yıldan beri bilinmektedir. Ticari önem taşıyan bor minerallerinin bileşimleri, genellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum bazlı boratlardır [2,4,10].

Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve Amerikanın kurak volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır [1] .

2.2 Bor Minerallerinin Özellikleri

Bor mineralleri içerdikleri Ca, Na ve Mg elementlerine göre sınıflandırılır. Sodyum kökenli olanlara tinkal (boraks), kalsiyum kökenli olanlara kolemanit ve sodyumkalsiyum kökenli olanlara üleksit denilir. Bor içeren birçok mineral olmasına rağmen, bunlardan ancak bir kısmı ticari değere sahiptir ve uluslararası pazarlarda işlem görür. Ticari önem taşıyan bor mineralleri genellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum bazlı boratlardır [3,12].

Çizelge 2.2 Önemli bor mineralleri [1,4,12].

Mineral	Formülü	%B ₂ O ₃	Bulunduğu Ülkeler
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2	Potas yataklarında yan ürün
Sasolit	B(OH) ₃	56,4	İtalya'daki volkanik sular
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51,0	A.B.D. ,G. Amerika
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	Türkiye, A.B.D.,G. Amerika
Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50,5	B.D.T. (Rusya)
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49,6	A.B.D. , Türkiye
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8	Türkiye
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43,0	Türkiye, A.B.D. ,G. Amerika
Szaibelyite	MgBO ₂ (HO)	41,4	B.D.T. (Kazakistan), Çin
Inyoit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ . 13H ₂ O	37,6	A.B.D. ,Türkiye
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,5	Türkiye, A.B.D. , G. Amerika
Datolit	Ca ₂ B ₂ Si ₂ O ₉ .H ₂ O	26,7	B.D.T. (Kazakistan, Rusya)

2.2.1 Boraks (Tinkal) (Na₂B₄O₇.10H₂O)

Tabiatta genellikle renksiz ve saydam olarak bulunur. Ancak içindeki bazı maddeler nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde de bulunabilir. Sertliği 2- 2,5, özgül ağırlığı 1,7 gr/cm³ B₂O₃ içeriği %36,5'dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Kille arakatlı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir [1,5].

2.2.2 Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Tabiatta renksiz, saydam uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı $1,95 \text{ gr/cm}^3$ ve B_2O_3 içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Kırka'da Na-borat kütesinin alt kısımlarındadır. Dünya'da ise Arjantin ve A.B.D.'de bulunur [1,5].

2.2.3 Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)

Tabiatta masif, karnıbahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroboraksit ve probertit ile birlikte teşekkül etmiştir. B_2O_3 , içeriği %43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır [1,5].

2.2.4 Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ışınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. B_2O_3 içeriği %49,6'dır. Kestelek yataklarında üleksit ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak Emet'te tekdüze tabakalı birincil olarak ve Doğanlar, İğdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak oluşmuştur [1,5].

2.2.5 Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42'dir. B_2O_3 içeriği %50,8'dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözünür. Bor bileşiklerinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, dünyada A.B.D.'de bulunur [1,5].

2.2.6 Pandermit (Priseit) ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

Beyaz renkte ve yekpare olarak teşekkül etmiş olup kireçtaşına benzer. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B_2O_3 içeriği %49,8'dir [1,5].

2.2.7 Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Bir merkezden ışınal ve iğne şeklindeki kristallerin rasgele yönlendirilmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği %50,5'tir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki impüritelere bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre) kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, İğdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur [1,5].

2.3 Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları

Bor ürünlerinin, kullanım yerleri Çizelge 2.3’de, kullanım alanları ise Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 Bor ürünlerinin kullanım yerleri [3,5,14,15].

Kullanım Alanı	Kullanım Yerleri
Askeri ve zırhlı araçlar	Zırhlı plakalar, seramik plakalar, ateşli silah namluları.
Cam sanayi	Borosilikat camlar, laboratuvar camları, uçak camları, borcam, pyrex, izole cam elyafı, tekstil cam elyafı, optik lifler, cam seramikleri, şişe, diğer düz camlar, otomotiv camları.
Elektronik ve bilgisayar sanayi	Mikro çipler, lcd ekranları, cd-sürücülerı, akım levhaları, bilgisayar ağlarında; ısıya-aşınmaya dayanıklı fiber optik kablolar, yarı iletkenler, vakum tüpler, dielektrik malzemeler, elektrik kondansatörleri, kapasitörler, gecikmeli sigortalar, bataryalar, laser printer tonerleri.
Enerji sektörü	Güneş enerjisinin depolanması, güneş pillerinde koruyucu olarak, hücre yakıtları.
Fotoğrafçılık ve görüş sistemleri	Kamera ve mercek camları, fotoğraf makinaları, dürbünler, banyo ve film imalatları.
İlaç ve kozmetik sanayi	Dezenfekte ediciler, antiseptikler, diş macunları, lens solüsyonları, kolonya, parfüm, şampuan.
İletişim araçlarında	Cep telefonları, modemler, televizyonlar.
İnşaat-çimento sektöründe	Mukavemet artırıcı ve izolasyon amaçlı olarak.
Kağıt sanayi	Beyazlatıcı olarak.
Kauçuk ve plastik sanayi	Naylon, plastik malzemeler.
Kimya sanayi	Bazı kimyasalların indirgenmesi, elektrolitik işlemler, flotasyon ilaçları, banyo çözeltileri, katalistler, atık temizleme amaçlı olarak, petrol boyaı, yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boyaı, yapıştırıcılar, soğutucu kimyasallar, korozyon önleyiciler, mürekkep, pasta ve cilalar, kibrit, kireçlenme önleyicileri, dezenfektan sıvılar, sabun, toz deterjanlar, toz beyazlatıcılar, parlaticılar mumyalama.

Koruyucu	Ahşap malzemeler ve ağaçlarda koruyucu olarak, boya ve vernik kurutucularında.
Makine sanayii	Manyetik cihazlar, zımpara ve aşındırıcılar kompozit malzemeler.
Metalürji	Kaplama sanayinde elektrolit olarak, paslanmaz ve alaşımlı çelik, sürtünmeye-aşınmaya dayanıklı malzemeler, kaynak elektrotları, metalurjik flaks, refrakterler, briket malzemeleri, lehimleme, döküm malzemelerinde katkı maddesi olarak, kesiciler kompozit malzemeler, zımpara ve aşındırıcılar.
Nükleer sanayi	Reaktör aksamları, nötron emiciler, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak.
Otomobil sanayi	Hava yastıklarında, hidroliklerde, plastik aksamda, yağlarda ve metal aksamlarda, ısı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla, antifrizler.
Patlayıcı maddeler	Fişek.
Seramik sanayi	Emaye, sır, fayans, porselen boyları.
Spor malzemeleri	Kayak aksamları, tenis raketleri, balık oltaları, golf sopaları, darbe koruyucular.
Tarım sektörü	Biyolojik gelişim ve kontrol kimyasalları, gübreler, bocek-bitki öldürücüler, yabancı otlar .
Tekstil sektörü	Isıya dayanıklı kumaşlar, yanmayı geciktirici ve önleyici selulozik malzemeler, izolasyoa malzemeleri, tekstil boyalan deri renklendiricileri, suni ipek, parlatma malzemeleri.
Tıp	Ostreopoz tedavilerinde, alerjik hastalıklarda, psikiyatride, kemik gelişiminde ve artnjtte, menopoz tedavisinde bntc terapi yöntemiyle beyin kanserlerinin tedavisinde, manyetik rezonans görüntüleme cihazlarında.
Uzay ve havacılık sanayii	Sürtünmeye-aşınmaya ve ısıya dayanıklı malzemeler, roket yakıtı, uydular, uçaklar, helikopterler, zeplinler, balonlar.

Çizelge 2.4 Bor ürünlerinin kullanım alanları [1,5,8,12,13].

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf ve kristal bor	Askeri piroteknik, nükleer silahlar ve nükleer güç reaktörlerinde muhafaza, metallerde alaşım elemanı ve deoksidan, bakır ve alaşımlarında gaz giderici, alüminyum dökümlerinde tane rafinasyonu, yarı iletkenlerde.
Bor esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalist, polimer stabilizatorleri, yangın geciktiriciler .
Bor flamentlen	Havacılık ve spor malzemeleri için kompozitler.
Bor halidleri	İlaç sanayii, katalistler, elektronik parçalar, bor flamentleri ve fiber optikler.
Bor karbid	Kesme ekipmanları bileyicileri, endüstriyel yataklar, çok yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksitlenme direnci gerektiren ekipmanlar.
Bor karbür	Askeri araçlarda zırh plakaları, uzay mekiklerinde dış yüzey koruyucu, aşındırcılar, tesviye aksamaları, yüzey parlaticılar, yüksek aşınma direnci ve esnemezlik gerektiren diğer alanlar.
Borazon	Yüksek hızlı kesiciler.
Borik asit	Antiseptikler, göz damlaları, nükleer, yangın geciktirici, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, gübre, nikel kaplama, kimyasal katalist, cam, cam elyafı, emaye, sır.
Fthoborik asit	Kaplama solüsyonları, fluoborat tuzlar, sodyum bor hidrürler
Kalsiyum bor cevheri (kolemanit)	Tekstil kalite cam elyafı, bor alaşımları, cüruf yapıcı, nukleer atık muhafazası.
Özel sodyum boratlar	Fotoğrafçılık kımyasalları, tekstil, deterjan ve temizlik malzemeleri, yangın geciktiriciler, gübreler ve zirai araçlar.
Sodyum bor cevheri (üleksit ve probertit)	Yalıtım, cam elyafı, borosilikatcam.
Sodyum bor hidrürler	Özel kımyasalları saflaştırma, kağıt hamurunu beyazlaştırma, metal yüzeylerin temizlenmesi.
Sodyum metaborat	Yapıştırıcı, deterjan, zirai ilaçlama fotoğrafçılık, tekstil.
Sodyum pentaborat	Yangın geciktirici, gübre.
Sodyum perborat	Deterjan ve beyazlatıcı, tekstil.
Sodyum	Lehim ve kaynak işlemlerinde, metal yüzeylerinin temizlenmesi,

tetraborat(boraks)	sırlama, yüksek mukavemetli camlar.
Susuz boraks	Gübre, cam, cam elyafı metalurjik cüruf yapıcı, emaye, sır, yangın geciktirici.
Trimetil borat	Kaplama solusyonları, fluoborat tuzlar, sodyum bor hidrürler.

2.4 Türkiye'deki ve Dünya' daki Bor Durumu

Dünya bor rezervleri hakkında kesin bir rakam vermek güç olmakla birlikte, dünya rezervi yaklaşık 1 milyar tonun üzerinde olduğu tahmin ediliyor. Dünyanın önemli bor yataklarının Türkiye, Rusya ve ABD'de olduğu bilinmektedir [5].

Çizelge 2.5 Dünya bor rezervleri (Bin ton B₂O₃) [1].

ÜLKE	TOPLAM REZERV	DAĞILIM (%)
Türkiye	883.000	72
A.B.D	80.000	7
Rusya	100.000	8
Çin	53.000	4
Arjantin	9.000	1
Bolivya	19.000	2
Şili	41.000	3
Peru	22.000	2
Sırbistan	3.000	1
İran	1.000	0
TOPLAM	1.211.000	100

2.4.1 Dünya' daki bor yatakları ve rezervi

Dünya bor rezervleri genellikle 4 bölgede toplanmaktadır [1]:

- Amerika'da Güney-Batı Mojave Çölü
- Türkiye'yi de içeren Güney-Orta Asya orojenik kemeri
- Güney Amerika, And dağları kuşağı
- Doğu Rusya

Ülkemizden sonra dünyanın bilinen en önemli bor yatakları A.B.D.'nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Gölü'ndedir. Bu bölgedeki Kramer yatağı %75 boraks ve % 25B₂O₃ içeren cevher rezervinin 100 milyon tondan fazla olduğu rapor edilmektedir. Yine aynı bölgedeki Searles Gölü sodyum borat rezervlerinin 50 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Ancak ne kadarının çıkarılabilir olduğu konusunda bilgi yoktur. San Bernardino şehrinin (Kaliforniya) batısında düşük tenörlü iki kolemanit yatağı daha bulunmaktadır. Bu iki yatağın %5-17 arası B₂O₃ içeren 94 milyon ton cevher rezervi olduğu sanılmaktadır. A.B.D.'nin diğer bor yatakları Death Valley bölgesinde İnyo ilindeki düşük tenörlü bir kolemanit yatağıdır. Ayrıca, Utah'taki Büyük Tuz Gölü sularında 20-35 ppm bor bulunmaktadır. Çin'deki bor yatakları hakkında geniş bir bilgi yoktur. En önemli yatak Tainghai yöresindedir. Kuzeybatı Arjantin'deki borat mineralizasyonu küçük ve dağınık yataklar halindedir. En önemli yataklar Salar del Hombre Muerto havzasındaki Tincalayu'dadır. Şili, Antofagasta eyaletinin Salar de Ascaten yöresinde üleksit yataklarına sahiptir [5,16].

2.4.2 Türkiye' deki bor yatakları ve rezervi

Ülkemiz dünya rezervlerinin çoğunluğuna sahip olmasının yanı sıra mineral çeşitliliği ve cevher tenörü bakımından da doğal üstünlüğe sahiptir [17]. Türkiye'de, bilinen bor yatakları özellikle Eskişehir, Balıkesir, Bursa ve Kütahya da bulunmaktadır.

Yüksek tenördeki bor cevheri çok kolay ve ekonomik olarak çıkarılmakta ve işletilmektedir. Öyle ki; atık barajlarındaki mevcut sulu atıkların B₂O₃ tenörü bile borun lokomotif konumundaki ülkelerin işlettikleri cevher ve göl sularındaki B₂O₃ tenöründen çok daha yüksektir. Bu bakımdan, bor cevherleri ülkemiz açısından daha verimli değerlendirilmesi gereken önemli bir potansiyeldir [11].

Bu ürünler dışında, genellikle ileri teknoloji gerektiren yöntemler ile dünyada ticari olarak üretilen ve değişik kullanım alanları olan özel bor kimyasalları mevcuttur. 250 civarında sektörde nihai ürün olarak kullanılan bu ürünlerden en yaygın kullanım alanlarına sahip olanları; susuz borik asit, elementer bor, çinko borat, ferro bor, borazan, bor karbür, bor hidrit, bor karbit ve bor nitrür olarak sıralanabilir [11,12].

Türkiye'deki borat yatakları ana özellikleriyle Çizelge 2.6'da, Türkiye bor rezervleri ve Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı işletmeler Çizelge 2.7'de, Türkiye bor rezervleri ile ilgili bilgilerde Çizelge 2.8'de verilmektedir.

Çizelge 2.6 Türkiye borat yataklarının ana özelliği.

Yer	Yaş	Borat zonu kalınlığı (m)	Genel bilgiler
Eskişehir-Kırka	Pliyosen	170 m	Tavan çörtlü kireçtaşı; taban Miyosen kireçtaşı, boratlar, kil, marn, tuf ile almasıık boraks, az kolemanit, uleksit
Kütahya-Emet	Miyosen	175m	Tavan çörtlü kireçtaşı, taban kırmızı seri boratlar, kil, marn ve tuf ile almasıık Kolamanit.
Balıkesir-Bigadiç	Üst Miyosen	100 m	Tavan kireçtaşı marn, taban kristal tuf, boratla kil, marn ve tuf ile almasıık (1.zon). Tavan taban kristal tuf, boratlı kil marn, tuf (2.zon). Kolemanit, uleksit.
Bursa-Kestelek	Pliyosen	100 m	Tavan Pleistosen çakıllar, taban konglomera kireçtaşı, boratlı kil, marn tuf, kireçtaşı ile almasıık. Kolemanit az uleksit, probertit.

Çizelge 2.7 Türkiye bor rezervleri ve Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmeler (Milyon ton B₂O₃) [1].

Ocak/Maden	% B ₂ O ₃	Kolemanit	Üleksit	Tinkal	Toplam
Bigadiç	29,00%	166	14	-	180
Kestelek	28,67%	2	-	-	2
Emet	29,53%	497	-	-	497
Kırka	27,33%	-	-	204	204
Toplam		665	14	204	883

Çizelge 2.8 Türkiye bor rezervleri (Milyon ton B₂O₃) [1].

Cevher	Tenör (%)	Toplam (Milyon ton)	Toplam İçindeki Pay (%)
Kolemanit	28,40	2.257	74
Üleksit	29,00	47	2
Tinkal	25,80	739	24
TOPLAM	27,78	3.043	100

2.5 Türkiye’de ve Dünyada Bor Üretimi

Dünya bor mineralleri üretiminde Türkiye ve A.B.D. lider konumdadır, önemli miktarlarda üretim yapan diğer ülkeler ise Arjantin, Kazakistan, Rusya, Şili, Çin, Peru ve Bolivya’dır [17].

Dünya bor tuzu üretimi açısından ABD’nin etkisi görülmektedir. ABD, yıllık dünya üretiminin yarısından fazlasını tek başına üretebilmektedir. Gerek yurt içi tüketiminin çok fazla olması, gerekse büyük teknoloji sahibi bir ülke olması nedeniyle çeşitli bor bileşiklerini üretebilmesi, ABD’nin bor üretiminde ve bor pazarında lider olmasını sağlamıştır. Rezerv yönünden Türkiye’den sonra gelmesine rağmen, özellikle rafine bor üretimi ve ihracatında ön sıralardadır. United States Borax & Chemical Corporation dünyanın en büyük bor üreticisidir ve dünya ticaretinde son derece etkilidir [12].

Türkiye bor mineralleri üretiminde birinci sıraya yükselmişken rafine bor bileşiklerinde ise henüz ikinci sırada yer almaktadır. Çünkü A.B.D.’nin ürettiği tüm ürünler rafine olup B_2O_3 oranları yüksektir Türkiye’de sadece cevherden üretim yapılırken ABD’de cevherin yanı sıra tuzlu göl sularından da üretim yapılmaktadır[18]. Dünya bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasitesi 3.435.000 ton/yıl olup A.B.D. ve Türkiye'nin dünya üretimindeki payı sırasıyla %43 ve %37 olmaktadır [1].

Çizelge 2.9 Dünya bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasiteleri [1].

Ülke	Miktar Bin Ton/Yıl
Türkiye	1.272
ABD	1.498
Arjantin	120
Bolivya	15
Peru	25
Şili	76
Çin	378
Rusya	130
Dünya Toplamı	3.435

Mevcut durumda, Eti Madenin yıllık toplam konsantre bor kapasitesi 2.450.000 ton ve bor kimyasalları ve eşdeğeri ürünler kapasitesi 1.272.000 ton/yıl'dır. Ancak üretilen konsantre, borun büyük bir kısmı bor kimyasalları üretiminde girdi olarak kullanılmaktadır. Eti Maden; bor kimyasallarında 600.000 ton/yıl boraks pentahidrat, 300.000 ton/yıl öğütülmüş kolemanit, 215.000 ton/yıl borik asit, 115.000 ton/yıl boraks dekahidrat/penta, 2.000 ton/yıl Bor Oksit, üretim kapasitesine sahiptir [11].

Çizelge 2.10 Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmelerin bor kimyasalları ve eşdeğeri ürün kurulu kapasiteleri [1].

Ürün	Bin Ton/Yıl
Boraks Dekahidrat (Bandırma)	115
Borik Asit (Bandırma)	95
Borik Asit (Emet)	120
Sodyum Perborat (Bandırma)	35
Bor oksit (Bandırma)	2
Boraks Pentahidrat (Kırka)	600
Kalsine Tinkal (Kırka)	5
Öğütülmüş Kolemanit (Bigadiç)	300
Toplam	1.272

2.6 Türkiye'de ve Dünyada Bor Tüketimi

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin %10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken, geriye kalan kısmı bor ürünleri elde edilmek için kullanılmaktadır. Bazı sanayi dallarında uygunluk ve fiyat kriterleri göz önünde tutularak, rafine ve konsantre bor ürünleri veya farklı rafine ürünler birbirinin yerine kullanılabilir [16].

Çizelge 2.11 Dünya bor tüketiminin sektörel dağılımı [1].

Kullanım Alanı	Dağılım	
	Miktar (Bin Ton B ₂ O ₃)	% Pay
Yalıtım Tipi Cam Elyafı	440	24,4
Tekstil Tipi Cam Elyafı	370	20,6
Borosilikat Camlar	165	9,2
Emaye-Sır	350	19,4
Tarım	120	6,7
Deterjan	95	5,3
Diğer Alanlar	260	14,4
Toplam	1.800	100

Dünya bor tüketimi bölgesel olarak üç bölgede yoğunlaşmıştır.

- Çin ve Japonya başta olmak üzere Asya,
- ABD başta olmak üzere Amerika,
- AB ülkeleri başta olmak üzere Avrupa bölgeleridir.

Çizelge 2.12 Dünya bor tüketimi (bölgesel) [1].

Bölge	Ton	Bölge Payı (%)
Batı ve Güney Avrupa	635.760	15,6
Kuzey Avrupa	45.015	1,1
Doğu Avrupa	222.000	5,5
Kuzey Amerika	933.250	23
Orta ve Güney Amerika	431.200	10,6
Orta Doğu	53.558	1,3
Asya	1.688.686	41,5
Okyanusya	27.500	0,7
Afrika	28.100	0,7
Toplam	4.065.069	

3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların miktarlarının giderek artması, depolanacağı yer, doğa tahribatı, atıkların stabilitesi ve emniyeti, hava, toprak ve su kirliliği ve ıslah çalışmaları başlıca çevre sorunlarıdır. Bu nedenle atıkların değerlendirilmesi gerekmektedir [5,6,18,19].

3.1 Bor Atıklarının Değerlendirilmesinden Elde Edilecek Avantajlar

1. Hali hazırda büyük bir potansiyel olan stoklar ülke ekonomisine kazandırılacaktır.
2. Stoklama maliyeti azalacaktır.
3. Çevre kirliliği önlenmiş olacaktır.
4. Üretilen yeni ürünlerle ek kazanç sağlanacaktır.
5. Atıkların yer altı ve yer üstü sularını kirlilemesi önlenecektir.
6. Atıkların atıldığı göletlerin yapım maliyetleri ve kapladıkları alanlar azalacaktır [5,6,20]

3.2 Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri

İdeal değerlendirilme şekli atıkların tamamının değerlendirilmesidir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalara göre bor atıklarının değerlendirme yöntemleri; atıkların depolanması (atıkların kompaktlaştırılması, sıkıştırma), pülp halindeki atıkların flokülasyonu), atıklardaki kıymetli içeriklerin kazanılması ve kilin değerlendirilmesi şeklindedir [5,6,20].

3.3 Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması

Genelde bor atıklarına, zenginleştirme sırasında atığa kaçan borun tekrar kazanılması amacıyla suda bekletme+sınıflandırma, gravite yöntemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, soda liçi, çözeltme+flokülasyon, flotasyon, ısı işlem (kalsinasyon, dekrepitasyon) ve briketleme yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği ve atıklardaki borun doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve önemli sonuçlar alınmıştır. Bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma+sınıflandırma yöntemleri ancak iri boyutlara uygulanabilmekte, ince boyuttaki (-0,5 mm) %15-20 B₂O₃ tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir. Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve paramanyetik minerallerin bulunması durumunda

sabit mıknatıslı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir [5,6,20].

Doğan vd. [29] %20,7 B₂O₃ tenörlü Kestelek (-0,2mm) ve %29,5 B₂O₃ tenörlü Bigadiç (-3+0.2mm) bor atıklarından kolemaniti, mekanik dağıtma+yas eleme ile ön konsantreler ve daha sonra nihai zenginleştirmede Kestelek için dekrepitasyon ile %36,2 B₂O₃ %69,2 verimle, elektrostatik ayırma ile %68,2 verimle %40,7 B₂O₃ ve flotasyon ile %66,7 verimle %43,8 B₂O₃, Bigadiç için dekrepitasyon ile %80,4 verimle %59,8 B₂O₃, elektrostatik ayırma ile %59,9 verimle %39,6 B₂O₃ ve flotasyon ile %75,2 verimle %54,3 B₂O₃ sonuçlarını elde etmişlerdir.

Kaymaz vd. [27] %18 B₂O₃ ve %1,57 SO₃ içeren Bigadiç kolemanit atıkları zenginleştirme yöntemlerinden önce suda bekleterek ve mekanik dağıtma ile şlamından ayrıldıktan sonra elde edilen ön konsantrelere yapılan çalışmalarda gravite yöntemlerinden jig ve sallantılı masa deneylerinden kayda değer bir zenginleştirme sağlayamamışlar, elektrostatik ayırma ile istenilen düzeyde ayırım yapılamamış, flotasyon ile %40'ın üzerinde B₂O₃ ve %1,36 SO₃ düzeyinde kalmış buna karşılık dekrepitasyon ile %57,84 B₂O₃ ve %0,44 SO₃ sonuçlar elde etmişlerdir. SO₃'ü düşük konsantreler üretmek için dekrepitasyonu teklif etmektedirler.

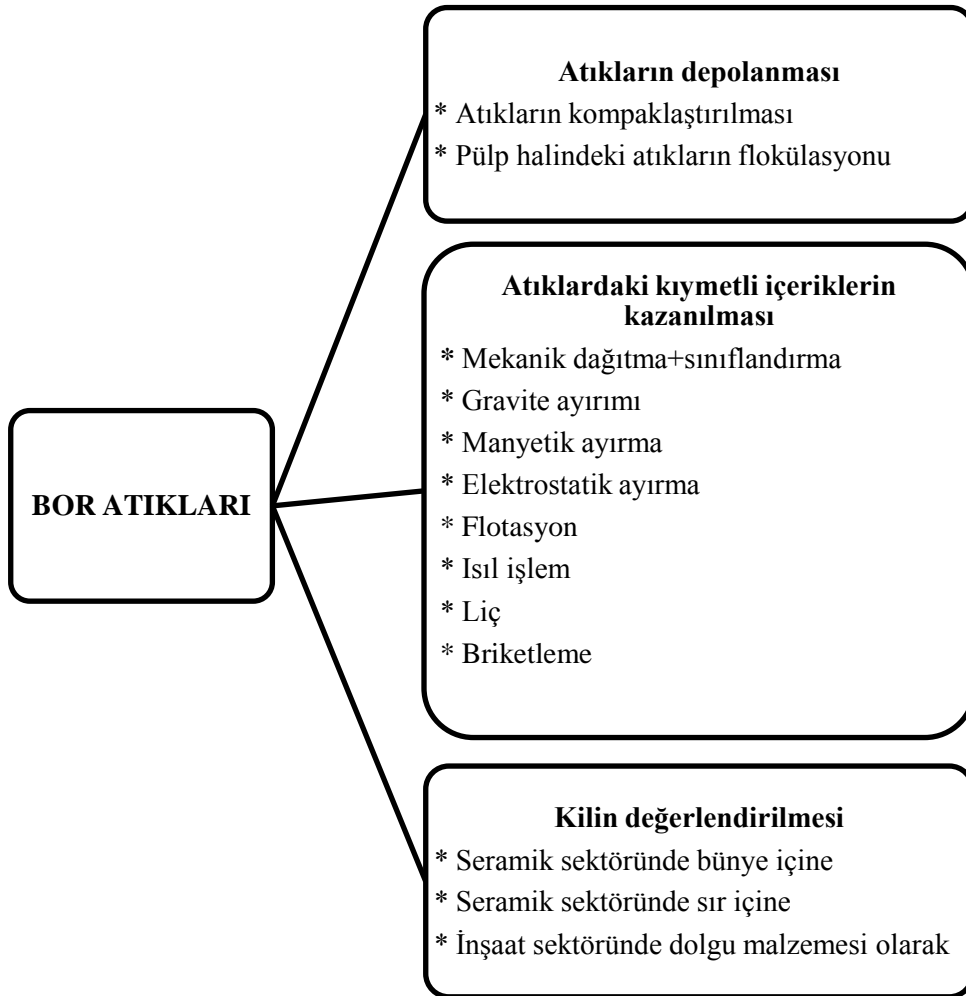
Emrulloğlu[32] Bigadiç kolemanit cevheri -3mm fraksiyonu ile suda kil dağıtma deneyleri yapmış %78,21 verimle %30 B₂O₃ tenörlü ürün elde etmiştir. Özdağ vd. [22] Kestelek -3mm boyutlu atıklardan manyetik ayırma yöntemi ile %94 verimle %41,76 B₂O₃; Gülgönül vd. [33] %23 B₂O₃ tenörlü Bigadiç kolemanit atıklarını flotasyonla %83 verimle %39 B₂O₃; Savaş vd.[34] %23 B₂O₃ tenörlü Emet kolemanit atıklarından Ses ötesi dalgalarını kullanarak %84,70 verimle %35,9 B₂O₃; Yazar [37] Bigadiç düşük tenörlü kolemanit cevherinden flotasyon yöntemi ile %72-93 verimle %45-47 B₂O₃ tenörlü ürün elde etmişlerdir.

3.4 Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması

Bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, bu atıkların seramik ve inşaat sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killerin tuğla sanayinde değerlendirmesi ile hem tuğla sanayinde ek hammadde kaynağı sağlamakta hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler aza indirilmektedir. Atık killer seramik sanayinde frit, sır ve masse yapımında, ayrıca inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir [5,6,20].

3.5 Atıkların Depolanması

Tesislerde zenginleştirme sonucu ortaya çıkan ince artıklar atık barajına verilmeden önce uygun zenginleştirme yöntem veya yöntemleri ile bor kazanılmalı ve geriye kalan artıklar tükeneceğe beslenmelidir. Etkili bir çökelme işleminden sonra suyu yeniden kazanılan nihai artıklar diğer endüstriyelerde kullanılma olanağı düşünülerek barajlarda stoklanmalıdır [5,6,20].



Şekil 3.1 Bor atıklarının değerlendirilmesinde mevcut seçenekler [6].

4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Bor zenginleştirme yöntemleri diğer minerallerde olduğu gibi, ekonomik değere sahip bor minerallerinden (kolemanit, üleksit, tinkal vb.) beraber aynı yatakta bulunan değersiz minerallerden (kalker, kalsit, jips, marn, tuf, kil, mika, organik madde vb.) ayırmak için; mineraller arasındaki fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellik farklılıklarına dayanılarak yapılmaktadır.

Bor cevherlerine uygulanan cevher hazırlama yöntemleri genel olarak kırma, öğütme, eleme ve sınıflandırma işlemlerini kapsar ve diğer endüstriyel hammaddeler için uygulanan yöntemlerle benzerlik gösterir. Örneğin iri kırma işlemi için çeneli kırıcılar kullanılırken ince kırma işlemleri için çekiçli ve şoklu kırıcılar tercih edilmektedir. Tüvenan bor cevherleri genellikle yüksek tenörlü olduğundan sadece kırma, eleme ve sınıflandırma işlemleri yoluyla da kolay bir şekilde zenginleştirilebilmektedir. Ayırma işlemi için aktarma tamburu, spiral klasifikatör, pervaneli aşındırma hücreleri ve hidrosiklon gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bor mineralleri kırılğan bir yapıya sahip olduğu için bu işlemler sırasında önemli oranlarda ve yüksek tenörlerde ince (-3 mm) artıklar ortaya çıkmakta bunlarda atık barajında biriktirilmektedir. Bu artıklar ise hem ekonomik hem çevresel sorunlara neden olduğu gibi artık barajlarının kapasitelerinde yetersiz hale getirmektedir [4,21,22].

Bor cevherlerinin zenginleştirilmesi için endüstriyel ve laboratuvar çapta uygulanan zenginleştirme yöntemleri;

- Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme
- Mekanik Aşındırma (Yıkama) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme
- Manyetik Zenginleştirme
- Isıl İşlemler
- Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme
- Ses Ötesi Dalgalar ile Zenginleştirme
- Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme
- Elektro Manyetik Dalgalar ile Zenginleştirme

4.1 Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme

Kolemanit, üleksit, Tinkal gibi bir çok bor mineralinde, mineralojik bileşimi açısından gang minerali olarak kil bulunmaktadır. Bor mineralinin özgül ağırlığı $1,5-2,5 \text{ gr/cm}^3$, gang minerali olan kilin ise $2-3 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Gravite zenginleştirmesinde, aralarındaki özgül ağırlık farkı nedeni ile akışkan ortamdaki hareket farklılığına dayanılarak mineral tanelerinin birbirinden ayrılmaları sağlanmaktadır. Mineral tanelerinin akışkan ortamdaki hareketleri, özgül ağırlığın yanı sıra şekil ve tane boyutu ile yakından ilişkilidir. Bor mineralini, genelde yan kayaç olarak bulunan kil mineralinden ayırmada, boyuta göre zenginleştirme ve yıkama-dağıtma yöntemleri başarılı olamaz ise diğer yöntemlere göre daha ekonomik olması açısından gravite ile zenginleştirme yöntemi denenebilir [23].

Tolun vd. [24] $-25+0,2\text{mm}$ boyut aralığındaki Bigadiç kolemanit atıklarında, Kalsine Kolemanit Atıklarının Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirilmesi uygulaması sonucunda; %68,67 verimle ile %51,05 B_2O_3 içerikli bir ürün elde edilebileceğini vurgulamışlardır.

4.2 Mekanik Aşındırma (Yıkama) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme

Cevherlerin ufalama işlemleri esnasında farklı sertlik ve gevreklikteki minerallerden meydana gelmesi nedeni ile farklı büyüklük ve şekillerde kırılması söz konusu olabilir. Bir mineralin kırılmaya karşı dayanıklılığını diğer minerallerden çok farklı olması bir veya daha çok mineralin iri veya ince tanelerde önemli ölçüde zenginleşmesine yol açabilir. Daha sonra kırılma ürünü üzerine yapılacak bir boyuta göre sınıflama ile bu iki farklı ürünü ince ve iri taneler halinde ayırarak konsantre ve artık elde edilebilir. Boyuta göre sınıflama, elekler, klasifikatörler ve siklonlar ile yapılabilir. Kırma işlemleri esnasında kristal yapılarındaki farklılık dolayısı ile cevherleri oluşturan mineraller farklı şekilde kırılabilir. Bazı cevherler, örneğin bor cevherleri kil ile karışık halde bulunur. Böyle bir cevher kırılmaya tabi tutulursa kil mineralleri ve diğer yararlı mineraller serbest hale gelir. Bu karışım su ile yıkanırsa kil mineralleri suyla dağılarak çok ince bir şlam oluşturur. Bu şlam karışımdan ayrılırsa geride yararlı mineral konsantresi ve kilden ibaret artık elde edilir. Kilin yıkanması işlemi için kullanılan başlıca aygıtlar kütüklü yıkayıcı, pervaneli yıkayıcı ve aktarma tamburlarıdır. Karıştırma süresi, karıştırma hızı, yıkama çözeltisinin süspansiyon yoğunluğu, dağıtıcı kimyasal cinsi ve dozajı, katı/sıvı oranı ve tane boyutu bu zenginleştirme işleminde etkili olan parametrelerdir [23].

Elle ayıklama yönteminde; tüvenan bor cevheri 100 mm tane boyutunun altına kırıldıktan sonra 25 mm 'lik elekte elenir ve -100+25 mm tane sınıflı bant üzerinden geçirilir. Bandın çevresindeki işçiler tarafından faydalı bor minerali ile yan taşı renk, parlaklık ve kristal yapılarındaki farklılıklarından yararlanılarak zenginleştirme işlemi yapılmaktadır [4].

Yıkama tamburu ile zenginleştirmede; bor mineralleri, kil minerallerinin su içinde şişme ve dağılma özelliklerinden yararlanılarak ayrılmaktadır. Yıkama tamburuna verilen bor cevherleri içindeki ince boyutlu killer pülp içinde dağılarak iri boyutlu bor minerallerinden sınıflandırma sonrasında ayrılmaktadır. Aktarma tamburları silindirik veya silindirokonik gövdelidirler. Silindir boyutları 1,5-2,5 m boyutunda olmaktadır. Tambur taşıyıcı rulolar üzerinde 10-15 dev/dk. bir dönüş hızı ile döndürülür. Bu tamburlara 10 cm boyuta kadar cevher beslenebilir. Gövdelerinin iç yüzeyinde malzemeyi kaldırıcı plakalar bulunur. Aktarma işleminin daha etkin yapılabilmesi için “Log-Washers” adında araçlar kullanılmaktadır. Log-Washers’lar üzeri kepçelerle kaplı ve kütük adı verilen karıştırıcı oluk üzerine yerleştirilmiştir. Cevher bir taraftan beslenmekte, su karşı taraftan verilmekte tamburun dönüşü esnasında kaldırıcılar ile karıştırılan cevherdeki kil mineralleri sürtünme ve düşmelerdeki darbe etkisi ile dağılıp, serbest hale gelmektedirler. Bor cevheri 15-25 dev/dk hızla dönen kütüğün içinde taşınırken kil mineralleri su içinde dağılarak artık kenarından taşma ile uzaklaştırılmaktadır. Kütüklü yıkayıcılarda dağıtma ve yıkama işlemi aynı anda yapılmaktadır. Bu yöntem Bigadiç ve Emet konsantratör tesisinde kullanılmaktadır [8].

Ediz vd. [26] yaptıkları çalışmalarda; Kestelek Bor işletmesi -3 mm Klasifikatör çökenini pervaneli aşındırıcı vasıtası ile mekanik dağıtma işlemine tabi tutmuşlar ve sınıflandırmışlardır. Sonuç olarak %96,04 'lük verimle ile %37,09 B₂O₃ içerikli ürün elde etmişlerdir.

Kaytaş vd. [27] yaptıkları çalışmalarda; -3mm Bigadiç kolemanit atığını mekanik karıştırıcı yardımıyla mekanik dağıtma ve sınıflandırma işlemlerine tabii tutmuşlar, bu deneyler sonucunda %86,4 verimle ile %18 olan besleme tenörünün %32,5 'e yükseldiğini saptamışlardır.

Gündüz vd. [28] yaptıkları çalışmalarda; Kestelek konsantratör tesisi (-25 + 3 mm) kolemanit ara ürününü, Scrubbing ve Yaş eleme işlemlerine tabii tutmuşlardır. Bu deneyler sonucunda %30 olan besleme tenörü %35,94 olurken %91,37 lik bir verim elde edilebileceğini vurgulamışlardır.

4.3 Manyetik Zenginleştirme

Manyetik ayırma cevher içerisinde bulunan veya sonradan karışmış olan demirli safsızlıkların temizlenmesi ve demir cevherinin zenginleştirilmesi için kullanılan yöntemdir. Genellikle kuvvetli manyetik özellik gösteren minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Kil içerisinde Fe_2O_3 içerikli biyotit bulunmaktadır. Biyotitin manyetik çekilebilirlik değeri 5,88-8,90 olduğundan orta derecede manyetik, bor mineralinin çekilebilirlik değeri olmadığından diamagnetiktir. Bu aradaki manyetik çekilebilirlik farkından dolayı bu yöntem uygulanabilir. Manyetik kuvvetler, yerçekimi, merkezkaç, sürtünme ve atalet kuvvetleri, parçacıklar arası itici veya çekici elektrostatik kuvvetler manyetik zenginleştirmede etkili olan parametrelerdir [23].

Özdağ vd. [22] Kestelek yıkama tesisinden çıkan -3 mm boyutlu atıklardan yüksek alan şiddetli sürekli manyetik ayırıcı kullanarak %94,8 B_2O_3 verimiyle %41,76 B_2O_3 tenörlü bir konsantre ve %5,2 B_2O_3 kayıpla %3,02 tenörlü bir artık elde etmişlerdir.

Gündüz vd. [28] yaptıkları çalışmalarda; Kestelek bor işletmesi -3 mm ara ürüne doğrudan kuru manyetik ayırma işlemi uygulanması sonucunda %41,27 B_2O_3 içerikli bir ürün toplam %77,47 B_2O_3 verimi ile elde edilirken, buna karşılık dağıtma sonucu elde edilen ön konsantrenin manyetik ayırma deneyi sonrasında %44,02 B_2O_3 içerikli bir ürün toplam %84,62 verim edilebileceğini vurgulamışlardır.

4.4 Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme

Mineraller arasındaki elektrik iletkenlik farkına dayanan, elektrostatik kuvvetlerin aktif olduğu bu yöntemde, minerallerin yüksek gerilim altındaki statik bir elektrik yükü kazanma, bu yükü bir süre kaybetmeme veya tamamen iletterek kaybetme özelliklerinden yararlanılmaktadır [23, 29].

Kaytaş vd. [27] Bigadiç kolemanit atıklarına elektrostatik ayırma sonucu, (-3,36+1 mm) boyut aralığında miktarca %52,69 oranında %38,21 B_2O_3 tenörlü bir konsantrenin %58,64 B_2O_3 verimiyle kazanılabileceğini, -1+0,21 mm boyut aralığında miktarca %31,50 oranında %37,42 B_2O_3 tenörlü bir konsantrenin %37,64 B_2O_3 verimiyle kazanılabileceğini saptamışlardır.

Doğan vd. [29] Kestelek -0,2 mm şlam havuzu numunesinden dağıtma sonrası elde edilen ön konsantrenin elektrostatik ayırma sonucu, miktarca %34,8 oranında %40,7 B_2O_3 tenörlü bir konsantrenin %68,2 B_2O_3 verimiyle kazanılabileceğini belirtmişlerdir. Bigadiç -3 mm +0,2 mm boyutlu artık numunesinden dağıtma sonucu elde edilen ön konsantrenin elektrostatik ayırma sonucu, miktarca %45,9 oranında %39,6 B_2O_3 tenörlü bir konsantrenin %59,9 B_2O_3 verimiyle kazanılabileceğini saptamışlardır.

4.5 Isıl İşlem ile Zenginleştirme

Bor cevheri ısıtılarak işleme tabi tutulduğunda kristal suyunu kaybederek şişme özelliği gösterip zayıf bir yapıya dönüşür ve kırılabilir yapı kazanır. Gang minerali kilden eleme yöntemi ile kolayca ayrılmaktadır. Bu eleme işlemi esnasında bor minerali, kil mineralinin tane boyutundan daha ince boyuta indiğinden elek altından alınır. Bu yöntemde etkili parametreler, sıcaklık aralığı, ısıtma süresi ve tane boyutudur [7, 25, 29].

Doğan vd. [29] yaptıkları çalışmalarda; %20,70 B₂O₃ tenörlü Kestelek -2 mm ve %28,50 B₂O₃ tenörlü Bigadiç (-3 + 0,2 mm) kolemanit atıklarına dekrepitasyon işlemi uygulamışlardır. Bu çalışmalarda; Kestelek kolemanit atığı 15 dk boyunca 450 °C sıcaklığa maruz bırakılmış sonuç olarak %36,2 B₂O₃ tenörlü ürün elde edilmiştir. Bigadiç kolemanit atığı işe 15 dk boyunca 500 °C sıcaklığa maruz bırakılmış ve %59,8 B₂O₃ tenörlü ürün elde edilmiştir. Çalışmalarda Kestelek Kolemanit atıkları üzerinde yapılan deneylerde verimin %69,2 iken Bigadiç Kolemanit atıkları üzerinde yapılan deneylerde veriminin %80,4 olduğu vurgulanmıştır.

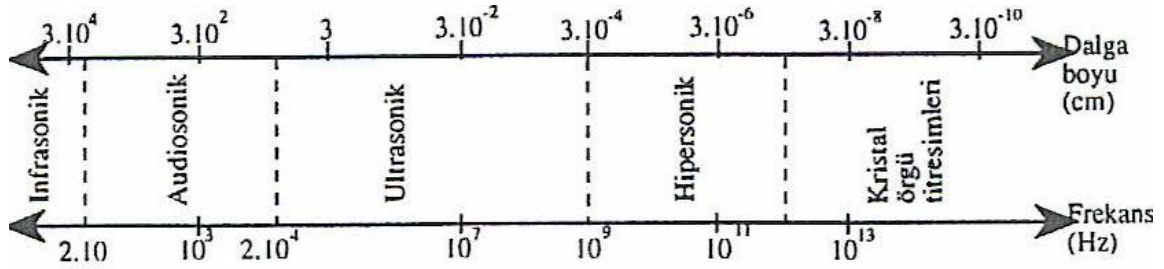
Tolun vd. [30] -4,7 mm boyutundaki %39 B₂O₃ tenörlü Bigadiç kolemanit atıklarına 500 °C' de 20 dk boyunca dekrepitasyon işlemi uygulamış, sonuç olarak -0,417 mm boyutunda %86 verimle %60 B₂O₃ tenörlü ürün elde etmişlerdir.

Kayandan vd. [31] yaptıkları çalışmalarda; Düşük tenörlü kolemanit cevherini kalsinasyon yöntemi ile zenginleştirmeye çalışmışlardır. %18,5 B₂O₃ tenörlü kolemanit numunesi 75 dk boyunca 430 °C derece sıcaklığa maruz bırakılmış ve %85,81 verimle %28,78 B₂O₃ tenörlü ürün elde edilmiştir.

4.6 Ses Ötesi Dalgalar ile Zenginleştirme

Ses maddesel ortamın titreşim hareketi olarak tanımlanmaktadır. Ses yalnızca maddesel ortamda vardır. Boşlukta ses veya ultrases oluşamaz. Ultrases insan kulağı tarafından işitilmeyen ses demektir.

İnsan kulağı 16 Hz ile 20 kHz arasındaki frekanslara duyarlıdır. Kulak bu frekansların dışında kalan frekansları algılayamaz. Sesötesi (ultrases), aynen ses gibi bir titreşim hareketidir. Titreşim hareketi olarak doğar, titreşim hareketi olarak yayılır ve titreşim hareketi olarak algılanır. Atomların veya moleküllerin denge konumları etrafında titreşimidir [35]. Şekil 4.1 'de ultrasesin bulunduğu dalga boyu ve frekans görülmektedir.



Şekil 4.1 Ultrasesin bulunduğu dalga boyu ve frekansı.

Ses ötesi dalgalar, ilaçtan mühendislik endüstrisine kadar yaygın olarak kullanılmaktadır. Cevher hazırlama teknolojisinde geniş bir şekilde kullanıldığı birçok çalışmada belirtilmiştir. Bor zenginleştirilmesinde ses ötesi dalgaların cevher yüzeylerine yapışan kil taneciklerinin uzaklaştırılmasında kullanımı hem laboratuvar hem de pilot ölçekte araştırılmaktadır [34].

Sönmez vd. [34] ses ötesi dalgaların kolemanit atıklarının zenginleştirilmesinde kullanılması için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Suda iki saat bekletmenin ardından yapılan şlam (-0,045 mm) atma deneyleri sonucunda %32,34 B₂O₃ tenörlü bir ön konsantre kazanılmıştır. Suda bekletme+mekanik damıtma deneylerinin sonucunda konsantrenin tenörü %35,04 B₂O₃'e, %89 B₂O₃ verimle yükselmiştir. Arsenik tenöründe azalma olmamış, demir tenöründe belirgin bir azalma olmuştur. Ultrasonik banyo deneyleri sonucunda %35 B₂O₃ tenörlü konsantre, beslemeye göre %84,70 verimle kazanılmıştır. Arsenik ve demir içeriklerinin belirlenmesi için optimum şartlarda tekrarlanan deneyler sonucunda %36 B₂O₃ tenörlü konsantre, beslemeye göre %83,79 verimle elde edilmiştir. Beslemedeki As miktarı %0,16'dan %0,13'e, Fe miktarı %0,73'den %0,58'e düşmüştür.

4.7 Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme

Türkiye'de flotasyon ile zenginleştirme yöntemi tesis bazında kullanılmamaktadır. Borun flotasyonu ile ilgili birçok deneysel çalışma yapmışlardır. Aytekin ve Badruk [36] American Borate Corporation Şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve dekrepitasyon yöntemlerini kullandığını bildirmişlerdir.

Flotasyon ile zenginleştirme yönteminde bor minerallerinin yüzeyine bu mineralin suyla ıslanma özelliğini azaltan bileşikler adsorplanır, sonra ortama üflenen hava yardımıyla oluşan köpüklerde minerallerin toplanması sağlanır. Sıyırıcı yardımıyla köpükler alınır ve bor mineralleri gang minerallerinden ayrılır [33]. Yapılan araştırmalara göre boraks ve asit borikin oleik asit, çamyagı, kresilik asitle kolayca yüzdürüldüğü, bastırıcı olarak sodyum silikat,

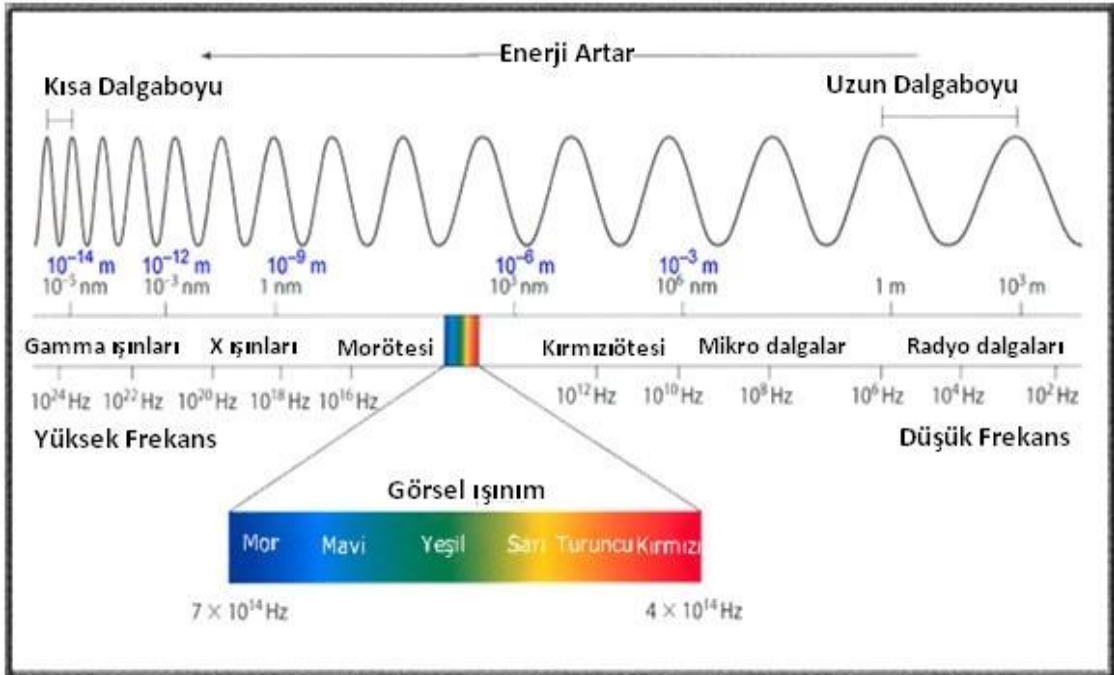
toplayıcı olarak R-825 kullanılabileceği ve borik asidin doğal yüzebilme yeteneğine sahip olması nedeniyle köpürtücü ve kolektör kullanmadan kolayca yüzdüğü bildirilmiştir [32,38]. Kolemanit mineralinin anyonik petroleum sulfonat R-825 ve naftenik asit toplayıcısıyla, bastırıcı olarak nişasta ve selektif flotasyonu için gazyağı emülsiyonu ile olumlu sonuçlar gözlenmiştir [33, 37, 39, 40].

Gülgönül vd. [33] %23 B_2O_3 tenörlü Bigadiç kolemanit atıklarını flotasyonla %83 verimle % 39 B_2O_3 tenörle elde ettiklerini rapor etmişlerdir.

Aytekin vd. [38] tinkal cevherinden önce aşındırıcı karıştırma ve kilin şlam halinde atıldığı ön konsantrasyon elde ettikten sonra toplayıcı olarak R-825, bastırıcı olarak nisasta, canlandırıcı olarak $BaCl_2$ ve köpürtücü olarak çamyacı kullanarak %34,80 B_2O_3 tenörlü konsantreyi %36,47 verimle elde etmişlerdir.

4.8 Elektromanyetik Dalgalar ile Zenginleştirme

Elektromanyetik dalgalar, yayılmaları için herhangi bir ortama ihtiyaç duymadıkları için ses dalgalarından farklıdır. Elektromanyetik dalgalar, hava ve katı materyaller içinde yayıldığı gibi herhangi bir madde içermeyen boş uzayda da yayılmaktadır [41]. Şekil 4.2.' de elektromanyetik spektrum görülmektedir.



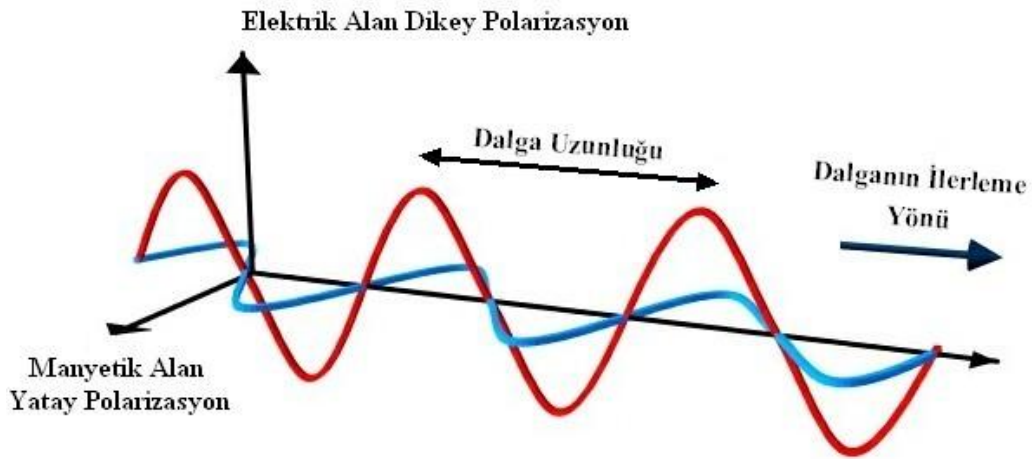
Şekil 4.2 Elektromanyetik spektrum.

Elektromanyetik dalgalar, iki etkinin sonucunda oluşurlar;

- 1) Manyetik alanın değişimi bir elektrik alan oluşturur,
- 2) elektrik alanın değişimi bir manyetik alan oluşturur.

Bu nedenle, durgun elektrik yükleri ve kararlı akımlar elektromanyetik dalgala oluşturmazlar.

Bir telden geçen akım zamanla değişirse tel elektromanyetik dalga yayar. Bütün elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızı ile yayılır. Bu dalgalar, belirli kaynaktan bir alıcıya enerji ve momentum taşırlar. Bütün elektromanyetik dalgalar boşlukta c hızı ile yayıldıklarından frekansları ve dalgaboyları arasında $\lambda \cdot f = c$ bağıntısı vardır [42]. Bir mikrodalganın görünümü Şekil 4.3.' de verilmiştir.



Şekil 4.3 Bir mikrodalganın görünümü.

Dalga boyu kıaldıkça frekans artmaktadır. Örneğin AM radyo bandının frekansı bir milyon hertz (1 MHz) 'dir ve dalga boyu yaklaşık olarak 300 metredir. Mikrodalga fırınlar 2,45 milyar Hertz (2,45 GHz) frekansında çalışmaktadır ve dalga boylan 12 cm'dir.

Elektromanyetik dalgalar Foton denilen küçük enerji paketlerinden oluşmaktadır. Fotondaki enerji frekans ile doğru orantılıdır: Frekans arttıkça fotondaki enerji miktarı da artmaktadır.

Elektromanyetik dalganın biyolojik sistemlere olan etkisinin bir kısmını alanın gücü ve bir kısmını da fotonun enerjisi belirler [49]. Elektromanyetik spektrumun genel sınıflanması Çizelge4.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Elektromanyetik spektrumun genel sınıflandırılması.

Bant	Kısaltma	Frekans Aralığı	Dalgaboyu Aralığı
Ses Frekansı	AF	20 to 20,000 Hz	15,000,000 to 15,000 m
Radyo Frekansı	RF	10 kHz to 300,000 MHz	30,000 m to 0.1 cm
Çok düşük frekans	VLF	10 to 30 kHz	30,000 to 10,000 m
Kısa frekans	LF	30 to 300 kHz	10,000 to 1,000 m
Orta Frekans	MF	300 to 3,000 kHz	1,000 to 100 m
Yüksek frekans	HF	3 to 30 MHz	100 to 10 m
Çok yüksek frekans	VHF	30 to 300 MHz	10 to 1 m
Ultra yüksek frekans	UHF	300 to 3,000 MHz	100 to 10 cm
Süper yüksek frekans	SHF	3,000 to 30,000 MHz	10 to 1 cm
Extreme yüksek frekans	EHF	30,000 to 300,000 MHz	1 to 0.1 cm
Isı ve Infrared*	IR	10^6 to 3.9×10^8 MHz	0.03 to 7.6×10^{-5} cm
Görünür Bölge*	vis	3.9×10^8 to 7.9×10^8 MHz	7.6×10^{-5} to 3.8×10^{-5} cm
Ultraviyole*	UV	7.9×10^8 to $2.3 \cdot 10^{10}$ MHz	3.8×10^{-5} to 1.3×10^{-6} cm
X-ışınları*	X-ray	2.0×10^9 to $3.0 \cdot 10^{13}$ MHz	1.5×10^{-5} to 1.0×10^{-9} cm
Gama ışınları*		2.3×10^{12} to $3.0 \cdot 10^{14}$ MHz	1.3×10^{-8} to 1.0×10^{-10} cm
Kozmik ışınlar*		$>4.8 \times 10^{15}$ MHz	$<6.2 \times 10^{-12}$ cm
* Değerler yaklaşıkştir.			

4.8.1 Mikrodalgalar

Elektromanyetik yelpaze içinde değişik isimlerle incelenen ışınlar temelde dalgalar halinde yayılan ışınlardır. Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun dalga boyu 1 mm'den 1 m ye kadar olan ve frekansı 300 MHz den 300 GHz'e kadar olan bölümüne denk gelen iyonize olmamış dalgalardır. Kızıl ötesi ısımlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır [41,42,43]. ISM (Industrial, Scientific and Medical use frequencies) frekansları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 ISM (Industrial, Scientific, and Medical) frekansları [43].

Frekans	Vakum ortamdaki dalga boyu
433,9 MHz \pm 0,2%	69,14 cm
915 MHz \pm 13MHz	32,75 cm
2450 MHz \pm 50 MHz	12,24 cm
5800 MHz \pm 75 MHz	5,17 cm
24120 MHz \pm 125 MHz	1,36 cm

Metalik bir levha benzeri aynadan yansıyan mikrodalgalar, dielektrik ara yüzeyinde kırılır ve parabolik yansıtıcı ile odaklanır. Mikrodalga enerji belirli bir frekansta yüzdelik bir dönüşüm verimiyle elektrik enerjisinden elde edilir. Mikrodalgalar, görünür, ultraviyole gibi elektromanyetik enerji şekillerinden daha yüksek dalga boylarına ve daha düşük enerji miktarına sahiptirler [44].

4.8.2 Mikrodalga fırınların tarihçesi

1940 'lı yıllarda 2. Dünya savaşı sırasında Alman uçak ve denizaltılarının yerini tespit etmeye yönelik çalışmalar yapan bilim adamları Magnetron adını verdikleri ve elektronik dalgaları metal yüzeylerinden yansıtan bir cihaz keşfetmişlerdir. Bu keşif onları, şimdi radar adı verilen cihaza götüreceği yolda bir anahtar olmuştur [43,45].

Magnetronun keşfedilmesinin ardından mikrodalgalarla pişirme fikri ise ilk kez Percy SPENCER tarafından, 1945'li yıllarda başlamıştır. 1947'de bu buluşunun patentini almış ve ilk mikrodalga fırını 1,8 metre boyunda ve 340 kg. ağırlığında olarak tasarlamıştır.

1950'li yıllarda yapılan ilk çalışmalarda mikrodalgaya maruz bırakılan maddelerin özellikleri hakkında güvenilir veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu ön çalışmalar sonucunda birçok organik ve inorganik maddenin 100 Hz ile 10 GHz frekansları arasındaki yapısal özellikleri incelenmiştir. İlk uygulamalar gıda sanayinde görülmektedir. Örneğin; gıda, kâğıt, inşaat malzemeleri, metalürji sanayi, çevre ile ilgili olarak radyoaktif atık ve hastane atıklarının zararsız hale getirilmesinde kullanım ve uygulama alanı bulmuştur [45,46].

4.8.3 Mikrodalga radyasyonun kullanım alanları

Mikrodalga ışınım enerjisi günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan bir kısmı şöyledir.

- Gıda endüstrisinde; pişirme, kurutma, haşlama-pastörizasyon, sterilizasyon, buz çözme gibi işlemlerinde,.
- Metalürji endüstrisinde; kavurma, ergitme, asit ile mineralin ekstraksiyonu, oksit minerallerin karbotermik indirgenmesi, minerallerin öğütülmesi, minerallerin safsızlıklarından ayrılması ve hidrat suyu içeren bileşiklerin susuzlaştırılması işlemlerinde,
- Çevre mühendisliğinde; kirlenmiş katıların temizlenmesi, hastane, nükleer ve fabrika atıklarının işlenmesi, minerallerin işlenmesi ve aktif karbonun rejenerasyonu gibi işlemlerde,

- Seramik endüstrisinde; indirgen kraking, termal gerilim, kirliliklerin giderilmesi, sinterleşme ve kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır.
- Kâğıt sanayinde; kurutma amaçlı,
- Tekstil endüstrisinde; kurutma, ağartma ve boyama amaçlı,
- Maden mühendisliğinde; cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde,
- Çimento sanayinde ise; çimentonun iyileştirilmesinde, beton ve kayaların kırılmasında kullanılmaktadır [51].

Ayrıca birçok endüstride proses kademelerinde atık malzeme oluşmaktadır. Atık malzemenin içerdiği bileşenlerin ortaya koyduğu tehlikeyi azaltmak amacıyla, üretilen atığı minimuma indirmek ve zehirli atıkların emniyetli şekilde tutulması, taşınması, depolanması, imhası, giderilmesi ve bertaraf edilmesi işlemleri için teknolojiler araştırılmaktadır. Günümüzde geniş miktarlardaki gaz, katı ve sıvı atıkların yönetiminde mikrodalga enerjisi dikkate değer bir potansiyel ortaya koymaktadır [47].

4.8.4 Mikrodalga enerjisinin avantaj ve dezavantajları

Mikrodalga enerjisi ile ısıtmanın avantajları:

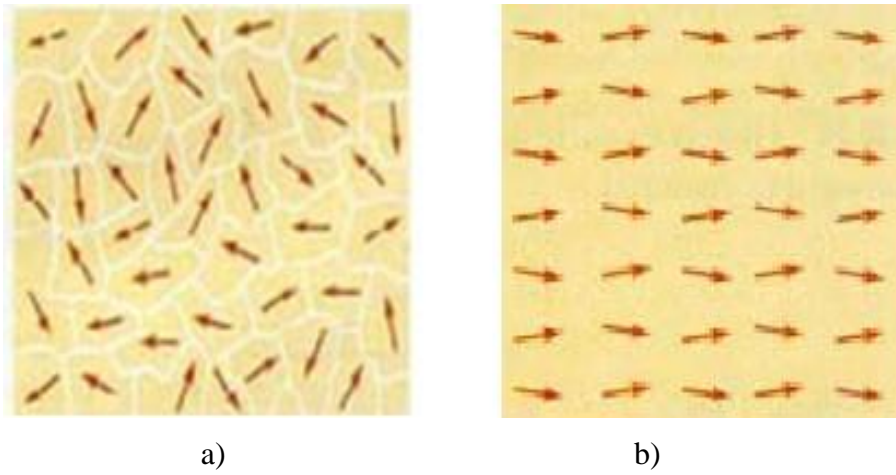
- İşlem sıcaklığına hızlı ısıtma.
- Üniform sıcaklık dağılımı.
- Düşük enerji maliyeti.
- Çevre dostu.
- Daha kaliteli son ürün.
- Hızlı proses ve yüksek kontrol.
- Mikrodalga ile ısıtmada numunenin ısıtılması iç kısımda sağlandığı için ısıtılan numunenin sıcaklık nüvesi daha yüksektir [48].

Mikrodalga enerjisi ile ısıtmanın dezavantajları:

- Mikrodalga ısıtma ile bazı ürünler zarar görebilir (derin ısı uygun dağıtılmazsa).
- Ani ısıtma sonucu oluşan basınçla üründe patlama, kabarma ve dağılmalar olabilir.
- Giriş voltajındaki değişimler cihazda ve üründe problem yaratabilir.
- Kurutma işlemlerinde %50'den fazla su içeren sistemler için uygun değildir.
- Sabit yatırım 2500-3000 \$/kWh kadardır.
- Gıda ve kurutma sanayi dışındaki uygulaması yaygınlaşmamıştır [43,46].

4.8.5 Mikrodalga enerjisi ile ısıtmanın prensibi

Mikrodalgalar, iyonik parçacıkların göçü ve/veya dipolar parçacıkların rotasyonu ile moleküler bir harekete sebep olurlar. Dolayısıyla, iyonik iletim ve dipolar rotasyon mikrodalga enerjisi kaybının (malzemedeki enerji dağılımı) iki önemli mekanizmasını oluşturmaktadır [49]. İyonik iletim uygulanan elektromanyetik alandaki çözünen veya titreşen iyonların göç etmesini, dipol rotasyon ise polarize olmuş moleküllerin bir düzene sokulmasını (Şekil 4.4) ifade etmektedir [45].



Şekil 4.4 a) Gelişigüzel hareket eden polar moleküller b) Elektromanyetik alanla hizaya sokulan moleküller [50].

Mikrodalga ısıtmadan dolayı bir malzemedeki depolanan termal enerji miktarı şu faktörlere bağlıdır [51,52].

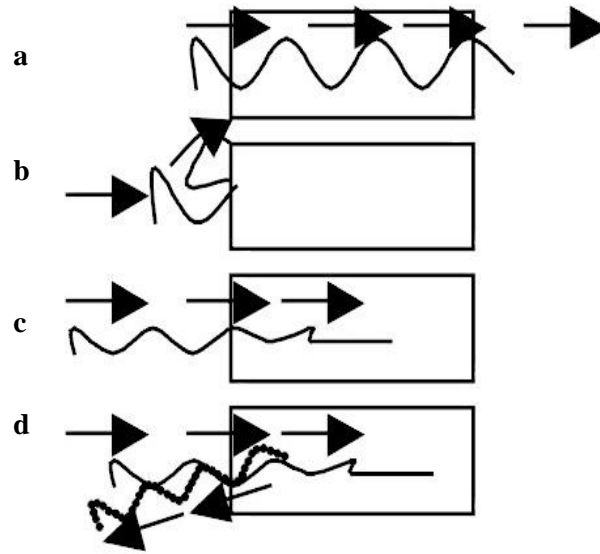
- Elektrik alan gerilimi (güç yoğunluğu)
- Mikrodalga ışınımının frekansı
- Malzemenin dielektrik özellikleri

Malzemeleri mikrodalga ile etkileşimleri bakımından üç kategoriye (Şekil 4.5) ayırmak mümkündür [53].

- Mikrodalganın herhangi bir kayba uğramadan geçtiği geçirimli (transparan) düşük kayıplı malzemeler,
- Herhangi bir nüfuz olmadan yansıtan malzemeler,

- Dielektrik kayıp faktörü değerine bağlı olarak mikrodalgayı absorbe eden (soğuran) yüksek kayıplı malzemeler

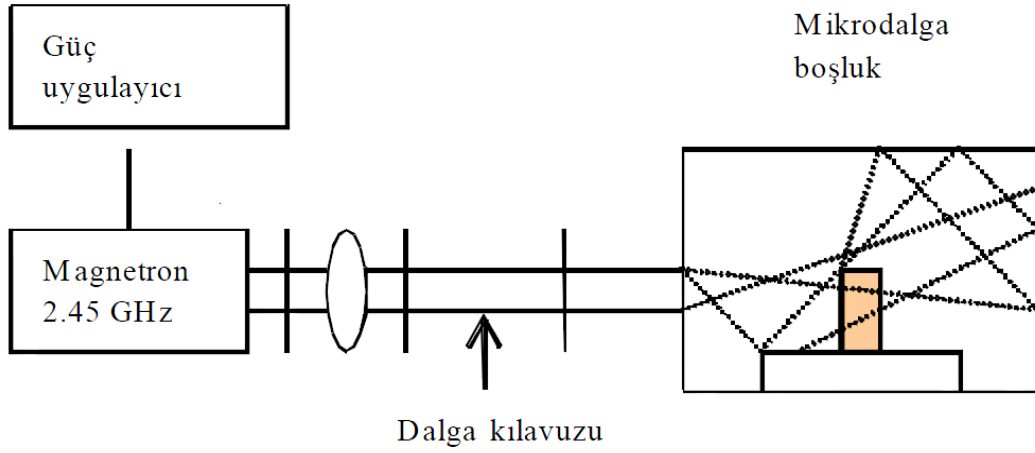
Malzeme tipi	Mikrodalga nünfuz edilmesi	Isınma özelliği
1 Geçirimli (Transparan)	Tamamen geçirgen	Isınma yok
2 İletken(Kondüktör)	Yok (Yansıma sebebiyle)	Isınma yok
3 Soğurucu(Absorbe edici)	Tamamen absorbe edici	Malzeme ısınır



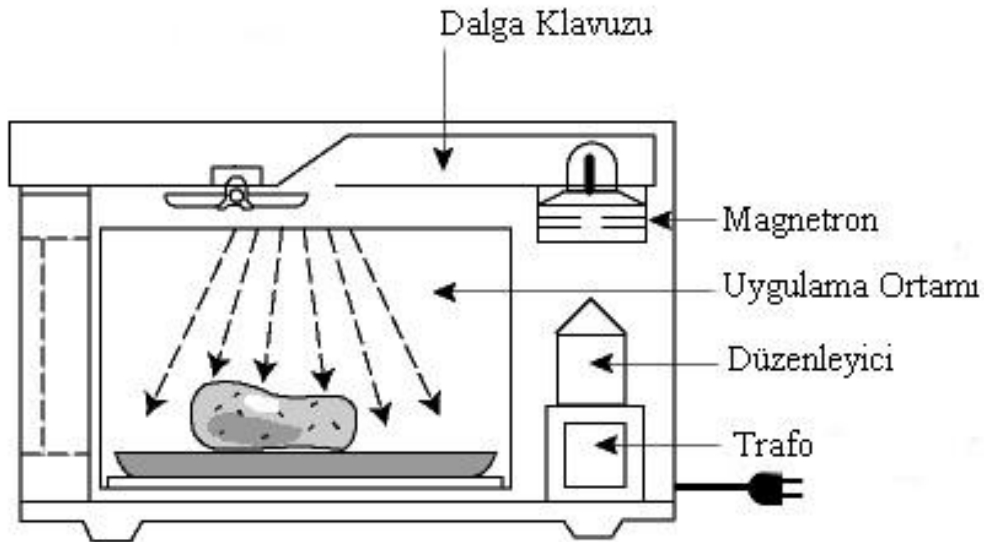
Şekil 4.5 Malzeme ile mikrodalga etkileşimi a) geçirimli b) iletken c) soğurucu d) karma

4.8.6 Mikrodalga fırınların çalışma prensibi

Mikrodalga fırınlarda ısıtma sistemi 4 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; Güç temini, magnetron, mikrodalga radyasyonun taşınması için dalga klavuzu ve mikrodalga radyasyonu sızdırmayacak uygulama ortamıdır. Şekil 4.6.' da, sistemin basitleştirilmiş diyagramı, Şekil 4.7.' de ise bir mikro dalga fırının yapısı verilmiştir.



Şekil 4.6 Bir mikrodalga ısıtma sisteminin basit diyagramı [53].

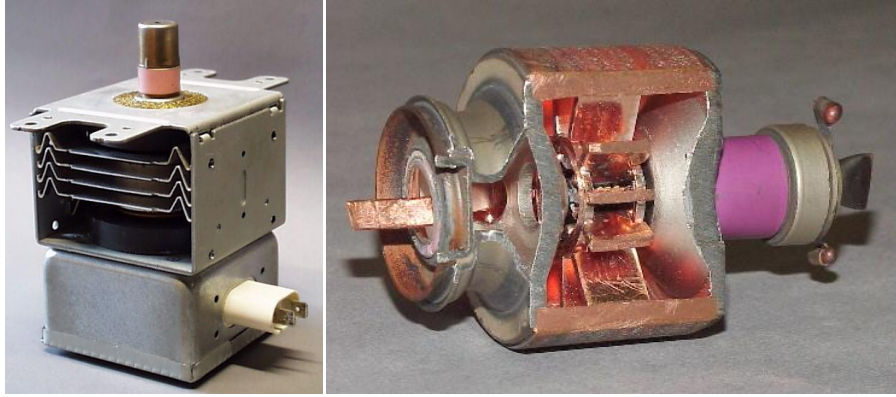


Şekil 4.7 Bir mikrodalga fırının yapısı.

Trafo; şehir şebekesinden gelen ~230 volt elektrik enerjisini magnetronun özelliğine göre 3,5-4 Kilovolta yükselten parçadır.

Düzenleyici; Trafodan gelen yüksek elektrik enerjisini doğru akıma çevirip magnetrona aktarır.

Magnetron; Mikrodalga fırınlarda, yüksek frekans üretmeye yarayan parçadır. Transformatörden çıkıp düzenleyici vasıtasıyla gelen yüksek voltajlı elektrik enerjisini mikrodalga radyasyona çevirir. Tipik bir magnetron ve magnetron kesiti Şekil 4.8' de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Tipik bir magnetron ve magnetron kesiti.

Dalga Klavuzu Uygulama Ortamı; Magnetrondan çıkan mikrodalga radyasyon, dalga Klavuzu ile uygulama ortamına iletilir. İki bölümünde en önemli özelliği mikrodalga radyasyonu; kayıp olmaması ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaması için sızdırmaz bir yapıda olmasıdır.

4.8.7 Mikrodalga enerjisi ile yapılan çalışmalar

Eskibalıcı [43] mikrodalga enerjisinin kolemanit ve üleksit mineralleri üzerindeki etkisi ve bu etki altında kolemanit ve üleksit minerallerinin değişik cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemlerine nasıl cevap verdiği incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda;

Kolemanit ve üleksit minerallerinin (-8+4) mm tane boyutu grubu üzerinde yapılan tüm deneylerde uygulanan mikrodalga enerjinin minerallerin öğütülebilirliğini bariz bir şekilde artırdığı gözlemlenmiştir. Orjinal kolemanit mineralinin öğütme sonrası d_{80} tane boyutu 5,5 mm'den 3,4 mm'ye kadar düşmesine karşın orijinal üleksit mineralinin öğütme sonrası d_{80} tane boyutu 5,2 mm'den 0,15 mm'ye kadar düşmüştür. Bu sonuç da mikrodalga enerjisinin minerallerin öğütülebilirliklerini önemli oranda arttırdığını göstermektedir.

Kolemanit ve üleksit mineralleri üzerinde yapılan çözünürlük deneylerinde; normal (mikrodalga ön işlem görmemiş) numunelerin deney sonuçlarını incelendiğinde; çözünme süresi ve çözelti sıcaklığı arttıkça numunelerin çözülmeye bağlı katı kayıplarında artış meydana gelmiş, pülp yoğunluğu arttıkça ise katı kayıplarında bir düşme gözlenmiştir.

Mikrodalga enerjinin çözeltideki % katı kayıpları üzerindeki etkisini görebilmek için yapılan deneylerde %10 pülp katı oranı, oda sıcaklığı ve 60 dk çözünme süresi sabit tutularak bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Mikrodalgaya bağlı yapılan bu deneylerden güç yoğunluğu

ve maruz kalma süresi arttıkça kolemanit ve üleksit minerallerinin çözünürlük % katı kayıplarında normal numunelere kıyasla büyük azalmalar meydana gelmiştir. Bu miktar kolemanit ve üleksit mineralleri için sırası ile %58 ve %60 seviyelerinde gerçekleşmiştir

Eker [54] kömürdeki pritik kükürdün giderilmesinde mikro dalga enerjisinin kullanımını araştırmıştır. Sonuç olarak;

Mikrodalga ortamında yapılan deneylerde; 90, 180 ve 360 Watt mikrodalga radyasyon gücünde konsantrasyonları %2,50-%15 arasında değişen trona çözeltisi kullanılarak, 30-480 saniye arasında değişen mikrodalga radyasyon sürelerinde ön deneyler yapılmış ve optimum koşullar belirlenmiştir. Mikrodalga ortamında yapılan deneylerin sonucunda Dursunbey ve iskilip linyitlerinin toplam kükürt içerikleri sırasıyla %38 ve %32 oranında azaltılırken, piritik kükürt içerikleri ise sırası ile; %48 ve %38 oranında giderilmiştir.

Özkan vd. [55]Mikrodalga ön işlemin traverten ve mermerin kırılma hızına ve ultrasonik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda;

Mikrodalga ile ön muameleye tabi tutulan traverten ve mermer örneklerinin özgül kırılma hızlarında artış sağlanmıştır. Mikrodalga gücünün artmasıyla her iki numune için elde edilen kırılma hızlarının arttığı, ancak 600 W'ın üzerinde önemli bir etkinin olmadığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan, 600 W'lık sabit mikrodalga gücünde, 10 dakikanın üzerinde uygulanan mikrodalga muamele süreleriyle travertenin özgül kırılma hızlarında yine bir artış sağlanamamıştır. Ancak, aynı mikrodalga gücü altında, artan işlem süresi ile mermerin kırılma hızları önemli ölçüde yükselmiş olup, 30 dakikalık bir işlem sonucunda mikrodalgaya tabi tutulmadan elde edilen kırılma hızının yaklaşık iki katına ulaşmıştır. Yani, mikrodalga ile ön işlem yapılan travertenin kırılma hızlarında artış sağlamakla birlikte, mermer ile karşılaştırıldığında bu etki düşüktür. Mermer için, özellikle mikrodalga ile muamele süresinin uzatılması kırılma hızlarının artışı üzerinde önemli rol oynamıştır.

Özbayoglu ve Depci [56], Mikrodalga Enerjisinin Kömürlerin Öğütülebilirliğine Etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda;

İthal kömür numunesi, öğütülerek ve elenerek (-19,05 +9,53 mm), (-9,53 +4,66 mm) ve (-4,66 +0,56 mm) olmak üzere üç fraksiyona ayrılmıştır. Her fraksiyon 15 ile 60 saniye arasında 0,17 kW ve 0,9 kW arası enerjide mikrodalga radyasyonuna maruz bırakılmış ve HGI (Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi) değerleri belirlenmiştir. Gücün, işlem zamanının ve tane boyutunun öğütülebilirlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikrodalga işleminin sonuçları, işleme tabi tutulmamış kömürle karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, farklı boyut aralığındaki

kömürlerin mikrodalga ile ısıtma işleminden etkilendiğini ve HGI’te tane boyutuna bağlı olarak %107-125 oranında, öğütme işlemi sonucu ortaya çıkan toz miktarlarında ise %106 – 118 oranında artış sağlandığını göstermiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler Etimaden Emet Bor İşletmesi Müdürlüğü, Hisarcık ve Espey atık (-3 mm) barajlarından (Şekil 5.1), numune alma şartlarına uygun olarak yapılmıştır. Atık Barajının çeşitli noktalarından temsili olarak alınan yaklaşık 400'er kg numune işletme laboratuvarında numune bölücü ile ikiye ayrılıp 200'er kg olarak Dumlupınar üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği cevher hazırlama laboratuvarına getirilmiştir. Numune, içinde bulunan nemi kaybetmesi için laboratuvar atmosferinde kurutulmuş ve sabit tartıma getirilmiştir.

Numune, bölücü ve konileme-dörtleme yöntemi ile temsili olarak ayrılmış, analiz ve deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.1 Kütahya Emet Bor İşletmesi Hisarcık ve Espey atık barajlarının konumları.

5.1 Karakterizasyon Testleri

Karakterizasyon testleri kapsamında; Etimaden Emet Hisarcık ve Espey konsantratör atıklarının kimyasal, ısı, mineralojik özellikleri ve tane boyutna bağlı B_2O_3 dağılımları incelenmiştir.

5.1.1 Kimyasal inceleme

Karakterizasyon testleri kapsamında ilk olarak numunelerin komple kimyasal analizi yapılmıştır. Numunelerin B_2O_3 analizleri volumetrik olarak Etimaden Emet Bor İşletmesi laboratuvarlarında, diğer analizleri ise Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında bulunan SPECTRO X-LAB 2000 marka XRF cihazında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Espey ve Hisarcık atık kolemanit numunelerinin kimyasal analizleri.

İçerik	Espey Miktar (%)	Hisarcık Miktar (%)	İçerik	Espey Miktar (%)	Hisarcık Miktar (%)
B_2O_3	28,20	19,10	TiO_2	0,36	0,18
SiO_2	27,26	28,17	CaO	15,64	22,3
Fe	0,84	1,41	SrO	0,61	1,43
Na_2O	1,02	0,78	Fe_2O_3	2,89	1,55
MgO	6,11	10,63	P_2O_5	6,11	10,63
Al_2O_3	7,01	3,274	SO_3	0,36	0,72
K_2O	2,16	1,41	kk	7,37	8,48

Espey konsantratör atığının %28,20 B_2O_3 , Hisarcık konsantratör atığının ise %19,10 B_2O_3 içerdiği görülmüştür.

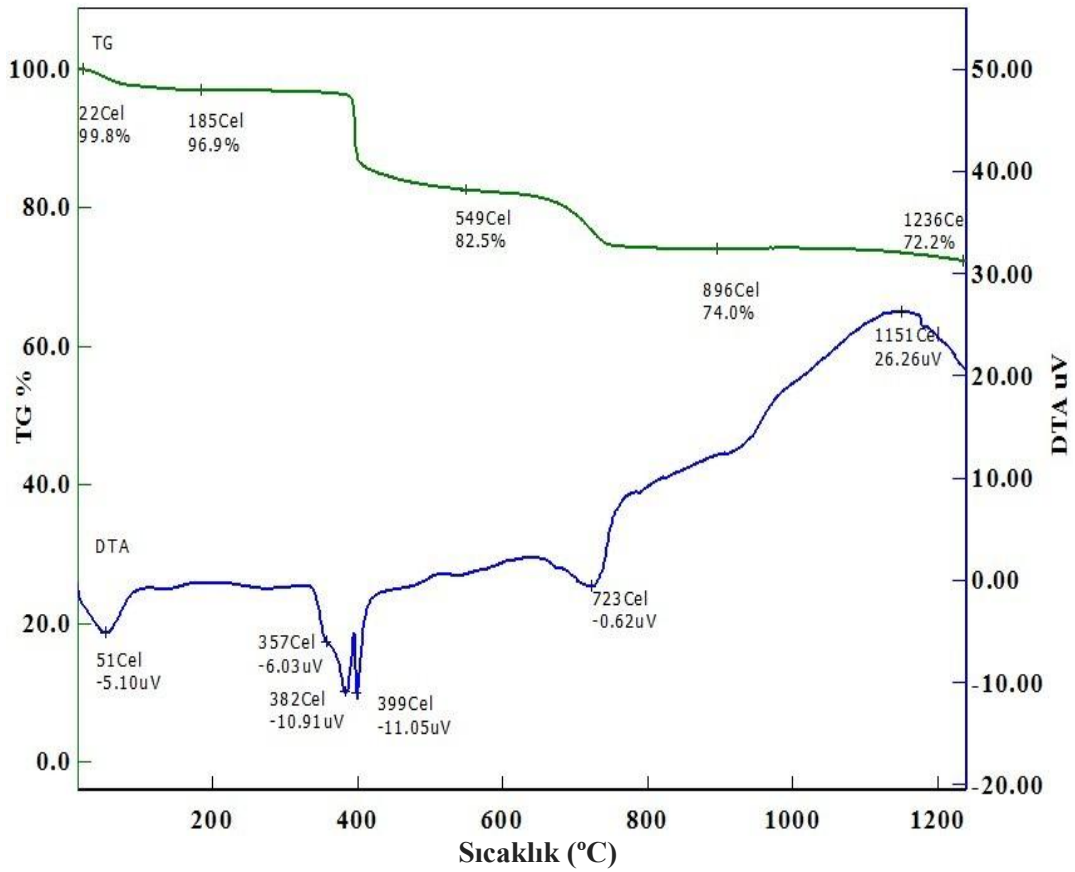
5.1.2 Isıl özelliklerin incelenmesi

Termo Gravimetrik Analiz (TGA) cihazı, artan ortam sıcaklığına bağlı olarak malzemenin kütle değişimini termobalans ile sürekli olarak ölçmektedir. Malzemedeki nem ve uçucu madde miktarı hakkındaki bilgiyi kütle kaybı değişimi olarak verir. Tipik ısıtma sıcaklığı 10 °C /dk ve optimum örnek ağırlığı ise 10-100 mg arasındadır.

Diferansiyel Termal Analiz (DTA) cihazı, zamana bağlı olarak malzemelerin referans ve örnek arasındaki sıcaklık farkını artan sıcaklığa karşın ölçer. Isı akısının sıcaklık kontrollü bir ortamda değişimi, örnekte hangi sıcaklıkta ve ne kadar termal reaksiyona uğradığı ve bu reaksiyonların derecesi, ekzoterm ve endotermilerin, erime, kristallenme ve faz değişimleri hakkında bilgi vermektedir.

Testler; Dumlupınar Üniversitesi Anorganik Kimya laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Diamond marka TGA/DTA cihazında 10 °C /dk ısıtma sıcaklığında kuru hava ortamında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizlerdeki amaç; Hisarcık ve Espey atık barajlarındaki kolemanit numunelerinin ısı uygulaması sırasında uzaklaşan bünye suyunun miktarı, bozunmanın sıcaklığı, bozunma ve yeniden kristallenmenin doğası ve mekanizmasını tespit edebilmek için gerçekleştirilmiştir. Hisarcık ve Espey atık barajlarındaki kolemanit numunesinin TGA ve DTA grafikleri Şekil 5.2 ve 5.3 'de verilmiştir.



Şekil 5.2 Hisarcık Atık Barajı kolemanit numunesinin TGA ve DTA grafiği.

Hisarcık- Termo Gravimetrik Analiz (TGA) grafiğinden görüleceğı üzere kütle kaybı;

	185 °C (%)	185-549 °C (%)	549-1236 °C (%)	Toplam Kayıp (%)
Hisarcık Atık Barajı Numunesi	3,1	14,4	10,3	27,8
Su Kaybının Tipi	*	**	***	

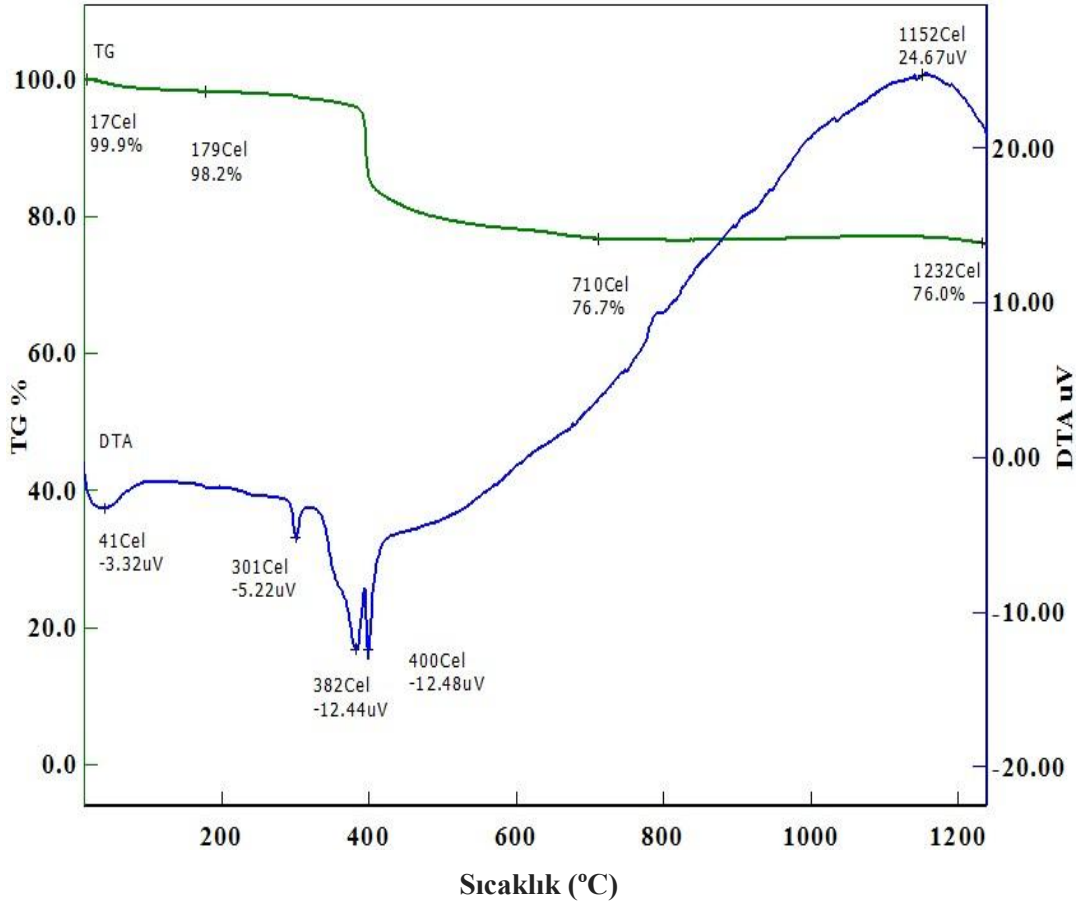
* Kapiler su

** Serbest kristal suyu

*** Polyanionların içindeki (OH)⁻ formundaki suyun uzaklaşması

Numune de bulunan hidroskopik su 30 - 100 °C de, %2,56'lik kütle kaybı ile yapıdan uzaklaşmaktadır. Grafikte görüldüğü gibi 380 °C ye kadar TGA eğrisinden ağırlığında ciddi bir değışme olmadığı görülmüştür.

DTA eğrisinden 380 - 400 °C arasında 2 endotermik reaksiyonun varlığı görülmüştür ve 382 ile 399 °C 'lerde 2 pik değer vermiştir. Bu iki reaksiyon TGA ergisinde 390 °C'de kısmen birbiri üstüne binmiş ve yaklaşık olarak % 8,33 ağırlık kaybı gözlenmiştir. Bu iki pik ile 185 - 549 °C arasında numune yapısında bulunan serbest kristal suyu bünyesinden uzaklaştırmaktadır. 549 - 896 °C arasında numunede bulunan polyanionların içindeki (OH)⁻ formundaki su uzaklaşmış ve DTA eğrisinden 723 °C 'de gözlemlenen 3. endotermik reaksiyonun ardından kristalleşme başlamıştır. 896 -1236 °C arasında TGA eğrisinden ağırlığının sabite yakın olduğu ve yine DTA eğrisinden kristalleşmenin devam ettiği gözlenmiştir. 1236 °C de toplam kütle kaybı %27,8 i bulmuştur.



Şekil 5.3 Espey Atık Barajı kolemanit numunesinin TGA ve DTA grafiği.

Espey - Termo Gravimetrik Analiz (TGA) grafiğinden görüleceği üzere kütle kaybı;

	179 °C (%)	179-1232 °C (%)	Toplam Kayıp (%)
Hisarcık Atık Barajı Numunesi	1,8	22,2	24
Su Kaybının Tipi	*	**+***	

* Kapiler su

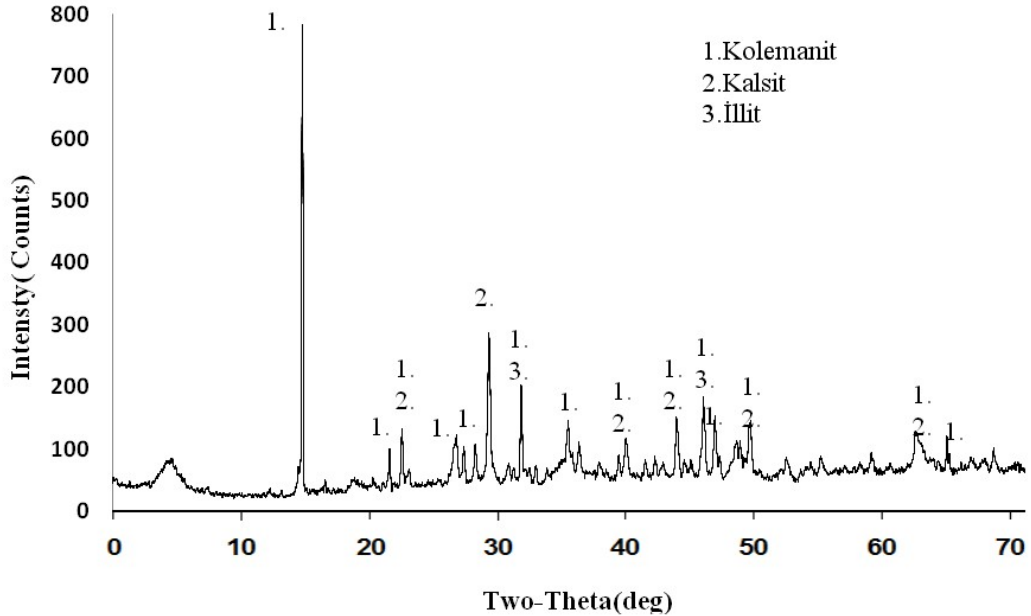
** Serbest kristal suyu

*** Polyanionların içindeki (OH)⁻ formundaki suyun uzaklaşması

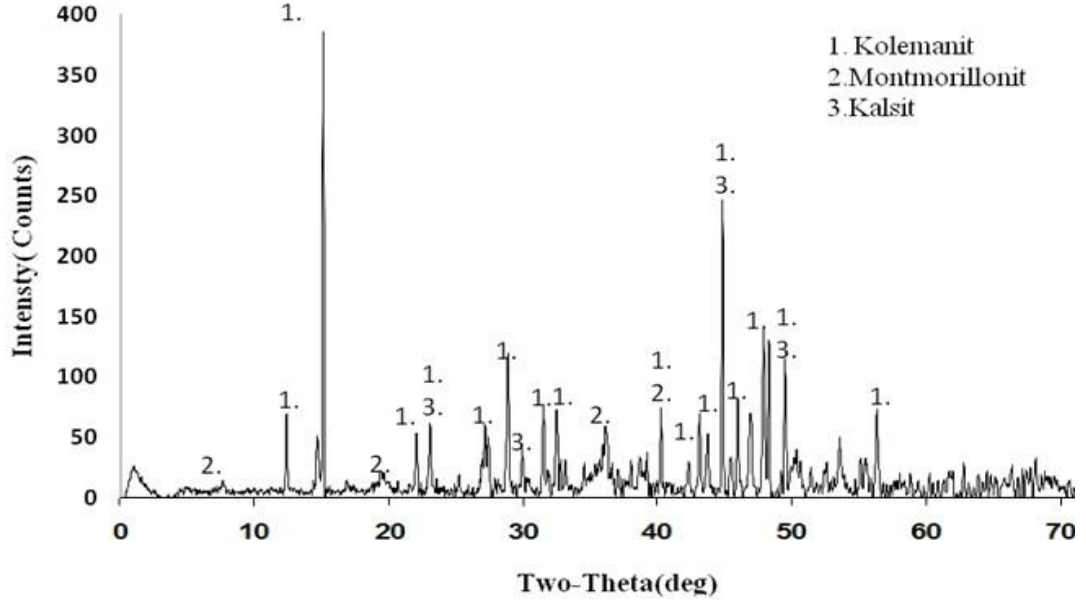
Numune de bulunan hidroskopik su 30 - 100 °C de, %1,74'lük kütle kaybı ile yapıdan uzaklaşmaktadır. Grafikte görüldüğü gibi 300 °C ye kadar TGA eğrisinden ağırlığında ciddi bir değişme olmadığı gözlemlenmiştir. DTA eğrisinden 380 - 400 °C arasında 2 endotermik reaksiyonun varlığı görülmüştür ve 382 ile 400 °C 'lerde 2 pik değer vermiştir. Bu iki reaksiyon TGA ergisinde 390 °C'de kısmen birbiri üstüne binmiş ve yaklaşık olarak % 8,7'lik ağırlık kaybı gözlenmiştir. Bu iki pik ile 179 - 710 °C arasında numune yapısında bulunan serbest kristal suyu ve polyanionların içindeki (OH)⁻ formundaki suyu bünyesinden uzaklaştırmıştır. 710 -1232 °C arasında TGA eğrisinden ağırlığının sabite yakın olduğu ve DTA eğrisinden 400 °C'de başlayan kristalleşmenin devam ettiği gözlenmiştir. 1236 °C'de toplam kütle kaybı %24'ü bulmuştur.

5.1.3 Mineralojik inceleme

Temsili numuneler üzerinde mineralojik yapının belirlenmesi için XRD (X-Ray Difraksion) analizi yapılmıştır. Kolemanit numunelerinin mineralojik analizleri Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında bulunan Rigaku Miniflex Brand marka XRD cihazı ile Cu α ($\lambda=1,54$ A°) ışınması kullanılarak yapılmıştır. Hisarcık ve Espey atık barajlarındaki kolemanit numunesinin XRD grafikleri Şekil 5.4 ve 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Hisarcık Atık Barajındaki kolemanit numunesinin XRD grafiği.



Şekil 5.5 Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesinin XRD grafiği.

Hisarcık Atık Barajındaki kolemanit numunesinin XRD sonuçlarına göre, artık barajı numunesinde kolemanit, kalsit ve illit bulunmaktadır. Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesinin XRD sonuçlarına göre ise, atık barajı numunesinde kolemanit, montmorillonit ve kalsit bulunmaktadır. Bu mineraller kimyasal analizle uyumludur.

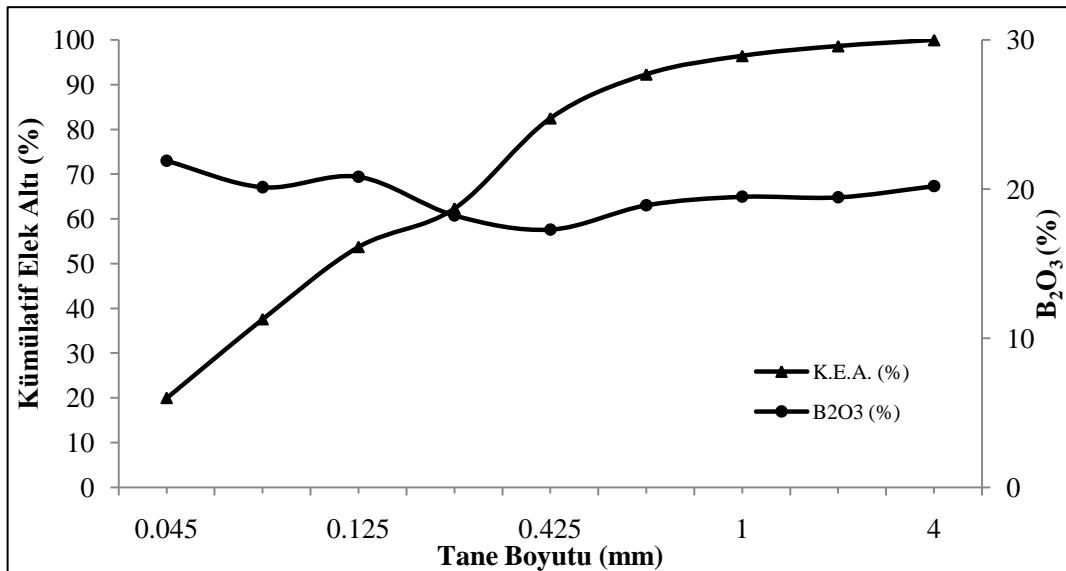
4.1.4 Tane boyutu analizleri

Deneylerde kullanılacak atık barajı kolemanit numunesinin tane boyutunu tespit etmek amacıyla kuru elek analizi yapılmıştır. Numunelerin elek analizi sonuçları ve %B₂O₃ dağılımları Çizelge 5.2, 5.3’de ve Şekil 5.6, 5.7.’de verilmektedir.

Çizelge 5.2 Hisarcık Atık Barajı kolemanit numunesinin kuru olarak yapılan elek analizi sonuçları ve %B₂O₃ dağılımları.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	ΣEÜ (%)	ΣEA (%)	B ₂ O ₃ (%)
+2	19.961	19.961	100	21.90
-2 +1	17.608	37.569	80.039	20.13
-1 +0,5	16.16	53.729	62.431	20.83
-0,5 +0,425	8.594	62.323	46.271	17.10
-0,425 +0,212	20.181	82.504	37.677	15.73
-0,212 +0,125	9.811	92.315	17.496	17.15
-0,125 +0,075	4.135	96.45	7.685	19.10
-0,075 +0,045	2.187	98.637	3.55	19.45
-0,045	1.363	100	1.363	20.20
TOPLAM	100			19.10

Çizelge 5.2'den görüldüğü gibi numunenin %80'i 2 mm'nin altındadır. B₂O₃ dağılımı ise +0,5 mm, -0,5+0,125 mm, -0,125 mm olmak üzere 3 boyut aralığında yoğunlaşmaktadır.

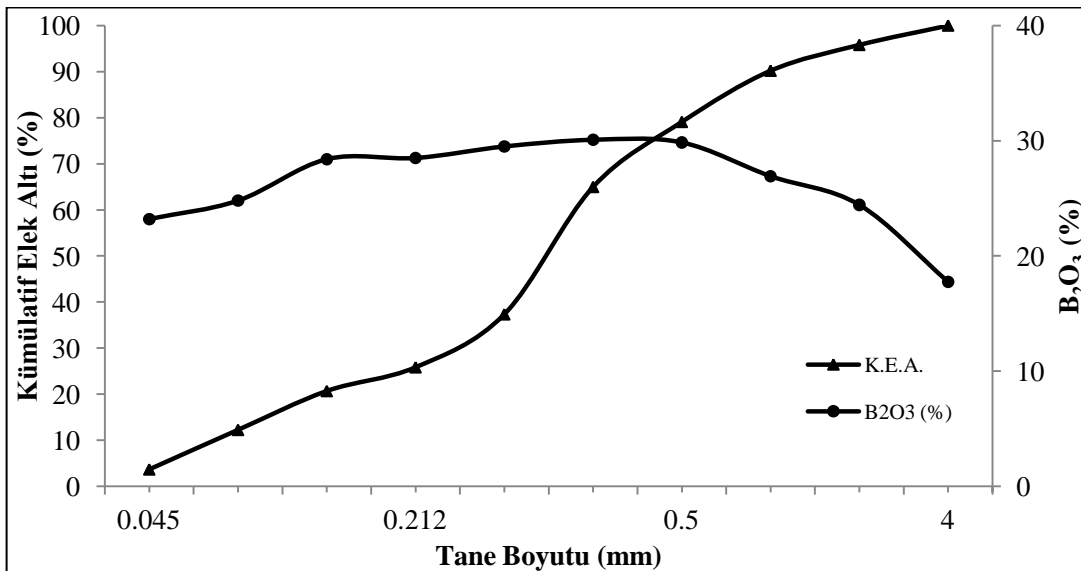


Şekil 5.6 Hisarcık Atık Barajı kolemanit numunesinin tane boyutuna bağlı olarak B₂O₃ dağılımı grafiği.

Çizelge 5.3 Espey Atık Barajı kolemanit numunesinin kuru olarak yapılan elek analizi ve %B₂O₃ dağılımları.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	ΣEÜ (%)	ΣEA (%)	B ₂ O ₃ (%)
+2	3,67	3,67	100	23,2
-2 +1	8,58	12,25	96,33	24,8
-1+0,5	8,43	20,68	87,75	28,4
-0,5 +0,425	5,15	25,83	79,32	28,5
-0,425 +0,300	11,5	37,33	74,17	29,5
-0,300 +0,212	27,64	64,97	62,5	30,08
-0,212 +0,125	14,12	79,09	35,03	29,85
-0,125 +0,075	11,11	90,2	20,91	26,92
-0,075 +0,045	5,6	95,8	9,8	24,43
-0,045	4,2	100	4,2	17,75
TOPLAM	100			27,86

Çizelge 5.3' den görüldüğü gibi numunenin %79,32'si 0,5 mm'nin altındadır. B₂O₃ dağılımı ise +1 mm, -1+0,125 mm, -125 +0,045 mm olmak üzere 3 boyut aralığında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 5.7 Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesinin tane boyutuna bağlı olarak B₂O₃ dağılımı.

5.2 Yöntem

Kütahya, Emet Etimaden işletmesine ait Hisarcık ve Espey konsantratör atıklarının zenginleştirilmesinde mikrodalga enerjisinden yararlanılmıştır.

Mikrodalga deneyleri, Hisarcık Atık Barajı temsili kolemanit numunesi için; +5, -0,5 +0,125 mm, -0,125 mm, Espey Atık Barajı temsili kolemanit numunesi için; +1 mm, -1 +0,125 mm, -0,125 +0,045 mm olmak üzere 3'er farklı tane boyutunda gerçekleştirilmiştir. Espey ve Hisarcık konsantratör atığı numunelerinin üç boyuta göre tenör dağılımı Çizelge 5.4 ve 5.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Deneylerde kullanılan Hisarcık Atık Barajı temsili kolemanit numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımı.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	$\Sigma\text{EÜ}(\%)$	$\Sigma\text{EA}(\%)$	B_2O_3 (%)
+0,5	53,73	53,73	100	20,95
-0,5 +0,125	38,59	92,32	46,27	16,4
-0,125	7,68	100	7,68	19,4
Toplam	100			

Çizelge 5.5 Deneylerde kullanılan Espey Atık Barajı temsili kolemanit numunesinin tane boyutuna göre tenör dağılımı.

Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	$\Sigma\text{EÜ}(\%)$	$\Sigma\text{EA}(\%)$	B_2O_3 (%)
+1	12,8	12,79	100	24,32
-1+0,125	69,8	82,58	87,21	29,60
-0,125 +0,045	17,4	100	17,42	26,08
Toplam	100			

Deneylerde, 2450 MHz sabit frekans ve maksimum 900 watt güçte çalışan, Beko MD 1505 model mutfak tipi bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Bu mikrodalga fırın mekanik olarak 5 farklı güç seviyesine (90-180-360-600-800 watt) ayarlanabilmektedir. Deneylerde kullanılan mikrodalga fırının resmi Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 Deneylerde kullanılan mikrodalga fırın.

Mikrodalga deneylerde kullanılan numune miktarı 110 g'dır. Numunenin konulduğu kap, deneysel çalışmalarda kullanılan mikrodalga enerjisinin uygulanması esnasında oluşan sıçramaların dışarıya taşarak kayıp oluşturmasını engelleyecek şekilde seçilmiştir. Kullanılan bu kaplar mikrodalga enerjisini absorbe etmeyen ve ısıya dayanıklı borasilikat camdan üretilmiştir.

Mikrodalga enerjisi, fırının içerisinde homojen olarak yayılmamakta ve belirli bölgelere yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple numunenin bazı bölgeleri, daha fazla mikrodalga enerjisine maruz kalmakta ve sıcaklığın etkisiyle aglomeratlar oluşmaktadır. Bu aglomerat oluşumunu engellemek ve mikrodalga enerjisinin numunenin tümüne nüfuz etmesini sağlamak için deneyler esnasında numune belirli aralıklarla karıştırılmıştır.

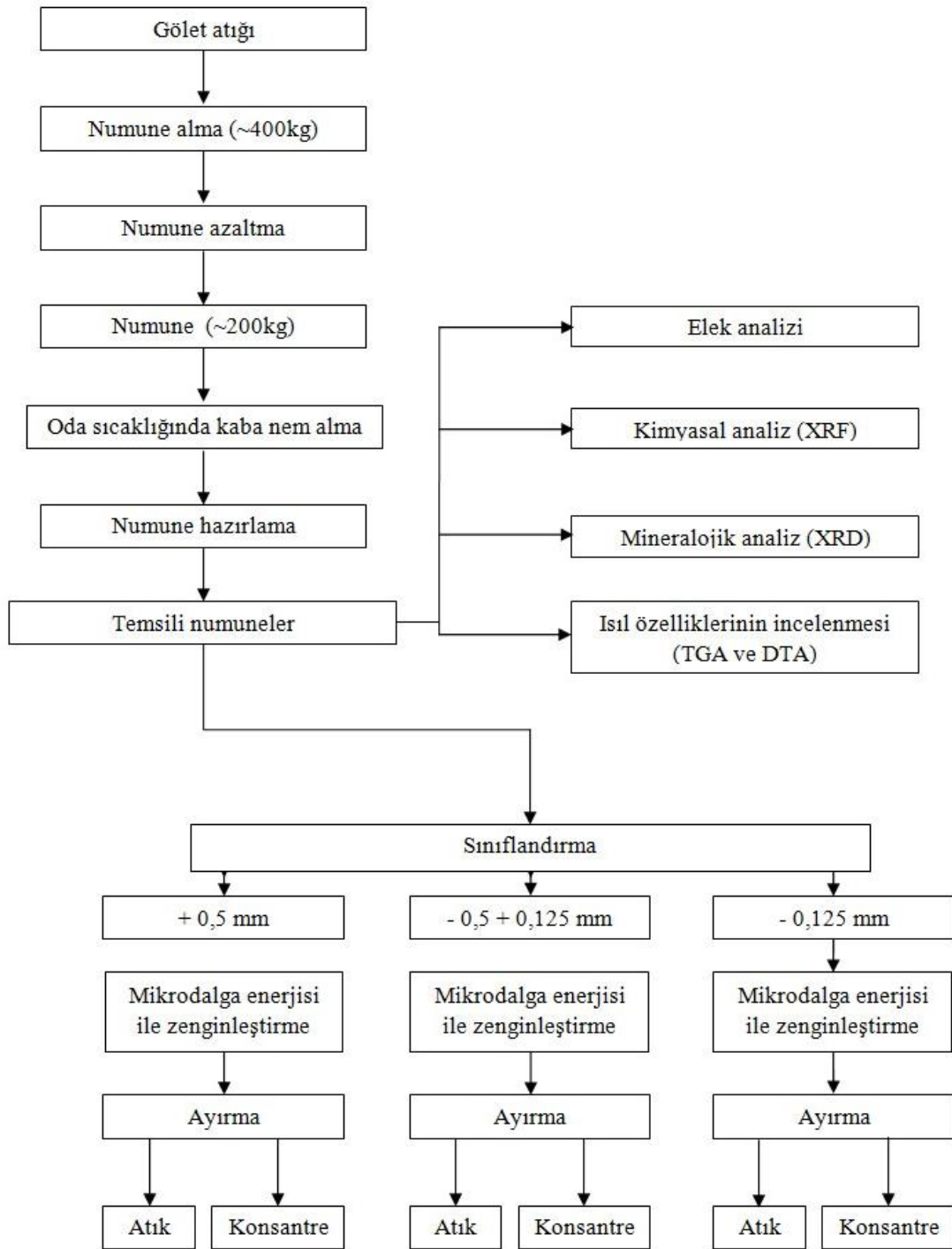
Espey ve Hisarcık konsantratör atıklarının zenginleştirilebilmesi için farklı süre (10, 20, 30, 40, 50, 60 dk) ve farklı mikrodalga güç seviyelerinde (360, 600, 800 watt) deneyler yapılmıştır. Fırından çıkarılan numune desikatörde soğutulduktan sonra kendi elek aralığı ile elenerek, konsantre ve atık olarak ikiye ayrılmıştır. Çizelge 5.6'da mikrodalga deneyleri akış program gösterilmektedir.

Mikrodalga deneyleri sonunda elde edilen numunenin gözle incelenmesi sonucunda; kil minerallerinin siyah ve tonlarında; kolemanit minerallerinin de beyaz ve tonlarında olduğu, tane boyutunun ise önemli oranda küçüldüğü görülmüştür. Numune, mikrodalga enerjisine tabii tutulduğunda oluşan sıcaklığın etkisi ile kolemanit mineralleri bünyesinde bulunan; kapiler ve kristal su ile uçucu gazlar uzaklaşmış, ayırma işlemi gerçekleştirilmeden B_2O_3 tenöründe bir miktar artış gözlenmiştir.

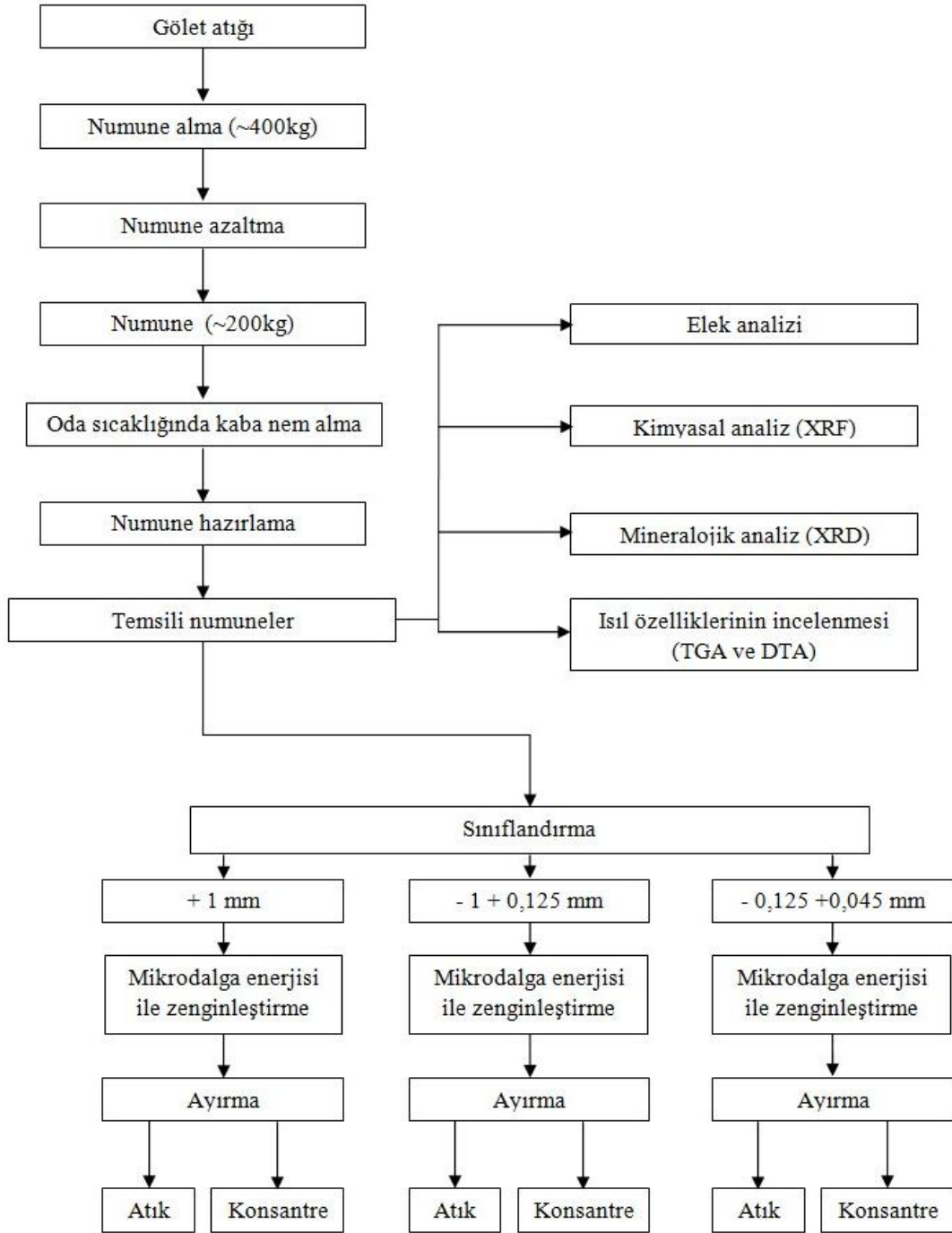
Çizelge 5.6 Mikrodalga deneyleri akış program.

Numunenin Alındığı Yer	Tane Boyutu (mm)	Deney Süresi (dk)	Mikrodalga Gücü (watt)	Ürünler
Espey Atık Barajı	+ 1	10,20,30,40,50,60	360,600,800	Konsantre
				Atık
	- 1 + 0,125	10,20,30,40,50,60	360,600,800	Konsantre
				Atık
	- 0,125 + 0,045	10,20,30,40,50,60	360,600,800	Konsantre
				Atık
Hisarcık Atık Barajı	+ 0,5	10,20,30,40,50,60	360,600,800	Konsantre
				Atık
	- 0,5 + 0,125	10,20,30,40,50,60	360,600,800	Konsantre
				Atık
	- 0,125	10,20,30,40,50,60	360,600,800	Konsantre
				Atık

Espey ve Hisarcık konsantratör atıklarını kullanarak yapılan deneysel çalışmalarda takip edilen yol Şekil 5.9 ve 5.10'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9 Hisarcık Atık Barajındaki kolemanit numunesine ait akım şeması.



Şekil 5.10 Espey Atık Barajındaki kolemanit numunesine ait akım şeması.

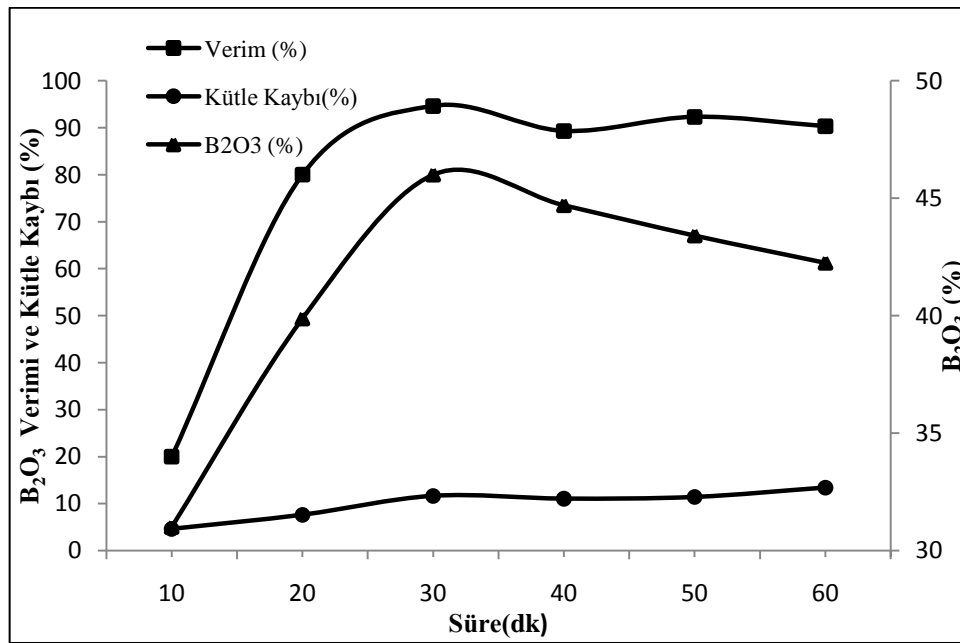
6. MİKRODALGA DENEYLERİ

Hisarcık ve Espey konsantratör atıklarının zenginleştirilmesi için yapılan mikrodalga deneyleri, 3'er farklı tane boyutunda gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga deneylerinde; mikrodalga gücü ve mikrodalga enerjisine maruz kalma süresi tespit edilmiştir.

6.1 Hisarcık Atık Barajı Kolemanit Numunesinin Mikrodalga Deneyleri

Hisarcık konsantratör atıklarının mikrodalga enerjisi yardımıyla zenginleştirilmesi için atık barajındaki kolemanit numunesiyle; +0,5, -0,5 + 0,125, -0,125 mm olmak üzere 3 ayrı tane boyutunda, farklı süre ve mikrodalga güç seviyelerinde deneyler yapılmıştır.

6.1.1 Hisarcık atık barajı numunesinin + 0,5 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri



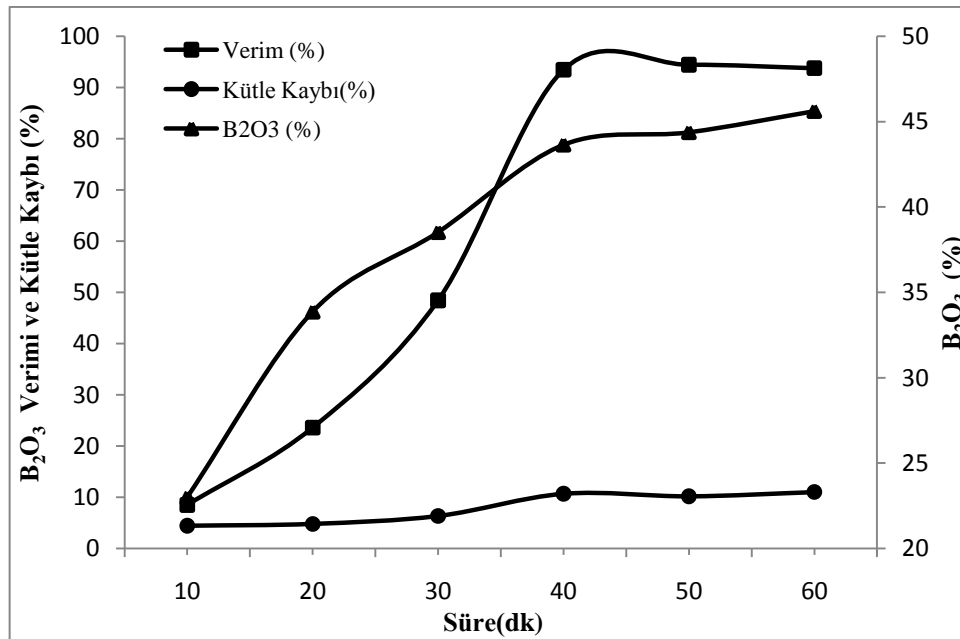
Şekil 6.1 + 0,5 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi atık numunesi 800 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %20 verim ile %31,01 B₂O₃, 20 dakikalık süre sonucunda; %80 verim ile 39,88 B₂O₃, 30 dakikalık süre sonucunda; %94,62 verim ile %46 B₂O₃, 40 dakikalık süre sonucunda; %89 verim ile %44,47 B₂O₃, 50 dakikalık süre sonucunda; %92,3 verim ile %43,41 B₂O₃, 60 dakikalık maruz kalma süresi sonucunda ise; %90,31 verim ile % 42,25 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Verim 30. dakikaya kadar belirgin bir şekilde artmakta 30. dakikadan sonra ciddi bir değişim olmadan yatay bir seyir izlemektedir. Benzer şekilde B_2O_3 tenörü, 30. dakikaya kadar sürekli olarak artmaktadır. 30. dakikadan sonra, artan maruz kalma süresine bağlı olarak; killerin (kalsit, illit) boyut dağılımı değişmekte, B_2O_3 tenöründe bir miktar azalma olmaktadır.

Kütle kaybı 30. dakikaya kadar artmış, devamında ise fazla değişiklik göstermemiştir. 30 dakikalık süre sonucundaki kütle kaybı %11,64'dür. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

+0,5 mm tane boyutunda 800 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%94,62) ve B_2O_3 tenörü (%46) 30 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.



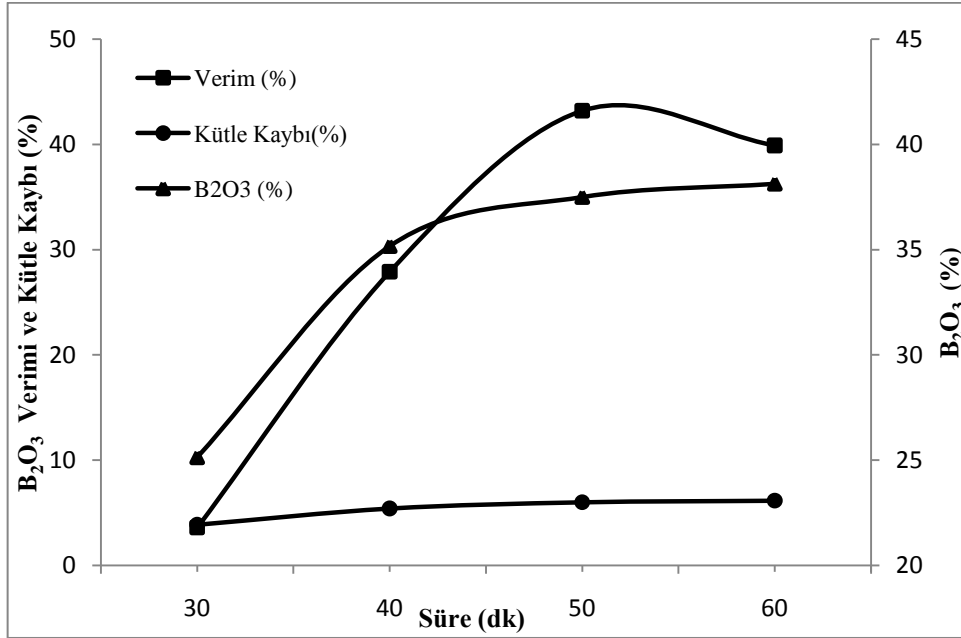
Şekil 6.2 +0,5 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi atık numunesi 600 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %8,5 verim ile %23 B_2O_3 , 20 dakikalık süre sonucunda; %23,6 verim ile 33,87 B_2O_3 , 30 dakikalık süre sonucunda; %48,45 verim ile %38,53 B_2O_3 , 40 dakikalık süre sonucunda; %93,48 verim ile %43,65 B_2O_3 , 50 dakikalık süre sonucunda; %94,45 verim ile %44,38 B_2O_3 , 60 dakikalık maruz kalma süresi sonucunda ise; %93,78 verim ile %45,62 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Verim 40. dakikaya kadar belirgin bir şekilde artmaktadır. Benzer şekilde B_2O_3 tenörü, 40. dakikaya kadar sürekli olarak artmıştır.

Kütle kaybı 40. dakikaya kadar artmış, devamında ise fazla değişiklik göstermemiştir. 40 dakikalık süre sonucundaki kütle kaybı %10,7'dür. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

+0,5 mm tane boyutunda 600 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%93,48) ve B_2O_3 tenörü (%43,65) 40 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 6.3 +0,5 mm tane boyutlu numunenin 360 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Atık barajındaki kolemanit numunesi 360 watt mikrodalga güçte 30 dakikanın altında mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında eleme ile ayırma yapılamamış, mikrodalga enerjisi zenginleştirme için yetersiz kalmıştır. Şekil 6.3'de görüldüğü gibi atık numunesi 360 watt mikrodalga güçte 30 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %3,6 verim ile %25,14 B_2O_3 , 40 dakikalık süre sonucunda, %27,9 verim ile %35,17 B_2O_3 , 50 dakikalık süre sonucunda; %43,2 verim ile %37,5 B_2O_3 , 60 dakikalık maruz kalma süresi sonucunda ise; %43,2 verim ile %37,5 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Verim 50. dakikaya kadar belirgin bir şekilde artmaktadır. Benzer şekilde B_2O_3 tenörü, 50. dakikaya kadar sürekli olarak artmıştır.

Kütle kaybı 50. dakikaya kadar artmıştır. 50 dakikalık süre sonunda kütle kaybı %6,1'dir. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, bünyesindeki kapiler suyu attığı belirlenmiştir.

+0,5 mm tane boyutunda 360 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim 50 dakika gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Hisarcık Atık Barajından alınan kolemanit numunesinin +0,5 mm tane boyutunda yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir

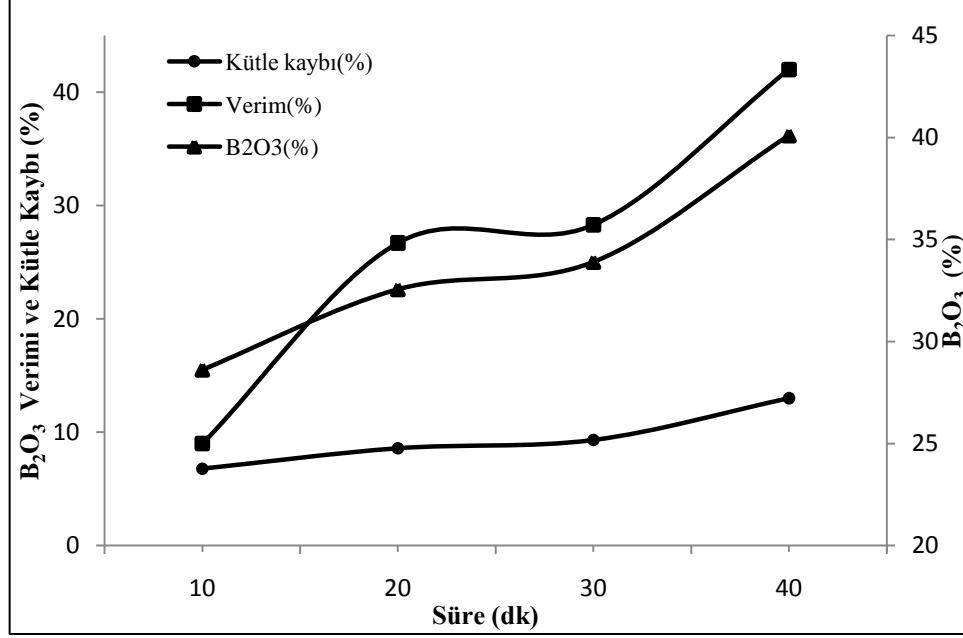
Çizelge 6.1 + 0,5 mm Tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.

Güç (Watt)	Optimum Süre (Dk)	Besleme		Mikrodalga Sonrası				Kütle Kaybı (%)	Verim (%)
		Ağırlık (%)	B_2O_3 (%)	Ağırlık(%)		B_2O_3 (%)			
				Konsantre	Atık	Konsantre	Atık		
360	50	100	20,95	25,2	74,8	37,5	16,6	6,1	43,2
600	40	100	20,95	49,26	50,74	43,65	3	10,7	93,48
800	30	100	20,95	46,9	53,1	46	2,31	11,64	94,62

Yapılan mikrodalga deneyleri sonucunda 800 watt güçte 30 dakika sonunda; %94,62 verim ile %46 B_2O_3 , 600 watt güçte 40 dakika sonunda; %93,48 verim ile 43,65 B_2O_3 , 360 watt güçte 50 dakika sonucunda; %43,2 verim ile 37,5 B_2O_3 tenörlü konsantre kazanılmıştır. 360 watt altı mikrodalga güç seviyeleri, bu boyutta zenginleştirme için yetersiz kalmıştır.

Bu sonuçlara göre, 600 watt güçte, 40 dakikalık deney süresinde elde edilen değerler optimal değer olarak alınmıştır.

6.1.2 Hisarcık atık barajı numunesinin -0,5 + 0,125 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri



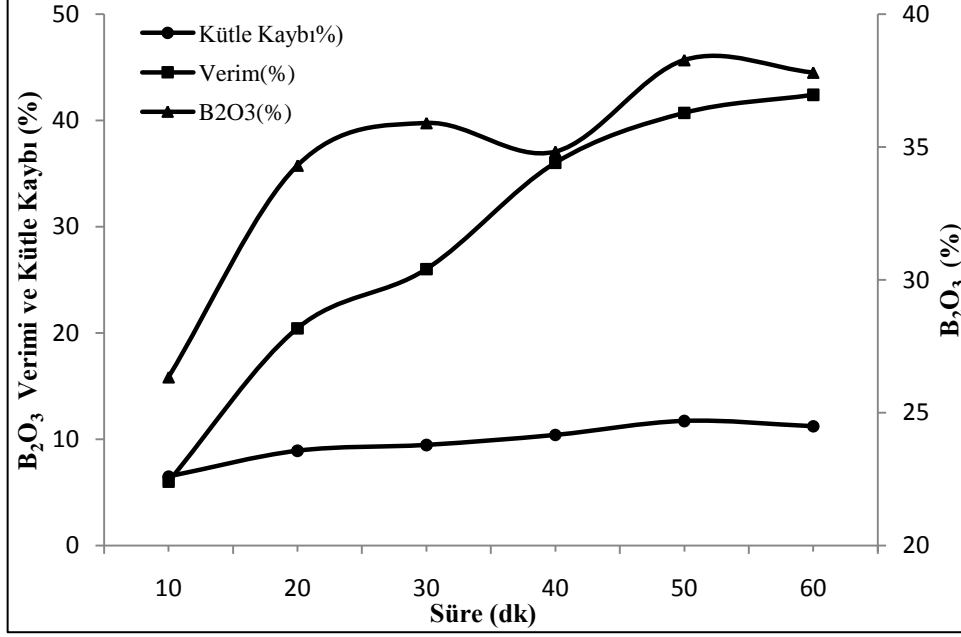
Şekil 6.4 -500 +125 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.4’de görüldüğü gibi atık numunesi 800 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %9 verim ile %28,62 B₂O₃, 20 dakikalık süre sonunda; %26,7 verim ile 32,56 B₂O₃, 30 dakikalık süre sonunda; %28,3 verim ile %33,9 B₂O₃, 40 dakikalık süre sonucunda; %42 verim ile %40,1 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 40. Dakikadan sonra, artan maruz kalma süresine bağlı olarak aglomerat oluşumu da artmıştır. Bu aglomeratların sıcaklığı, numunenin bulunduğu kaba zarar verdiği için numune 40 dakikanın üzerinde mikrodalga enerjisine maruz bırakılamamıştır.

Verim 40. dakikaya kadar belirgin bir şekilde artmaktadır. Benzer şekilde B₂O₃ tenörü, 40. dakikaya kadar sürekli olarak artmıştır.

Kütle kaybı, 40. dakikaya kadar artmıştır. 40 dakikalık süre sonunda %10,7’lik bir kütle kaybı olmuştur. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

-0,5 +0,125 mm tane boyutunda 800 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde en yüksek oranda verim (%42) ve B_2O_3 tenörü (%40,1) 40 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 6.5 -0,5+0,125 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.5’de görüldüğü gibi atık numunesi 600 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %6 verim ile %26,33 B_2O_3 , 20 dakikalık süre sonucunda; %20,43 verim ile 34,3 B_2O_3 , 30 dakikalık süre sonucunda; %36 verim ile %35,9 B_2O_3 , 40 dakikalık süre sonucunda; %36 verim ile %34,82 B_2O_3 , 50 dakikalık süre sonucunda; %40,7 verim ile %38,27 B_2O_3 , 60 dakikalık maruz kalma süresi sonucunda ise; %42,4 verim ile % 37,8 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Verim 60. dakikaya belirgin bir şekilde kadar artmaktadır. B_2O_3 tenörü, 50. dakikaya kadar artmıştır. 50. dakikadan sonra, artan maruz kalma süresine bağlı olarak; killerin (kalsit, illit) boyut dağılımı değişmekte, B_2O_3 tenöründe bir miktar azalma oluşmaktadır.

Kütley kaybı 50. dakikaya kadar artmış devamında ise fazla değişiklik göstermemiştir. 50 dakikalık süre sonunda kütle kaybı %11,71’dir. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; numunenin, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

-0,5 +0,125 mm tane boyutunda 600 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim 60 dakika gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Hisarcık Atık Barajından alınan kolemanit numunesinin -0,5 +0,125 mm tane boyutunda yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 -0,5 +0,125 mm Tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.

Güç (Watt)	Optimum Süre(Dk)	Besleme		Mikrodalga Sonrası				Kütle Kaybı (%)	Verim (%)
		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Ağırlık(%)		B ₂ O ₃ (%)			
				Konsantre	Atık	Konsantre	Atık		
600	50	100	16,4	19,17	80,3	38,27	13,7	11,71	40,7
800	40	100	16,4	19,6	80,4	40,1	13,43	10,7	42

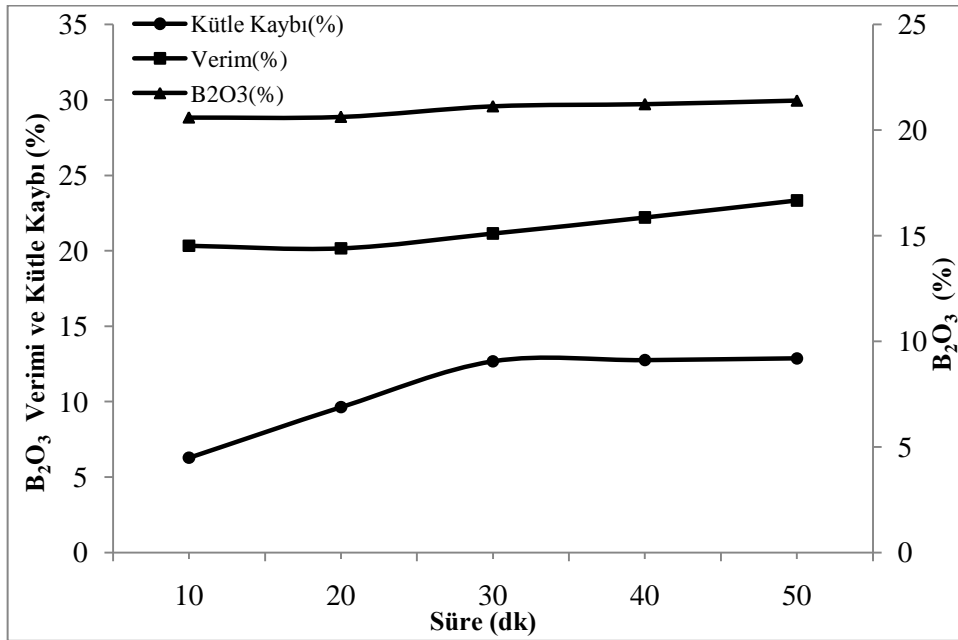
-0,5 +0,125 mm Tane boyutlu numune üzerinde yapılan mikrodalga deneyleri sonucunda 800 watt güçte 40 dakika sonunda; %42 verim ile %40,1 B₂O₃, 600 watt güçte 50 dakika sonunda, %40,7 verim ile 38,27 B₂O₃ tenörlü konsantre kazanılmıştır. 600 watt altı güç seviyeleri, bu boyutta zenginleştirme için yetersiz kalmıştır.

Bu sonuçlara göre, 800 watt güçte, 40 dakikalık deney süresinde elde edilen değerler optimal değer olarak alınmıştır.

6.1.3 Hisarcık atık barajı numunesinin – 0,125 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri

Hisarcık Atık Barajı numunesinin; – 0,125 mm tane boyutunda yapılan mikrodalga deneylerinde, ayırma boyutunu belirleyebilmek için farklı mikrodalga güç (600, 800 watt) ve sürelerde (40, 50 dk) deneyler yapılmıştır. Mikrodalga enerjisine maruz bırakılan numune çeşitli eleklerle (0,075, 0,053, 0,038 mm) elenmiş ve en uygun elek boyu seçilmiştir.

- 0,125 mm tane boyutunda yapılan deneylerde, ayırma işleminde kullanılan tane boyutu 0,053 mm olarak belirlenmiştir



Şekil 6.6 -0,125 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.6.'da görüldüğü gibi atık numunesi 800 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %20,34 verim ile %20,6 B₂O₃, 20 dakikalık süre sonucunda; %20,17 verim ile 20,63 B₂O₃, 30 dakikalık süre sonucunda; %21,15 verim ile %21,13 B₂O₃, 40 dakikalık süre sonucunda; %22,21 verim ile %21,23 B₂O₃, 50 dakikalık süre sonucunda; %25,92 verim ile %21,4 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 50. dakikadan sonra, artan maruz kalma süresine bağlı olarak aglomerat oluşumunda artmıştır. Bu aglomeratların sıcaklığı, numunenin bulunduğu kaba zarar verdiği için numune 50 dakikadan üzerinde mikrodalga enerjisine maruz bırakılamamıştır. Verim ve B₂O₃ tenörü 50. dakikaya kadar ciddi bir artış göstermemektedir.

Kütile kaybı 30. dakikaya kadar artmış devamında ise fazla değişiklik göstermemiştir. 30 dakikalık süre sonunda kütle kaybı %12,67'dir. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; numunenin, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

-0,125 mm tane boyutunda 800 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim 50 dakika gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir

Çizelge 6.3 -0,125 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.

Güç (Watt)	Optimum Süre (Dk)	Besleme		Mikrodalga Sonrası				Kütle Kaybı (%)	Verim (%)
		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Ağırlık(%)		B ₂ O ₃ (%)			
				Konsantre	Atık	Konsantre	Atık		
800	50	100	19,4	24,79	75,21	21,4	20,16	12,87	25,92

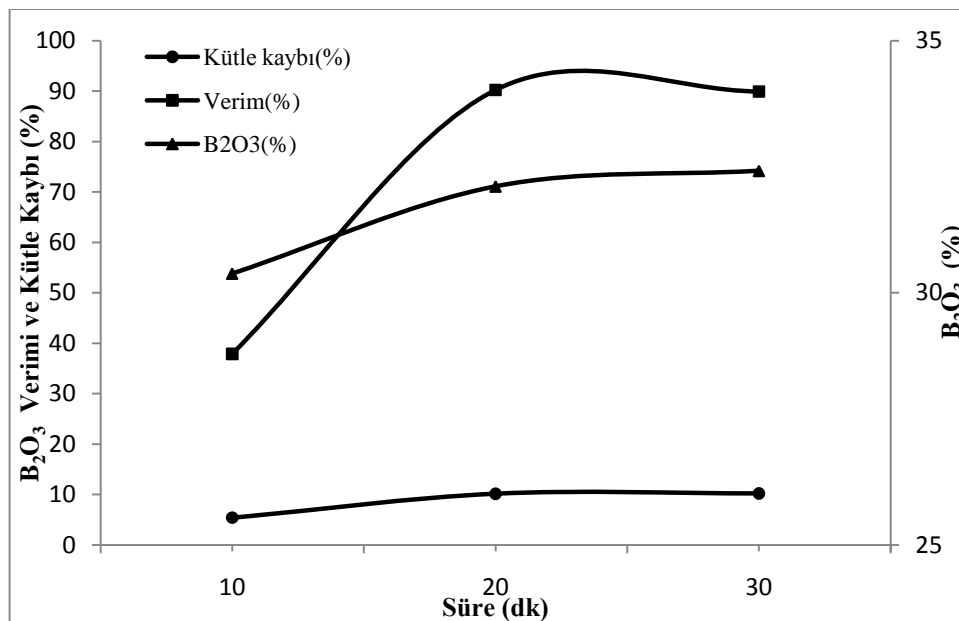
-0,125 mm tane boyutunda; 800 watt mikrodalga güçte 50 dakika sürede gerçekleştirilen deney sonucunda; %21,4 B₂O₃ tenörlü konsantre, %20,16 B₂O₃ tenörlü atık elde edilmiştir. Elde edilen atık ve konsantrenin B₂O₃ tenörleri arasındaki fark çok düşüktür. İstenilen ayırma - 0,125 mm tane boyutunda yapılamamıştır.

-0,125 mm tane boyutu mikrodalga enerjisi ile zenginleştirme için uygun değildir. 800 watt mikrodalga güçte alınan bu sonuçlar olumsuz olduğu için 800 watt altı güç seviyelerinde deneyler yapılmasına gerek görülmemiştir.

6.2 Espey Atık Barajı Kolemanit Numunesinin Mikrodalga Deneyleri

Espey konsantratör atıklarının mikrodalga enerjisi yardımıyla zenginleştirilmesi için Atık Barajındaki kolemanit numunesiyle; +1, -1 + 0,125, -0,125 +0,045 mm olmak üzere 3 ayrı tane boyutunda, farklı süre ve mikrodalga güç seviyelerinde deneyler yapılmıştır.

6.2.1 Espey atık barajı numunesinin +1 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri



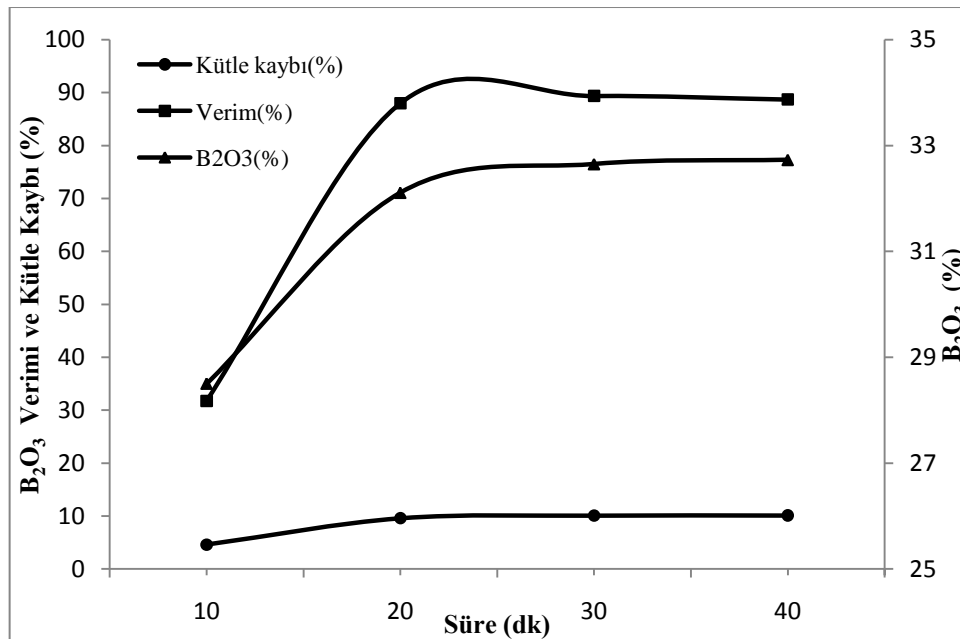
Şekil 6.7 +1 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.7’de görüldüğü gibi atık numunesi 800watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %37,9 verim ile %30,38 B_2O_3 , 20 dakikalık süre sonucunda; %90,25 verim ile 32,11 B_2O_3 , 30 dakikalık süre sonucunda; %89,95 verim ile %32,42 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir. 30. dakikadan sonra, artan maruz kalma süresine bağlı olarak aglomerat oluşumunda artmıştır. Bu aglomeratların sıcaklığı, numunenin bulunduğu kaba zarar verdiği için numune 30 dakikanın üzerinde mikrodalga enerjisine maruz bırakılamamıştır.

Verim 20. dakikaya kadar belirgin bir şekilde artmakta 20. dakikadan sonra ciddi bir değişim olmadan yatay bir seyir izlemektedir. Benzer şekilde B_2O_3 tenörü, 20. dakikaya kadar sürekli olarak artmaktadır.

Kütle kaybı 20. dakikaya kadar artmış, devamında ise fazla değişiklik göstermemiştir. 20 dakikalık süre sonucundaki kütle kaybı %10,15’dir. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

+1 mm tane boyutunda 800 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%90,25) ve B_2O_3 tenörü (%32,11) 20 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.



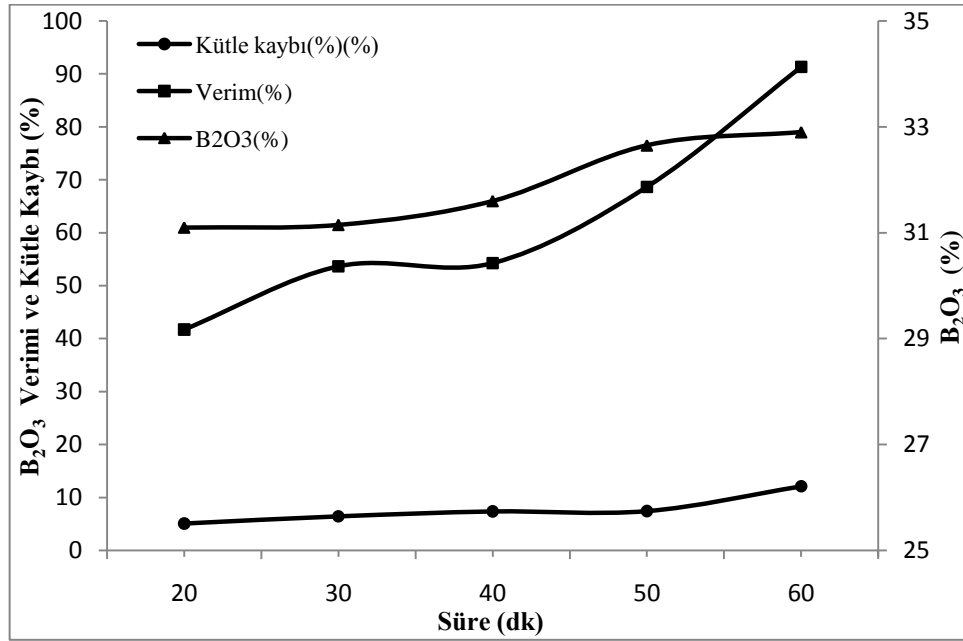
Şekil 6.8 +1 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.8'de görüldüğü gibi atık numunesi 600 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %31,75 verim ile %28,5 B₂O₃, 20 dakikalık süre sonucunda; %88 verim ile 32,11 B₂O₃, 30 dakikalık süre sonucunda; %89,37 verim ile %32,65 B₂O₃, 40 dakikalık süre sonucunda; %88,7 verim ile %32,73 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. 40. dakikadan sonra, artan maruz kalma süresine bağlı olarak aglomerat oluşumunda artmıştır. Bu aglomeratların sıcaklığı, numunenin bulunduğu kaba zarar verdiği için numune 40 dakikanın üzerinde mikrodalga enerjisine maruz bırakılamamıştır.

Verim 20. dakikaya kadar belirgin bir şekilde artmakta 20. dakikadan sonra ciddi bir değişim olmadan yatay bir seyir izlemektedir. Benzer şekilde B₂O₃ tenörü, 20. dakikaya kadar sürekli olarak artmaktadır.

Kütle kaybı 20. dakikaya kadar artmış, devamında ise fazla değişiklik göstermemiştir. 20 dakikalık süre sonucundaki kütle kaybı %9,59'dur. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

+1 mm tane boyutunda 600 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%89,37) ve B₂O₃ tenörü (%32,65) 30 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 6.9 +1 mm tane boyutlu numunenin 360 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Atık barajındaki kolemanit numunesi 360 watt mikrodalga güçte 20 dakikanın altında mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında eleme ile ayırma yapılamamış, mikrodalga enerjisi zenginleştirme için yetersiz kalmıştır. Şekil 6.9'de görüldüğü gibi atık numunesi 360 watt mikrodalga güçte 20 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %41,43 verim ile %31,11 B₂O₃, 30 dakikalık süre sonucunda; %53,67 verim ile 31,15 B₂O₃, 40 dakikalık süre sonucunda; %54,27 verim ile %31,6 B₂O₃, 50 dakikalık süre sonucunda; %68,66 verim ile %32,65 B₂O₃, 60 dakikalık süre sonucunda ise; %91,3 verim ile %32,9 B₂O₃ tenörlü konsantrte elde edilmiştir.

Verim 50. dakikaya kadar düşük artış göstermiş, 50. dakikadan sonra belirgin bir şekilde artmıştır. B₂O₃ tenörü, 60. dakikaya kadar artmıştır.

Kütle kaybı 60. dakikaya kadar artmıştır. 60 dakikalık süre sonucundaki kütle kaybı %12,13'dür. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; malzeme, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

+1 mm tane boyutunda 360 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%91,3) ve B₂O₃ tenörü (%32,9) 60 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Espey Atık Barajından alınan kolemanit numunesinin +1 mm tane boyutunda yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4 +1 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.

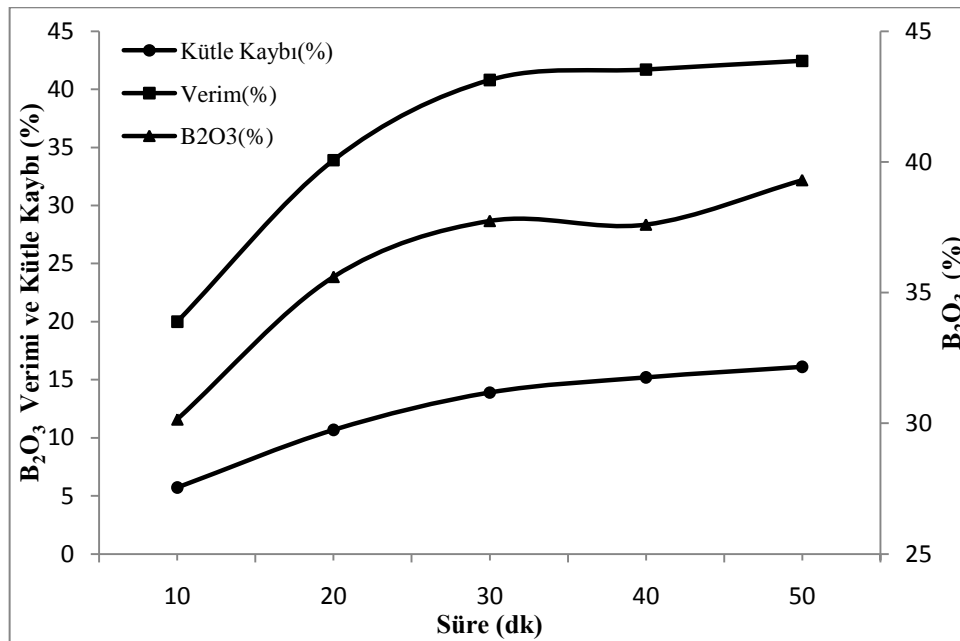
Güç (Watt)	Optimum Süre (Dk)	Besleme		Mikrodalga Sonrası				Kütle Kaybı (%)	Verim (%)
		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)		B ₂ O ₃ (%)			
				Konsantrte	Atık	Konsantrte	Atık		
360	60	100	24,32	75,87	24,13	32,9	9,84	12,13	91,3
600	30	100	24,32	74,42	25,58	32,65	11,3	10,09	89,37
800	20	100	24,32	72,95	27,05	32,11	10,87	10,15	90,25

+ 1 mm Tane boyutlu numune üzerinde yapılan mikrodalga deneyleri sonucunda 800 watt güçte 20 dakika sonunda; %90,25 verim ile %32,11 B₂O₃, 600 watt güçte 30 dakika sonunda; %89,37 verim ile 32,65 B₂O₃, 360 watt güçte 60 dakika sonunda; %91,3 verim ile 32,9

B_2O_3 tenörlü konsantre kazanılmıştır. 360 watt altı güç seviyeleri, bu boyutta zenginleştirme için yetersiz kalmıştır.

Bu sonuçlara göre, 600 watt güce, 30 dakikalık deney süresinde elde edilen değerler optimal değer olarak alınmıştır.

6.2.2 Espey atık barajı numunesinin -1 +0,125 mm tane boyuna ait mikrodalga deneyleri

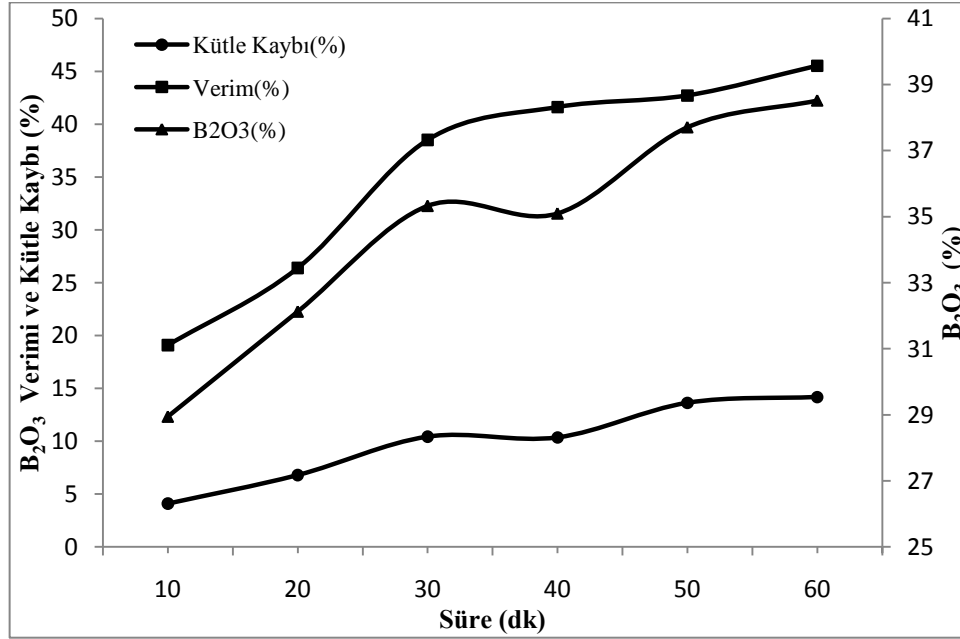


Şekil 6.10 -1 +0,125 mm tane boyutlu numunenin 800 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.10.'da görüldüğü gibi atık numunesi 800 watt mikrodalga güce 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %20 verim ile %30,15 B_2O_3 , 20 dakikalık süre sonucunda; %33,9 verim ile 35,6 B_2O_3 , 30 dakikalık süre sonucunda; %40,8 verim ile %37,74 B_2O_3 , 40 dakikalık süre sonucunda; %41,7 verim ile %37,6 B_2O_3 , 50 dakikalık süre sonucunda ise %42,45 verim ile %39,3 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir. Verim ve B_2O_3 tenörü, 50.dakikaya kadar düşük miktarda artış göstermektedir.

Kütle kaybı 50. Dakikaya kadar artmıştır. 50 dakikalık süre sonunda kütle kaybı %16,11'dir. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; numunenin, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

-1 +0,125 mm tane boyutunda 800 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%42,45) ve B₂O₃ tenörü (%39,3) 50 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 6.11 -1 +0,125 mm tane boyutlu numunenin 600 watt mikrodalga güçteki deney sonuçları.

Şekil 6.11.'de görüldüğü gibi atık numunesi 600 watt mikrodalga güçte 10 dakika mikrodalga enerjisine maruz bırakıldığında; %19,1 verim ile %28,95 B₂O₃, 20 dakikalık süre sonucunda; %26,4 verim ile 32,13 B₂O₃, 30 dakikalık süre sonucunda; %38,51 verim ile %35,33 B₂O₃, 40 dakikalık süre sonucunda; %41,62 verim ile %35,1B₂O₃, 50 dakikalık süre sonucunda; %42,72 verim ile %37,71 B₂O₃ 60 dakikalık süre sonucunda ise %45,53 verim ile %38,52 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir. Verim ve B₂O₃ tenörü, 50. dakikaya kadar düşük miktarda artış göstermektedir.

Kütle kaybı 60. dakikaya kadar artmıştır. 60 dakikalık süre sonunda kütle kaybı %14,18'dir. Bu kaybı TGA ve DTA grafikleri ile ilişkilendirdiğinde; numunenin, 380-400 °C arasında bir sıcaklığa ulaştığı ve bünyesindeki kapiler suyu atıp serbest kristal suyun bir kısmını bünyesinden uzaklaştırdığı belirlenmiştir.

-1 +0,125 mm tane boyutunda 600 watt güçte yapılan mikrodalga deneylerinde, en yüksek oranda verim (%45,53) ve B₂O₃ tenörü (%38,52) 60 dakikada gerçekleşen deneyler sonucunda elde edilmiştir.

Espey Atık Barajından alınan kolemanit numunesinin -1 +0,125 mm tane boyutunda yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5 -1 +0,125 mm tane boyutu için optimum mikrodalga deney sonuçları.

Güç (Watt)	Optimum Süre (Dk)	Besleme		Mikrodalga Sonrası				Kütle Kaybı (%)	Verim (%)
		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Ağırlık (%)		B ₂ O ₃ (%)			
				Konsantre	Atık	Konsantre	Atık		
600	60	100	29,6	36,37	63,63	38,52	29	14,18	45,53
800	50	100	29,6	35,18	64,82	39,3	28,92	16,11	42,45

- 1 +0,125 mm Tane boyutlu numune üzerinde yapılan mikrodalga deneyleri sonucunda 800 watt güçte 40 dakika sonunda; %42,45 verim ile %39,3 B₂O₃, 600 watt güçte 30 dakika sonunda; %45,53 verim ile 38,52 B₂O₃ tenörlü konsantre kazanılmıştır. 600 watt altı güç seviyeleri, bu boyutta zenginleştirme için yetersiz kalmıştır.

Bu sonuçlara göre, 600 watt güçte, 60 dakikalık deney süresinde elde edilen değerler optimal değer olarak alınmıştır.

6.2.3 Espey atık barajı numunesinin - 0,125 + 0,045 mm tane boyutuna ait mikrodalga deneyleri

- 0,125 + 0,45mm tane boyutunda yapılan çalışmalarda yeterli tenörde ve verimde konsantre elde edilememiştir.

7.SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma, Espey ve Hisarcık konsantratör tesislerine ait atık barajı kolemanit numunelerini zenginleştirmek için mikrodalga enerjisi ile yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle atık barajlarından alınan numunelerin fiziksel, kimyasal ve minerolojik analizleri yapılmış, bu analiz sonuçlarına göre deney planlaması gerçekleştirilmiştir.

- Atık kolemanit numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre; Espey Atık Barajı numunesi %28,2 B₂O₃, Hisarcık Atık Barajı numunesi %19,1 B₂O₃ içermektedir.
- Atık kolemanit numunelerinin XRD piklerinden; Espey Atık Barajı numunesinde Kolemanit, Montmorillonit, Kalsit; Hisarcık Atık Barajı numunesinde Kolemanit, Kalsit ve İllit mineralleri tespit edilmiştir.
- Atık kolemanit numunelerinin TGA ve DTA grafiğinden; Espey Atık Barajı numunesinin, 185, 549 ve 1236°C aralıklarında sırasıyla kapiler, serbest kristal ve polyanionların içerisindeki (OH)⁻ formundaki suyu bünyesinden uzaklaştırmıştır. 1236 °C sonundaki toplam kütle kaybı %27,8'dir. Hisarcık Atık Barajı numunesinin ise, 179 ve 1232°C aralıklarında sırasıyla kapiler, serbest kristal ve polyanionların içerisindeki (OH)⁻ formundaki suyu bünyesinden uzaklaştırmıştır.1232 °C sonundaki toplam kütle kaybı %24'dür.
- Atık numunelerinin elek analiz sonuçlarından; Espey Atık Barajı numunesinin %80'inin 0.5 mm'nin altında olduğunu görülmektedir. Atık numunesinin B₂O₃ dağılımı +1, -1 + 0,125, - 0,125 + 0,045mm tane boyutu aralıklarında yoğunlaşmaktadır. Espey atık numunesi için mikrodalga deneyleri bu 3 farklı boyut aralığında gerçekleştirilmiştir. Hisarcık Atık Barajı numunesinin %80'inin 2 mm'nin altında olduğunu görülmektedir. Atık numunesinin B₂O₃ dağılımı +0,5, -0,5 + 0,125, - 0,125mm tane boyutu aralıklarında yoğunlaşmaktadır. Hisarcık atık numunesi için mikrodalga deneyleri bu 3 farklı boyut aralığında gerçekleştirilmiştir.
- Deneylerde, 2450 MHz sabit frekans ve maksimum 900 watt güçte çalışan, mutfak tipi bir mikrodalga fırın kullanılmıştır. Bu mikrodalga fırın mekanik olarak 5 farklı güç seviyesine (90-180-360-600-800watt) ayarlanabilmektedir

Hisarcık Atık Barajı numunesi ile yapılan deney sonuçları:

- Hisarcık Atık Barajı numunesi, + 0,5 mm tane boyutunda 800 watt mikrodalga güçte 30 dakika sürede gerçekleştirilen deney sonunda konsantre; %46 B₂O₃ tenör ve %94,62 verim ile elde edilmiştir.
- Hisarcık Atık Barajı numunesi, - 0,5 + 0,125 mm tane boyutunda 800 watt mikrodalga güçte 40 dakika sürede gerçekleştirilen deney sonunda konsantre; %40,1 B₂O₃ tenör ve %42 verim ile elde edilmiştir.
- Hisarcık Atık Barajı numunesi, - 0,125 mm tane boyutunda 800 watt mikrodalga güçte 50 dakika sürede gerçekleştirilen deney sonunda konsantre; %21,4 B₂O₃ tenör ve %23,34 verim ile elde edilmiştir. Atıkta (elek üstü) bulunan B₂O₃ miktarı ise %20,16'dır. Elde edilen atık ve konsantrenin B₂O₃ tenörleri arasındaki fark çok düşüktür. -0,125mm tane boyutu mikrodalga enerjisi ile zenginleştirme için uygun değildir.

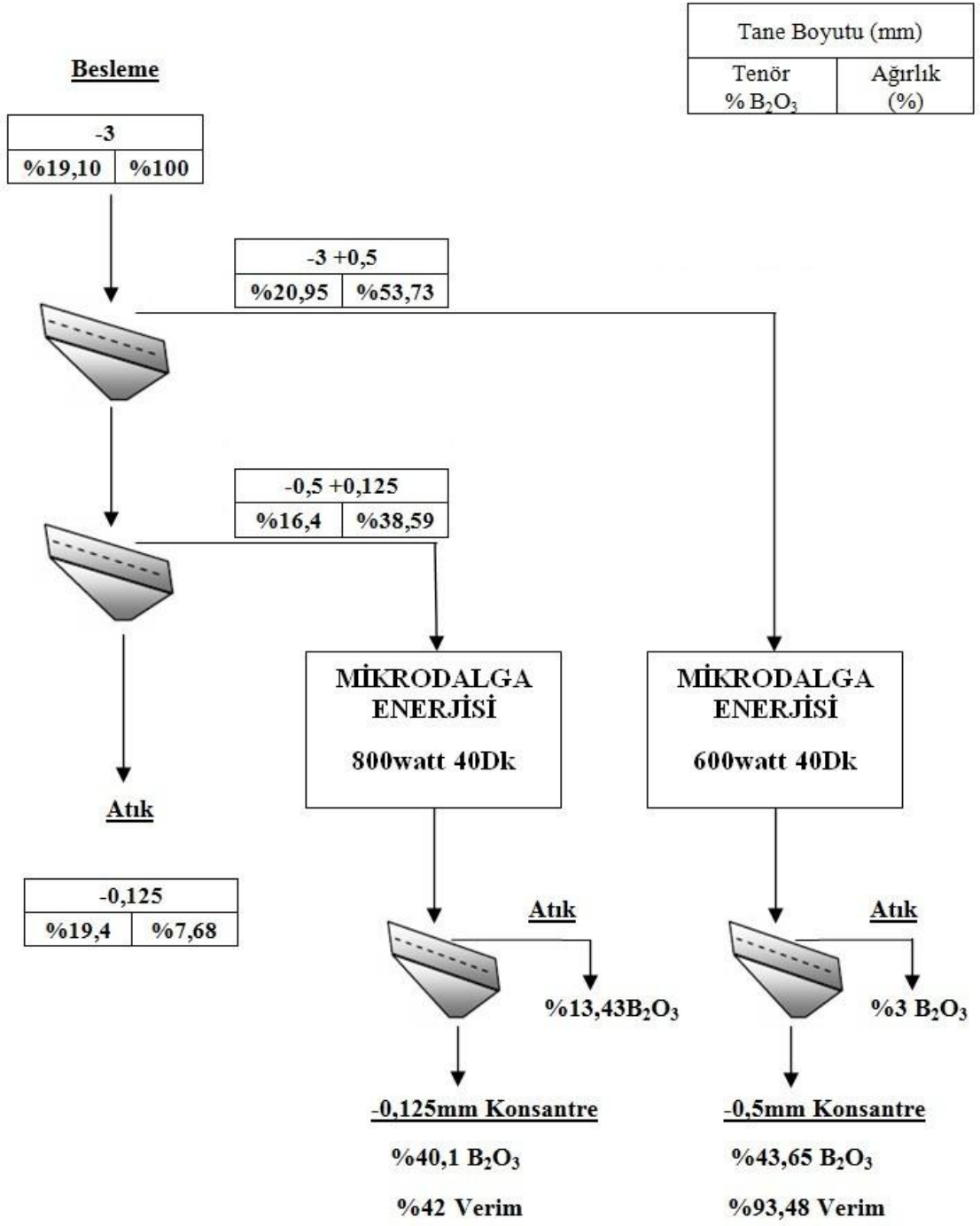
Espey Atık Barajı numunesi ile yapılan deney sonuçları:

- Espey Atık Barajı numunesi, + 1 mm tane boyutunda 800 watt mikrodalga güçte 20 dakika sürede gerçekleştirilen deney sonunda konsantre; %32,11 B₂O₃ tenör ve %90,25 verim ile elde edilmiştir.
- Espey Atık Barajı numunesi, - 1 + 0,125 mm tane boyutunda 600 watt mikrodalga güçte 60 dakika sürede gerçekleştirilen deney sonunda konsantre; %38,52 B₂O₃ tenör ve %45,53 verim ile elde edilmiştir.
- Espey Atık Barajı numunesi, - 0,125 + 0,45 mm tane boyutunda yapılan çalışmalarda, yeterli tenörde ve verimde konsantre elde edilememiştir.
- Yapılan mikrodalga çalışmalarında tane boyutu küçüldükçe verim düşmektedir. En yüksek verim iri boyutlarda elde edilmiştir.
- Mikrodalga ile zenginleştirme sonucu elde edilen ürünlerin ayrılması için modifiye edilmiş bir havalı ayırıcının kullanılmasında yarar vardır.
- Kolemanit, mikrodalgaya maruz kalma esnasında patlayarak ufalandığı için ince boyutlarda kalsine kolemanit elde edilmektedir. Satılabilir konsantre kolemanitin elde edilmesi için briketleme (boyut kazandırma) araştırmaları yapılabilir. Briketleme ile kalsine kolemanitin nakliye ve depolama problemleri de ortadan kalkmaktadır.

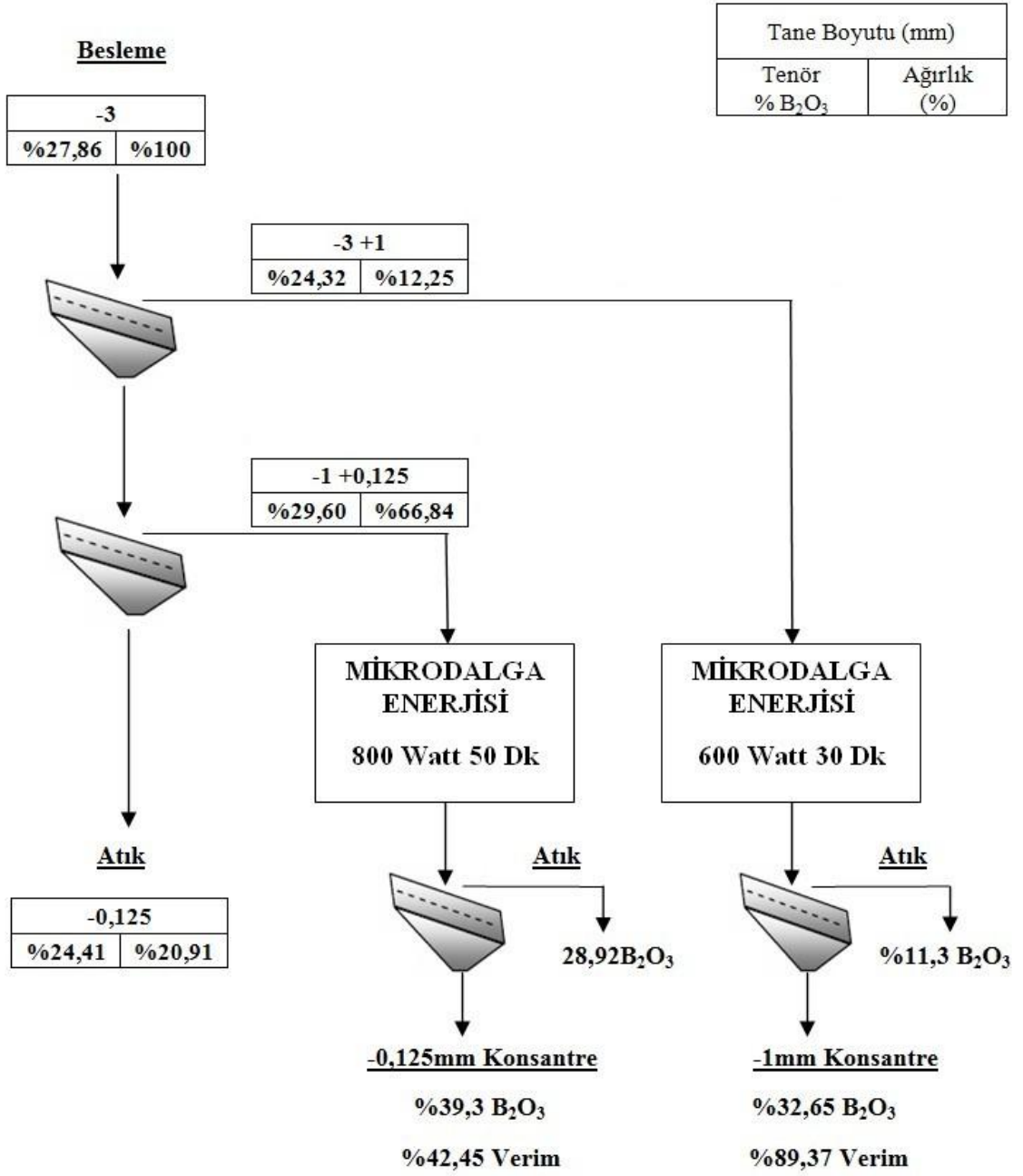
- Mikrodalga deneyleri Hisarcık ve Espey konsantratör atıklarının mikrodalga enerjisi ile zenginleştirileceğini göstermektedir.

Emet kolemanit rezervlerinin çok yüksek olması nedeniyle atıkların tekrar kazanılması için bir tesis bulunmamaktadır. Bu nedenle her yıl büyük bir potansiyel atık oluşmaktadır. Atıkların mikrodalga enerjisiyle zenginleştirilmesi durumunda hem ülke ekonomisine katkıda bulunulacak, hem de stoklama maliyetleri ve gölet masraflarından tasarruf sağlanacaktır. Atık göletinden meydana gelen çevre kirliliği ve atığın yer altı ve yer üstü sularını kirletmesi önlenmiş olacaktır. Atık cevherle elde edilen olumlu sonuçların ham cevherde de elde edilebileceği düşüncesinden yola çıkarak, mikrodalga enerjisinin ham bor cevherlerine uygulanan yaş yöntemlere bir alternatif teşkil edip etmeyeceği önemli bir araştırma konusudur. Bu çalışmada mikrodalga enerjisi ile zenginleştirilmenin ekonomisine değinilmemiştir. Bu yöntemin ekonomik açıdan fizibilite edilerek yaş yöntemlerle karşılaştırılması gerekmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verilere göre önerilen tesis akım şemaları Şekil 7.1 ve 7.2 'de verilmiştir.



Şekil 7.1 Hisarcık pilot tesisi için önerilen akım şeması.



Şekil 7.2 Espy pilot tesisi için önerilen akım şeması.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 2009, Stratejik Plan (2009-2013), www.etimaden.gov.tr, 90s.
- [2] Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., 2001, Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve teknolojisi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim, İzmir, Türkiye, 211-234
- [3] İpekoğlu, Ü. ve Polat, M., 1987, Bor endüstrisine genel bakış, Madencilik Dergisi, Ankara cilt 27 ,5- 15
- [4] Özkan, Ş G., Çebî, H., Delice, S. ve Doğan, M., 1997, Bor minerallerinin özellikleri ve madenciliği, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, Türkiye, 224-228
- [5] Dpt, 2008, Kimya sanayi özel ihtisas komisyonu, Bor, soda külü, krom kimyasalları çalışma grubu raporu, Ankara, 138s.
- [6] Bentli, T., Özdemir, O., Çelik, M. S. ve Ediz, N., 2002, Bor atıkları ve değerlendirilme stratejileri, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 3-4 Ekim, Kütahya, Türkiye, 250-258
- [7] Helvacı, C., 2003, Türkiye borat yatakları: jeolojik konum, mineraloji ve bor politikası, 5.Uluslararası Bor Sempozyumu, 13-14 Mayıs İzmir, Türkiye, 11-27
- [8] Savaş, M., 1994, ,Etibank Emet kolemanit sletmesi gölet atıklarının zenginleştirilme olanaklarının araştırılması, O.G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Eskisehir, 106s.
- [9] Sönmez, E., Özdag, H. ve Savas, M., 1996, Beneficiation of Emet tailing by water absorpsion mechanical attrition megnetic separation , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye, 143-149
- [10] TMMOB, Metalurji Mühendisleri Odası, 2003, Bor Raporu, Ankara, Türkiye, 50s
- [11] Kılıç, A.M., 2004, Bor madeninini Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, İzmir, Türkiye, 31-40
- [12] Güyagüler, T., 2001, Türkiye bor potansiyeli, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim, İzmir, Türkiye, 18-27
- [13] Sümer, G., 1997, Dünya bor bileşikleri, II. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, Türkiye 153 -164
- [14] Sarıhan, E.,2006, Bor sektör profili, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 37s.
- [15] Addemir, O., 1987, Bor ürünlerinin teknolojileri ve Türkiye'nin durumu, Madencilik Dergisi, Ankara,17,1-15
- [16] Mordoğan, H, Kılınç, E. ve Tanrıverdi, M., 2001, Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve teknolojisi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim, İzmir, 211-234
- [17] Poslu K., ve Arslan İ.H., 1997, Dünya bor mineralleri ve bileşikleri üretiminde Türkiye'nin yeri, II. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, Türkiye, 33-42
- [18] Erkan, Z. E., Akar, A. ve Savaş, M., 2003, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Baraj atıklarının değerlendirebilirliğinin araştırılması, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi 5.1, Türkiye, 161-174

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [19] Batar, T., Köksal, S. ve Yersel, Ş., 2009, Atık bor, atık kağıt ve perlit katkılı sıva malzemesinin üretimi ve karakterizasyonu, Ekoloji dergisi, 45-59
- [20] Özdemir, M., Kıpçak, İ. ve Öztürk, N., 2003, Bor endüstrisi katı atıklarından boraksın katı-sıvı özütleme ile geri kazanılması, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 5.1, 11-23
- [21] Ediz, N. ve Özdağ, H., 2001, Bor mineralleri ve ekonomisi, DPU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 2, Kütahya, 133-151
- [22] Özdağ, H., Bozkurt, R. ve Uçar A. 1988, Kestelek bor yıkama atıklarından borun kazanılması, Processing of the II. International Mineral Processing Symposium, Edt: Aytekin Y., İzmir, Türkiye, 282-287
- [23] Yaşar, E., 1994, Bor minerallerinin elektrostatik ve elektrokinetik özellikleri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eylül, İstanbul, Türkiye, 96s.
- [24] Emrulloğlu, F., Kara, M., Çelik, M. S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine kolemanit atıklarının sarsıntılı masa ile zenginleştirilmesi, XIII. Madencilik Kongresi, 10-14 Mayıs, İstanbul, Türkiye, 630-638
- [25] Aykul, Ö., 2008, Eti Bor Emet - Hisarcık kolemanit atıklarının dekrepitasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi, DPU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, Türkiye, 104s.
- [26] Ediz, N., Bentli, İ., Ceylan, T. ve Tatar, I., 2004, kestelek bor işletmesi -3 mm klasifikatör çökene ürünün farklı pervaneli dağıtıcılarda zenginleştirilmesi, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, Türkiye, 93-96
- [27] Kaytaz, Y., Önal G. ve Güney A., 1986, Bigadiç kolemanit artıklarının değerlendirilmesi, 1. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, cilt 1, İzmir, 237-249
- [28] Gündüz, M., Çebi, H., Bilici, M. S. U., Akçin, H., Karakoç, G. ve Doğan, A., 2001, Kestelek konsantratör tesisi ara ürün stokları b_2o_3 içeriklerinin iyileştirilmesi çalışmaları, 17.Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Türkiye, 125-131
- [29] Doğan, M. Z., Kaytaz, Y., Önal, G. ve Perek, K. T., 1997, Bigadiç ve Kestelek bor artıklarının ısıl işlem, elektrostatik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, Türkiye, 76-84
- [30] Tolun, R., Yarar ve B., Gundiler, I., 1995, Kolemanit cevherlerinin dekrepitasyon yolu ile zenginleştirilmesi, Madencilik Cilt 11 Sayı 5, 1-6
- [31] Kayandan, İ., Pehlivan, V., Çağlayan ve Türedi, S., 2004, Düşük tenörlü kolemanit cevherinin kalsinasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, 65-69
- [32] Emrulloğlu, Ö.F. ,1985 , Etibank Bigadiç kolemanit cevheri -3 mm fraksiyonunun laboratuvar çapta zenginleştirilmesi , Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt II, sayı 2, Edt:Yamık, A., Eskişehir, Türkiye, 53-60
- [33] Gülgönül, İ., Yaşar, E., Kaytaz, Y. ve Çelik, M.S., 1994, Kolemanit flotasyonunda şlamın etki mekanizması, 15. Yıl Sempozyumu Çukurova Üniversitesi M.M.F. Adana, Türkiye, 369-377

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [34] Savaş, M., Özdağ, H., Sönmez, E., 1997, Ses ötesi dalgaların kolemanit artıklarının zenginleştirilmesinde kullanımının araştırılması, Türkiye 15. Madencilik Kongresi , 6-9 Mayıs, Ankara , Türkiye, 319-323
- [35] Güngören C., 2006, Ultrasonik ve mikrodalga enerjisinin bor minerallerinin çözünürlüğüne etkisinin araştırılması, İ.Ü. Mühendislik Fak., Lisans Tezi
- [36] Aytekin, Y. ve Badruk, M., 1992, Emet kolemanit cevherinin dekrepitasyon yolu ile zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, Edt: Özbayoğlu, O., Antalya, Türkiye ,549-562
- [37] Yarar B.,1973, Düşük tenörlü kolemanit cevherinin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi, Ankara, 571-588
- [38] Aytekin, Y., Lüçin, C. ve Yamık A., 1988, Kırka tinal cevherinin flotasyonla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, 2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 267-279
- [39] Ayok, T. ve Tolun, R., 1975, Kolemanit flotasyonu ve poliollerin etkisi, tübitak bilim kongresi , Gebze,189-199
- [40] Gülgönül, İ., Özdemir, O., Mart, U. ve Çelik, M.S., 2001, Üleksitin anyonik flotasyonunda slamın etkileşim mekanizması I. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, Türkiye,35-40
- [41] <http://scienelektromanyetikce.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/index.html>, Ziyaret tarihi Ocak 2011
- [42] Yıldız, U., 2003, Elektromanyetik dalgalar, Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü Ders notları, 6s
- [43] Eskibalçcı, M.F., 2007, Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması, İstanbul Üniversitesi Doktora tezi, 174s
- [44] Yıldız, K. ve Alp, A., 2000, Metalurjik proseslerde mikrodalga kullanımı, Metalurji Dergisi, Cilt 24, Sayı:125, 24-29.
- [45] Artan E. T., 1997, Mikrodalga güç uygulama aparatlarında ısı dağılımının simülasyonu, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [46] Kanat A., 2001, İ.T.Ü. KOSGEB’de geliştirilmekte olan mikrodalga fırında elma meyvesinin kurutulmasına yönelik bir çalışma, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- [47] Uslu, T. ve Atalay, U., 2003, Microwave heating of coal for enhanced magnetic removal of pyrite, Fuel Processing Technology, Vol. 85, 21-29.
- [48] Uslu, T., 2002, Microwave Heating Characteristics of Pyrite and Microwave Assisted Coal Desulphurization ,ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 153 s.
- [49] Kingston H.M. ve Jassie, L.B., 1985, Introduction to microwave sample preparation-theory and practise, Chapters 2 and 3, ACS Professional Reference Book, Am.Chem.Soc.
- [50] Anon, 2007, Advanced manufacturing tecknology, Wollongong University, Australia, <http://www.amttechnology.com>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [51] Lindroth, D.P., 1986, Microwave drying of fine coal, US Bureau of Mines, RI9005.
- [52] Whittless, D.N., Kingman, S.W., Reddish, D.J., 2003, Application of numerical modelling for prediction of the influence of power density on microwave-assisted breakage, Int.J.Miner. Process, 68, 71-91.
- [53] Toraman, Y. Ve Depçi, T., 2007, Kömürde mikrodalga ile önışlem uygulamaları, Madencilik Dergisi, Cilt 46, Sayı 3, 43-53
- [54] Eker, Y., 2007, Kömürdeki piritik kükürdün giderilmesinde çeşitli yöntemlerin kıyaslanması, Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi, Bilim Uzmanlığı Tezi.
- [55] Özkan, A., Ünal, M. ve Kekeç B., 2006, Mikrodalga ön işleminin traverten ve mermerin kırılma hızına ve ultrasonik özelliklerine etkisi, Selçuk Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, c.21, 143-151
- [56] Özbayoglu, G. ve Depçi, T., 2007, Mikrodalga enerjisinin kömürlerin öğütülebilirliğine etkisi, 10. Türkiye Enerji Kongresi, İstanbul, 5s

EKLER

EK 1. B₂O₃ Analizi

Kullanılan Kimyasallar;

% 0,1'lik Metil Kırmızısı Hazırlanışı: 1gr metil kırmızısı tartılır. 600 ml etil alkolde iyice çözülür. Sonra adi süzgeç kâğıdından süzülür. Kâğıt alkolle yavaş yavaş yıkanır. Saf su ile 1lt'ye tamamlanır.

0,1'lik Fenolftalein Hazırlanışı: 1gr fenolftalein tartılır. 500 ml etil alkolde çözülür. Saf su ile 1lt'ye tamamlanır.

0,5N NaOH Hazırlanışı ve Faktörlenmesi: 1lt için 20 gr, 20lt için 400 gr NaOH eklenir. Havadan nem kapmaması sağlanır. Bir beherin içine 20 gr NaOH eklenir. Üzerine hemen 1lt saf su ilave edilir. Bir karıştırıcı yardımıyla NaOH' ın çözülmesi sağlanır. 0,5N NaOH hazır hale gelir.

25 ml' lik erlene 0,4-0,5 gr H₃BO₃ tartılır (8-10 adet erlene). Her bir numuneye 60-70 ml saf su ilave edilir. Kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk. kaynatılır. Su banyosunda soğutulur. Soğutulan çözeltiliye 3-5 damla metil kırmızısı, 3-5 damla fenolftalein damlatılır. 4-5 gr mannitol ilave edilir. Renk soğan kabuğu rengine dönene kadar 0,5N NaOH ile titre edilir.

$$F = T / (0,03092 * S)$$

F = Faktör

T = Tartım

S = Kullanılan NaOH miktarı

NOT: Borik asit tartılmadan önce 50 °C' de 6 saat tutulur. Bulunan tüm F değerlerinin ortalaması alınır ve çıkan sonuç 17,41 ile çarpılarak F değeri bulunur.

Seyreltik H₂SO₄ ün Hazırlanması: B₂O₃ analizinde kullanılacak seyreltik H₂SO₄; hacmen %25 lik olarak hazırlanır. 1000ml lik bir balon jöjeye 750 ml saf su eklenir üzeri, kütlece %96-98 oranında H₂SO₄ ile tamamlanır. Havadan nem kapmaması sağlanır.

6N NaOH Hazırlanışı: Bir beherin içine 240 gr NaOH eklenir. Üzerine hemen 1lt saf su ilave edilir. Bir karıştırıcı yardımıyla NaOH' ın çözülmesi sağlanır. 6N NaOH hazır hale gelir. Havadan nem kapmaması sağlanır.

0,5 N HCl Hazırlanışı: 0,5N HCl hazırlamak için balon jöjeye 958,5ml saf su ve 41,5ml %37 lik HCl asit eklenir. Havadan nem kapmaması sağlanır.

Deminarilize edilmiş su

Mannitol

Sodyum karbonat

ANALİZİN YAPILMASI

1. 0-3 mm ebadına getirilen kolemanit cevheri numunesi 105 °C' de etüvde 2 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numune agat havandan geçirilerek pudra haline(- 106µm) getirilir.
2. Bu numuneden 250 mililitrelik erlen için 1±0,2gr tartılır.
3. Erlenin içine 100 ml saf su eklenmesiyle bulamaç yapılır.
4. Tekrar erlenin içine 10±0,5 ml H₂SO₄(%25v/v) ilave edilir.
5. Erlenin üzerine saat camı yerleştirilir ve sonra kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk kaynatılır.
6. Kaynama bittikten sonra saat camı yıkanarak alınır ve çözelti soğutulur.
7. Bu aşamada B₂O₃ sıvı faza geçmiş bulunmaktadır fakat bunun yanı sıra +3 değerlikli(Al, Ti, Fe) lerde sıvı fazda bulunur bunları çöktürmek için; Birkaç damla metil kırmızısı damlatılır (renk kırmızı, düşük tenörlerde turuncuya yakın olur). Metil kırmızısı bir indikatördür ve bize renk değişimlerini gösterir böylelikle PH metre kullanmaya gerek kalmaz. Renk sarıya dönünceye kadar azar azar sodyum karbonat eklenerek +3 değerlikliler (Al, Ti, Fe) çöktürülür. (Çökme işlemi tamamlanınca zaten sodyum karbonata tepki vermeyecektir) ve artık ortam nötrdür.
8. Süzülür ve üç defa sıcak su ile yıkanır (Süzme işlemi sonrası, erlendeki çözeltinin 200ml geçmemesi tavsiye edilir).
9. Berrak çözelti asitlendirilip (H₂SO₄ (%25v/v) ile pempe hale getirilip fazladan 1ml ilave edilir), CO₂ yi ortamdan atmak için 10 dk kaynatılır ve soğutulur.
10. Soğuyan çözelti açık pembe ve tonlarında olmalıdır. Renk seçimi yapılamıyorsa 1 damla Metil kırmızısı eklenir, renk pembe olur. 6 Normal NaOH (renk sarıya dönünceye kadar devam edilir) eklenir. Ardından tekrar seyreltilmiş H₂SO₄ ile asidik hale getirilir (10 ml lik pipetin 1 damlası ile pembe olacak şekilde). Buradaki amaç çözeltiyi kaba olarak nötralize etmektir.
11. Kaba olarak nötralize edilmiş çözelti, 0,5 Normal NaOH ve 0,5 Normal HCL ile daha hassas nötralize edilir. Burada büret kullanılarak, önce 0,5 Normal NaOH ile bazik hale getirilir (sarı renk) ardından 0,5 Normal HCl ile asidik hale getirilir (pembe renk) son olarak asidikden sarıya yine 0,5 Normal NaOH
12. Kullanılarak hassas olarak geçirilir. Renk zeytinyağı sarısı kıvamında olmalıdır.
13. Çözeltiyeye 8-10 damla fenolftalein eklendikten sonra (renkte değişiklik olmaz) üzerine 4-5gr mannitol ilave edilir ve mannitolün çözünmesi için çalkalanır (renk pembe olur).

14. Faktörlenmiş 0,5 Normal NaOH ile titrasyona başlanır (renk önce sarıya döner). Titrasyon renk soğan kabuğu rengi (pembemsi) oluncaya kadar devam eder. Soğan kabuğu rengine ulaşmaya yakın 2gr mannitol daha eklenir.
15. Titrasyon sonundaki sarfiyat dikkate alınarak aşağıdaki formülle B₂O₃ yüzdesi hesaplanır.

$$\% B_2O_3 = [(0,017405 * S * F) / T] * 100$$

0,017405 = Eşdeğer miligram

S = 0,5 Normal NaOH sarfiyatı

F = 0,5 Normal NaOH faktörü

T = Numune tartımı

NOTLAR;

1. Analiz yapılırken; ortamda asit bulunduğundan dolayı, kauçuk önlük, koruyucu gözlük kullanılmalı, plastik eldiven giyilmeli ve maske takılmalıdır. Kaynatma işlemleri havalanmanın ideal olduğu ortamlarda çeker ocak kullanılarak gerçekleştirilmelidir.
2. Bütün işlemlerde kaynar veya kaynamaya yakın sıcaklıkta saf su kullanılmalıdır.
3. Tartım işlemi ile bütün kimyasal işlemler sırasında ellerin ve çevre şartlarının kuru ve temiz olmasına dikkat edilir, acele etmeden itina ile yapılır.
4. Numuneler karışmaması için kullanılan her beher ve erlen numaralandırılır.
5. Unutulmamalıdır ki kaynatma işlemlerinin gereğinden uzun sürede yapılması aşırı su kaybına yol açacak bu da analiz esnasında hatalara sebep olacaktır.
6. Çözelti, indikatör veya asit-baz eklenmeden önce kesinlikle soğutulmalıdır(23 – 38 °C arası).
7. Na₂CO₃ 'ın fazla katılması süzme işlemi esnasında sıkıntı yaratmaktadır, çöktürme işlemi esnasında azar azar, taşırma olmadan kararınca eklenmelidir.
8. 50 ml' lik Büretin kullanılmadan önce NaOH ile yıkanması iyi bir düşüncedir. NaOH ile doldurulduktan sonra içinde hava boşluğu kalmamasına dikkat edilmelidir. Titrasyon ve ince nötralizasyon aşamalarında çok hassas olunmalıdır, Büretin çizgi kalınlıkları dikkate alınmalı okumalar dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Titrasyon veya ince nötralizasyon aşamasında fazladan yapılan 1 damla sarfiyat, tartıma bağlı olarak B₂O₃ oranında ~0,1 lik bir artış gösterebilmektedir.

EK 2. DENEY SONUÇLARININ TABLOLARI

Ek 2.1 Hisarcık Atık Barajı numunesi, +0,5 mm tane boyutu 360 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
30	Konsantre	3,16	25,14	3,6
	Atık	96,84	21,88	96,4
	Besleme	100	20,95	100
40	Konsantre	17,49	35,17	27,9
	Atık	82,51	19,27	72,1
	Besleme	100	20,95	100
50	Konsantre	25,2	37,5	43,2
	Atık	74,8	16,6	56,8
	Besleme	100	20,95	100
60	Konsantre	22,35	38,13	39,9
	Atık	77,65	16,55	60,01
	Besleme	100	20,95	99,91

Ek 2.2 Hisarcık Atık Barajı numunesi, +0,5 mm tane boyutu 600 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	7,9	23	8,5
	Atık	92,1	21,22	91,5
	Besleme	100	20,95	100
20	Konsantre	15,3	33,87	23,6
	Atık	84,7	19,8	76,4
	Besleme	100	20,95	100
30	Konsantre	27,6	38,53	48,45
	Atık	72,4	15,63	51,55
	Besleme	100	20,95	100
40	Konsantre	49,26	43,65	93,48
	Atık	50,74	3	6,52
	Besleme	100	20,95	100
50	Konsantre	48,8	44,38	94,45
	Atık	51,2	2,5	5,55
	Besleme	100	20,95	100
60	Konsantre	49,75	45,62	93,78
	Atık	50,25	2,98	6,22
	Besleme	100	20,95	100

Ek 2.3 Hisarcık Atık Barajı numunesi, +0,5 mm tane boyutu 800 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	14,05	31,01	20
	Atık	85,95	20,64	80
	Besleme	100	20,95	100
20	Konsantre	44,06	39,88	80
	Atık	55,94	7,58	20
	Besleme	100	20,95	100
30	Konsantre	46,9	46	94,62
	Atık	53,1	2,31	5,38
	Besleme	100	20,95	100
40	Konsantre	46	44,7	89,3
	Atık	54	4,56	10,7
	Besleme	100	20,95	100
50	Konsantre	49,49	43,41	92,3
	Atık	50,51	3,56	7,7
	Besleme	100	20,95	100
60	Konsantre	47,6	42,25	90,31
	Atık	52,4	4,41	9,69
	Besleme	100	20,95	100

Ek 2.4 Hisarcık Atık Barajı numunesi, -0,5 + 0,125 mm tane boyutu 800 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	5,8	28,62	9
	Atık	94,2	17,87	91
	Besleme	100	16,4	100
20	Konsantre	12,3	32,56	26,7
	Atık	87,7	15,57	73,3
	Besleme	100	16,4	100
30	Konsantre	15	33,9	28,3
	Atık	85	15,14	71,7
	Besleme	100	16,4	100
40	Konsantre	19,6	40,1	42
	Atık	80,4	13,43	58
	Besleme	100	16,4	100

Ek 2.5 Hisarcık Atık Barajı numunesi, -0,5 + 0,125 mm tane boyutu 600 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	4	26,33	6
	Atık	96	17,17	94
	Besleme	100	16,4	100
20	Konsantre	11	34,3	20,43
	Atık	89	16,51	79,57
	Besleme	100	16,4	100
30	Konsantre	13,2	35,9	26
	Atık	86,8	15,54	74
	Besleme	100	16,4	100
40	Konsantre	18,2	34,82	36
	Atık	81,8	13,68	64
	Besleme	100	16,4	100
50	Konsantre	19,7	38,27	40,7
	Atık	80,3	13,7	59,3
	Besleme	100	16,4	100
60	Konsantre	21	37,8	42,4
	Atık	79	13,63	57,6
	Besleme	100	16,4	100

Ek 2.6 Hisarcık Atık Barajı numunesi, -0,125 mm tane boyutu 800 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	20,4	20,92	20,56
	Atık	79,6	20,71	79,44
	Besleme	100	19,4	100
20	Konsantre	20,1	20,63	20,17
	Atık	79,9	20,54	79,83
	Besleme	100	19,4	100
30	Konsantre	21,13	21,13	21,15
	Atık	78,87	21,1	78,85
	Besleme	100	19,4	100
40	Konsantre	21,84	21,23	22,1
	Atık	78,16	20,88	77,9
	Besleme	100	19,4	100
50	Konsantre	24,79	21,4	25,92
	Atık	75,21	20,16	74,08
	Besleme	100	19,4	100

Ek 2.7 Espey Atık Barajı numunesi, +1 mm tane boyutu 800 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	31,58	30,38	37,9
	Atık	68,42	22,97	62,1
	Besleme	100	24,32	100
20	Konsantre	72,95	32,11	90,25
	Atık	27,05	10,87	9,75
	Besleme	100	24,32	100
30	Konsantre	73,35	32,42	89,95
	Atık	26,65	9,97	10,5
	Besleme	100	24,32	100,45

Ek 2.8 Espey Atık Barajı numunesi, +1mm tane boyutu 600 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	28,21	28,5	31,75
	Atık	71,79	24,08	68,25
	Besleme	100	24,32	100
20	Konsantre	72	32,11	88
	Atık	28	11,24	12
	Besleme	100	24,32	100
30	Konsantre	74,42	32,65	89,37
	Atık	25,58	11,3	10,63
	Besleme	100	24,32	100
40	Konsantre	73,1	32,73	88,7
	Atık	26,9	11,33	11,3
	Besleme	100	24,32	100
50	Konsantre			
	Atık			
	Besleme			
60	Konsantre			
	Atık			
	Besleme			

Ek 2.9 Espey Atık Barajı numunesi, +1 mm tane boyutu 360 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	-	-	-
	Atık	-	-	-
	Besleme	-	-	-
20	Konsantre	32,65	31,1	41,73
	Atık	67,35	21,05	58,27
	Besleme	100	24,32	100
30	Konsantre	45,18	31,15	53,67
	Atık	54,82	22,16	46,33
	Besleme	100	24,32	100
40	Konsantre	45,8	31,6	54,27
	Atık	54,2	22,5	45,73
	Besleme	100	24,32	100
50	Konsantre	56,2	32,65	68,66
	Atık	43,8	19,2	31,34
	Besleme	100	24,32	100
60	Konsantre	75,87	32,9	91,3
	Atık	24,13	9,84	8,7
	Besleme	100	24,32	100

Ek 2.10 Espey Atık Barajı numunesi, -1 + 0,125 mm tane boyutu 800 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	19,86	30,15	20
	Atık	80,14	29,87	80
	Besleme	100	29,6	100
20	Konsantre	30,12	35,6	33,9
	Atık	69,88	29,9	66,1
	Besleme	100	29,6	100
30	Konsantre	35,18	37,74	40,8
	Atık	64,82	29,73	59,2
	Besleme	100	29,6	100
40	Konsantre	36,35	37,6	41,7
	Atık	63,65	29,55	58,3
	Besleme	100	29,6	100
50	Konsantre	35,18	39,3	42,45
	Atık	64,82	28,92	57,55
	Besleme	100	29,6	100

Ek 2.11 Espey Atık Barajı numunesi, -1 + 0,125 mm tane boyutu 600 watt mikrodalga güce bağlı deney sonuçları.

SÜRE(Dk)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK(%)	B ₂ O ₃ (%)	VERİM(%)
10	Konsantre	19,6	28,95	19,1
	Atık	80,4	29,95	80,9
	Besleme	100	29,6	100
20	Konsantre	25,13	32,13	26,4
	Atık	74,87	30,11	73,6
	Besleme	100	29,6	100
30	Konsantre	34,37	35,33	38,51
	Atık	65,63	29,54	61,49
	Besleme	100	29,6	100
40	Konsantre	36,26	35,1	41,62
	Atık	63,74	29,1	58,38
	Besleme	100	29,6	100
50	Konsantre	36,61	37,71	42,72
	Atık	63,39	29,2	57,28
	Besleme	100	29,6	100
60	Konsantre	36,37	38,52	45,53
	Atık	63,63	29	54,47
	Besleme	100	29,6	100

EK 3. MİKRODALGA DENEY ŞEKİLLERİ

Ek 3.1 Mikrodalga fırın ve mikrodalga işlem görmemiş numune.



Ek 3.2 Mikrodalga fırın ve mikrodalga işlem görüp karıştırılmamış numune.



Ek 3.3 Mikrodalga işlem görmüş numune.

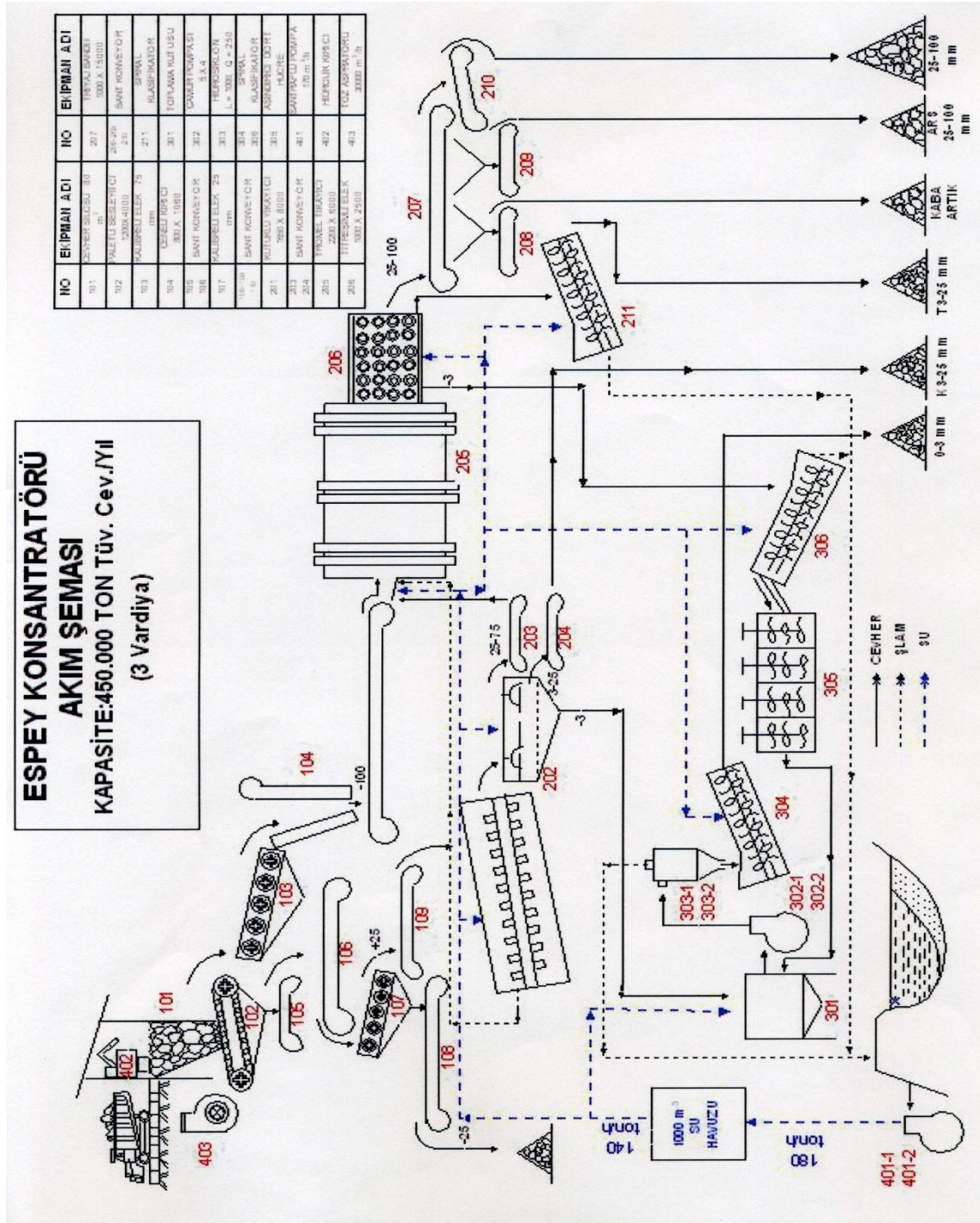


Ek 3.4 Mikrodalga işlem esnasında oluşan aglomerat örnekleri.

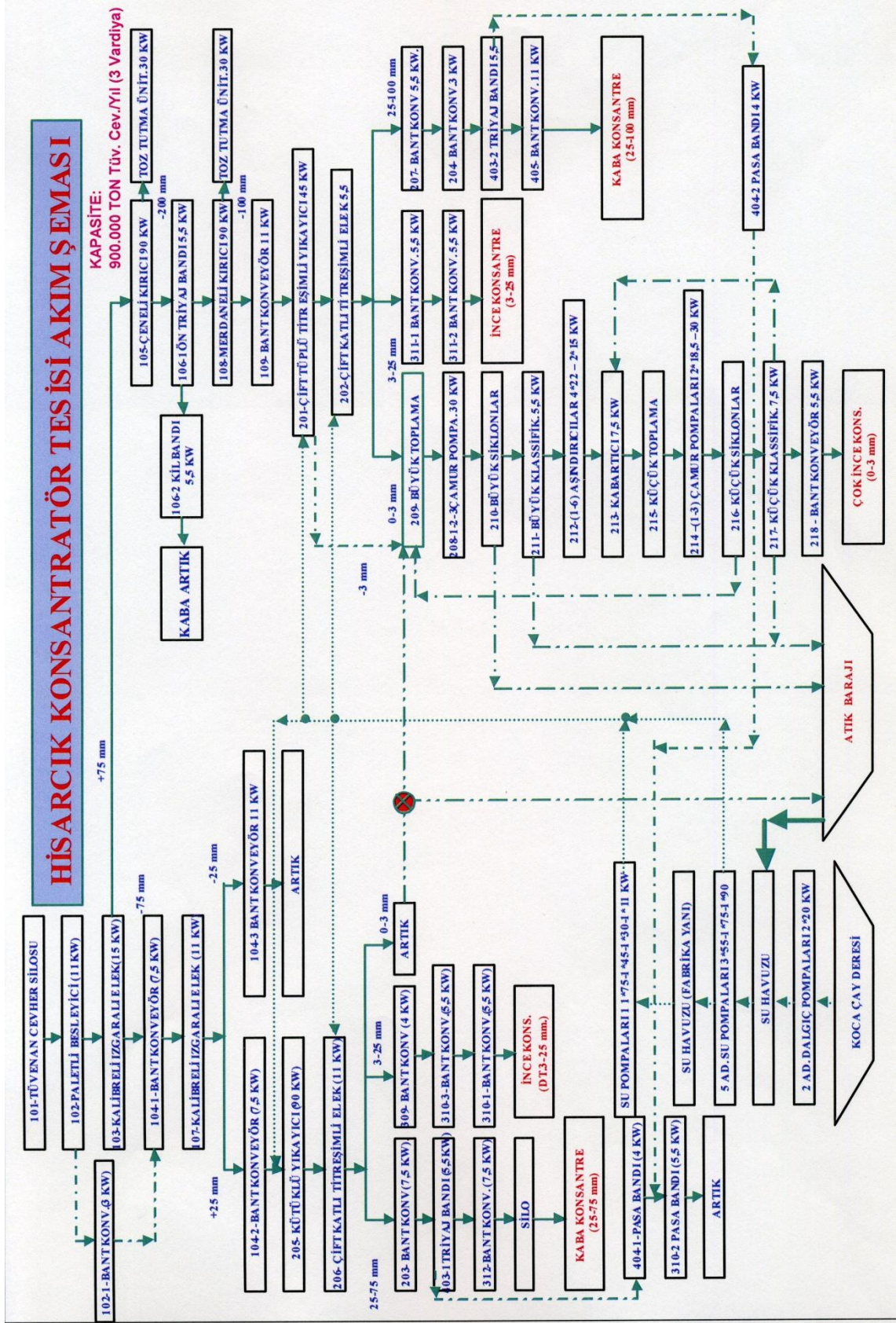


Ek 3.5Mikrodalga işlem esnasında oluşan aglomerat örnekler.

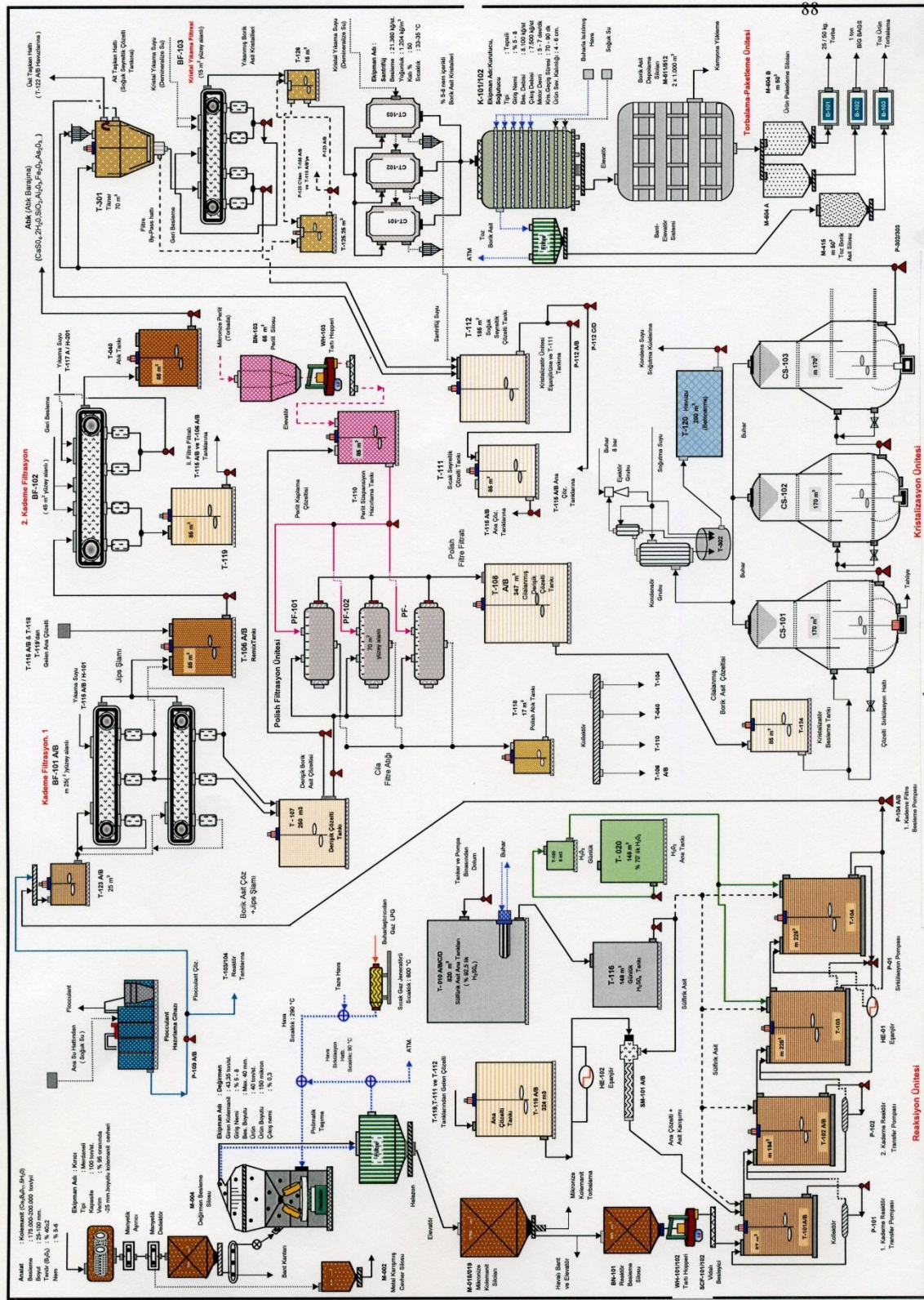
EK 4. AKIM ŞEMALARI



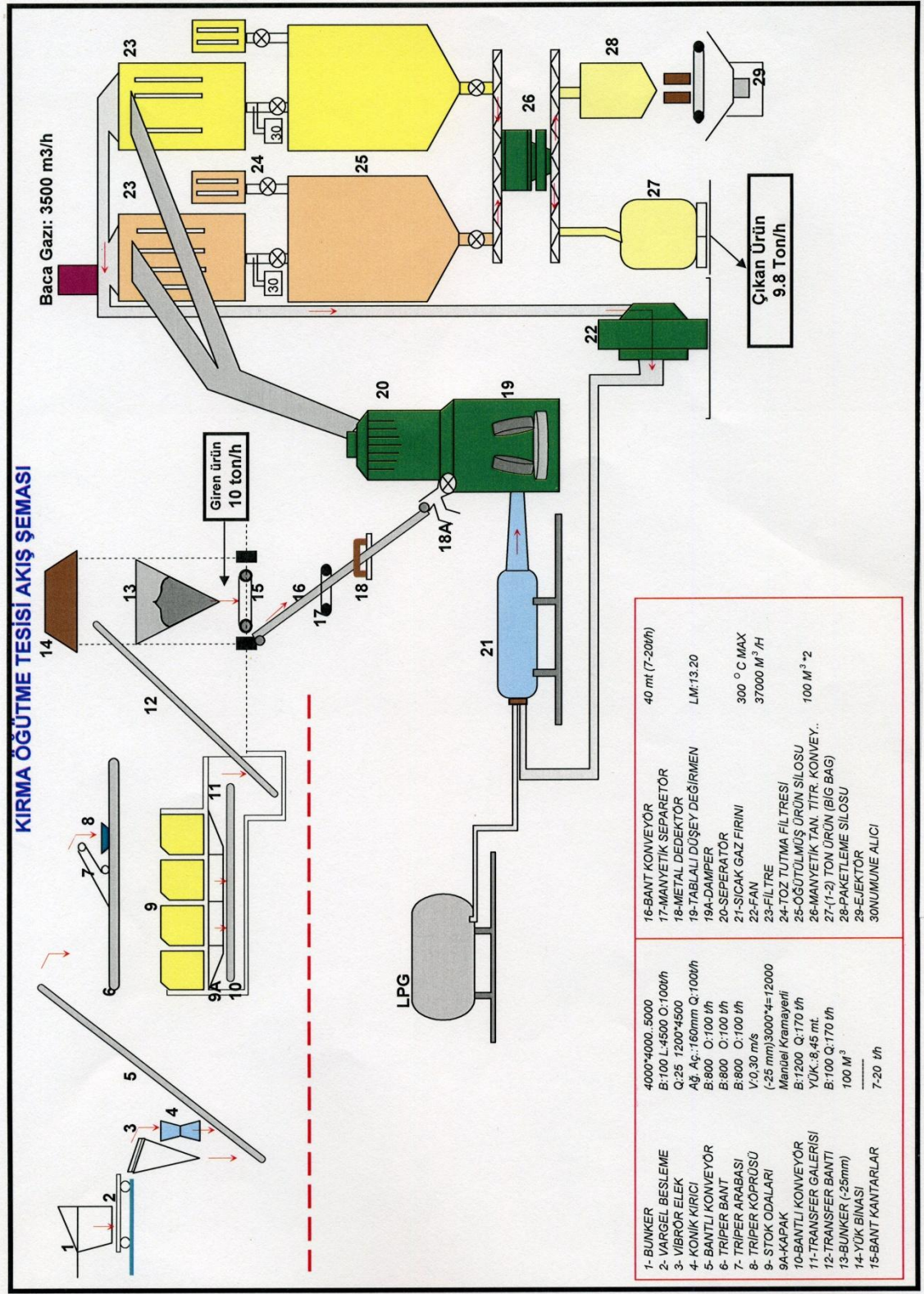
Ek 4.1 Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Konsantratör Tesisi akım şeması.



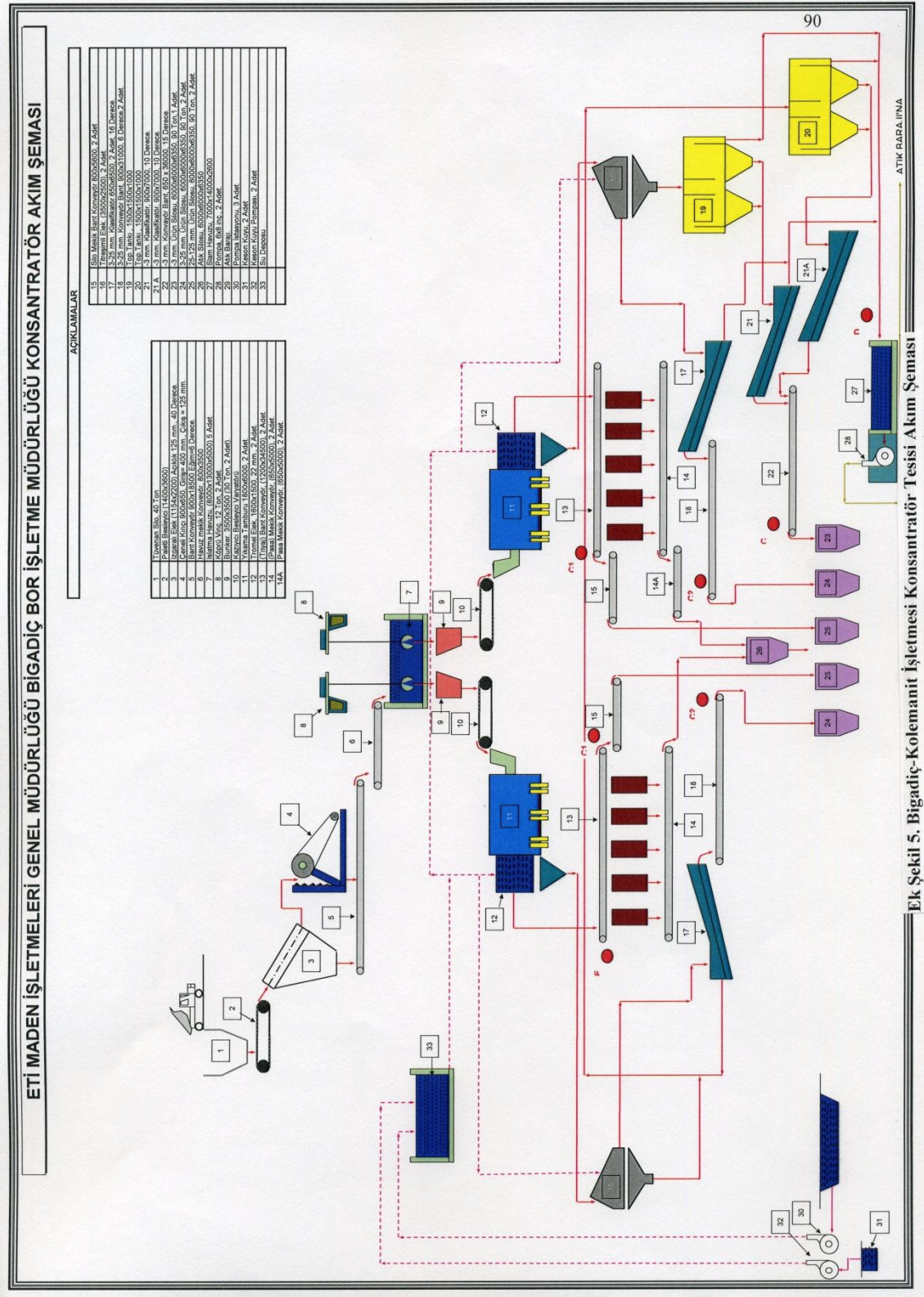
Ek 4.2 Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Konsantratör Tesisi akım şeması.



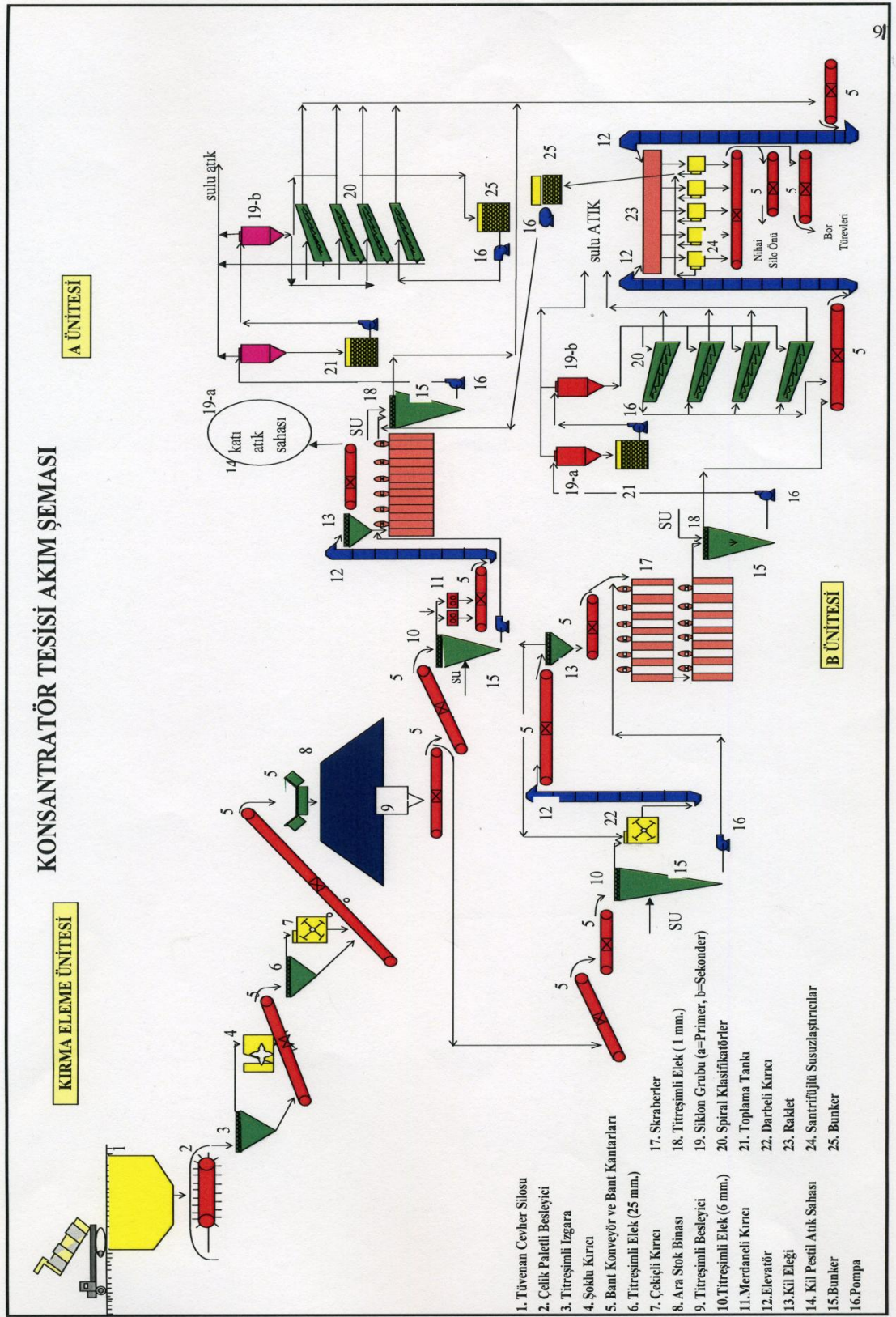
Ek 4.3 Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit Fabrikası Teknolojik akım şeması.



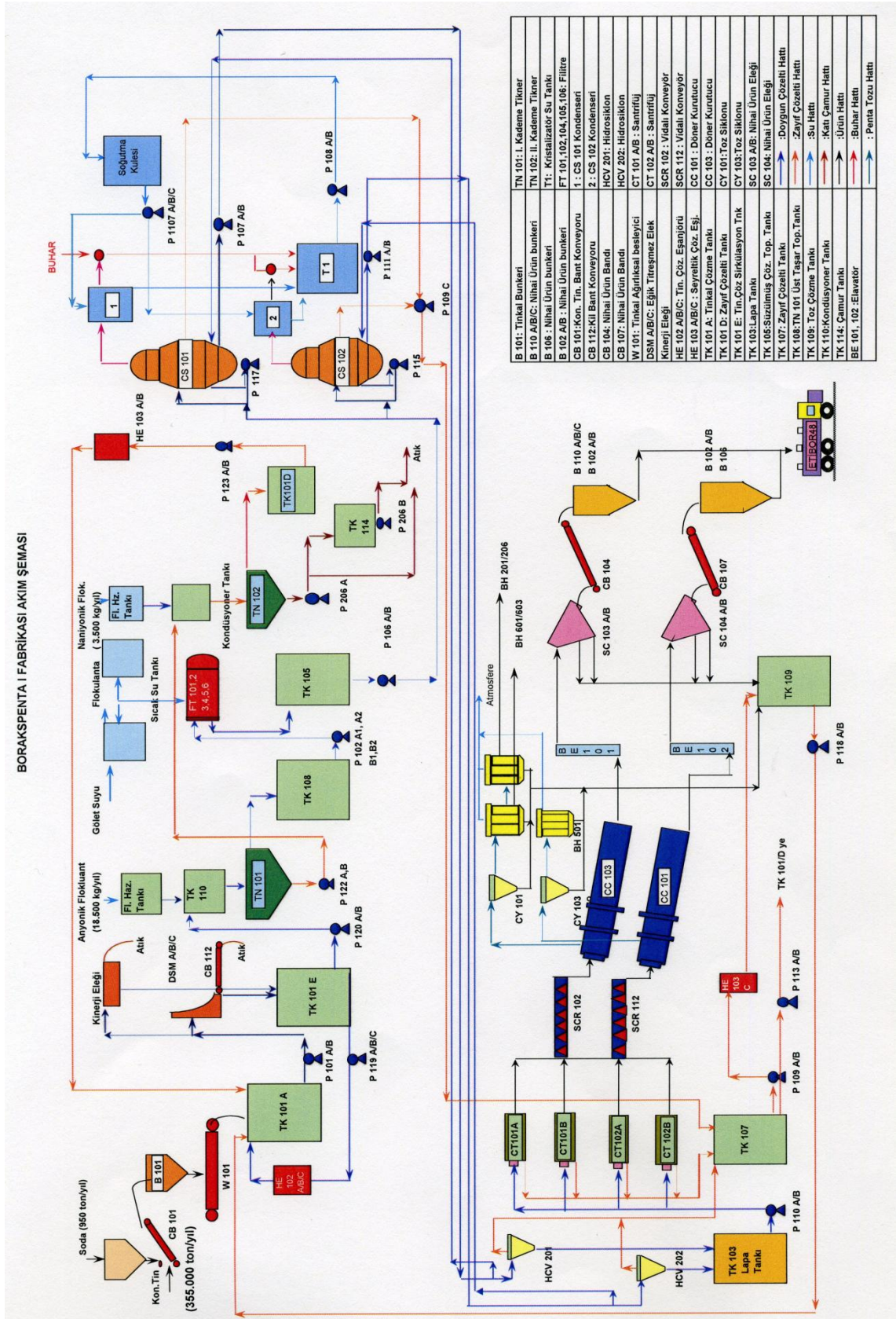
Ek 4.4 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Kırma-Öğütme Tesisi akım şeması.



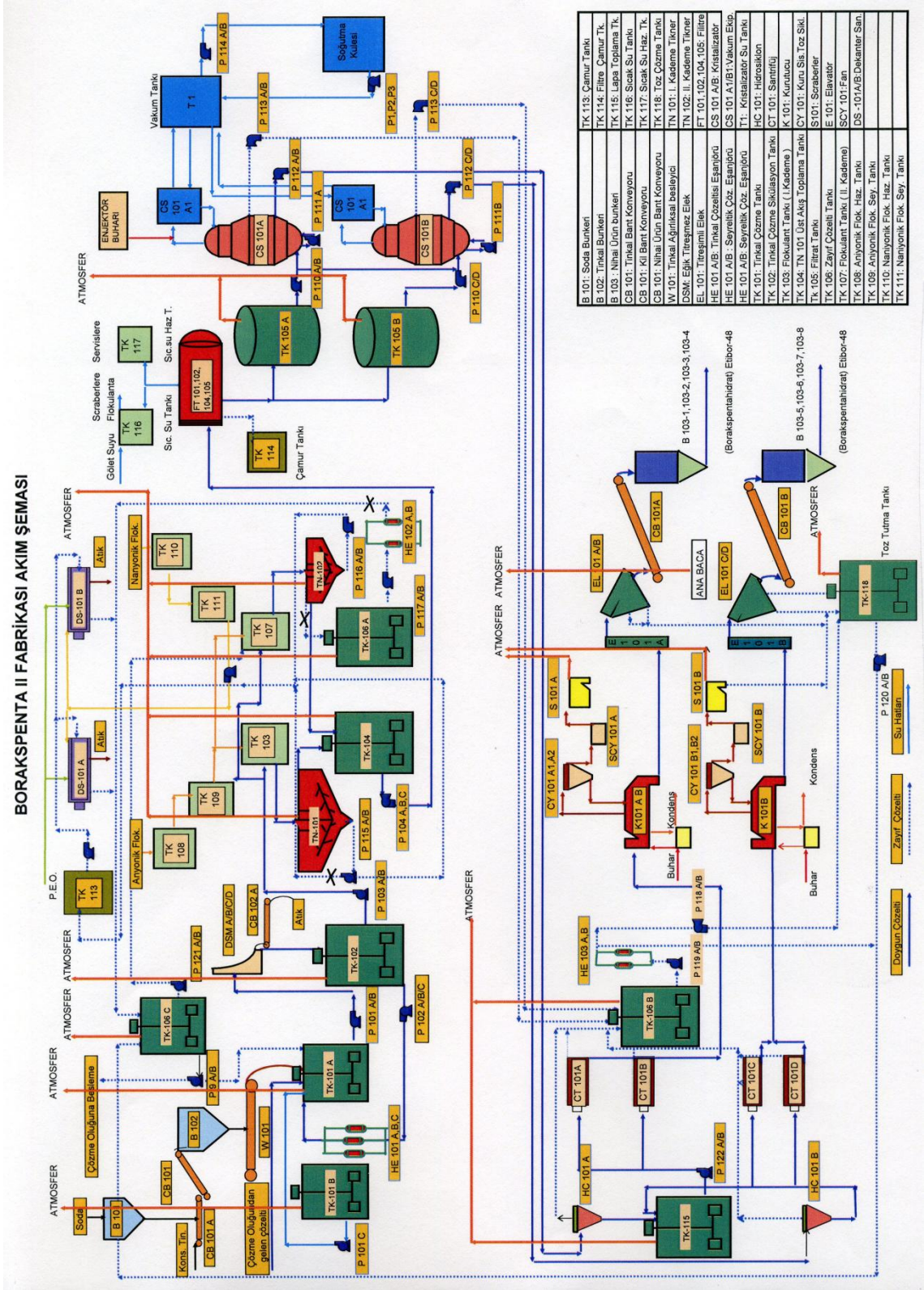
Ek 4.5 Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Konsantratör Tesisi akım şeması.



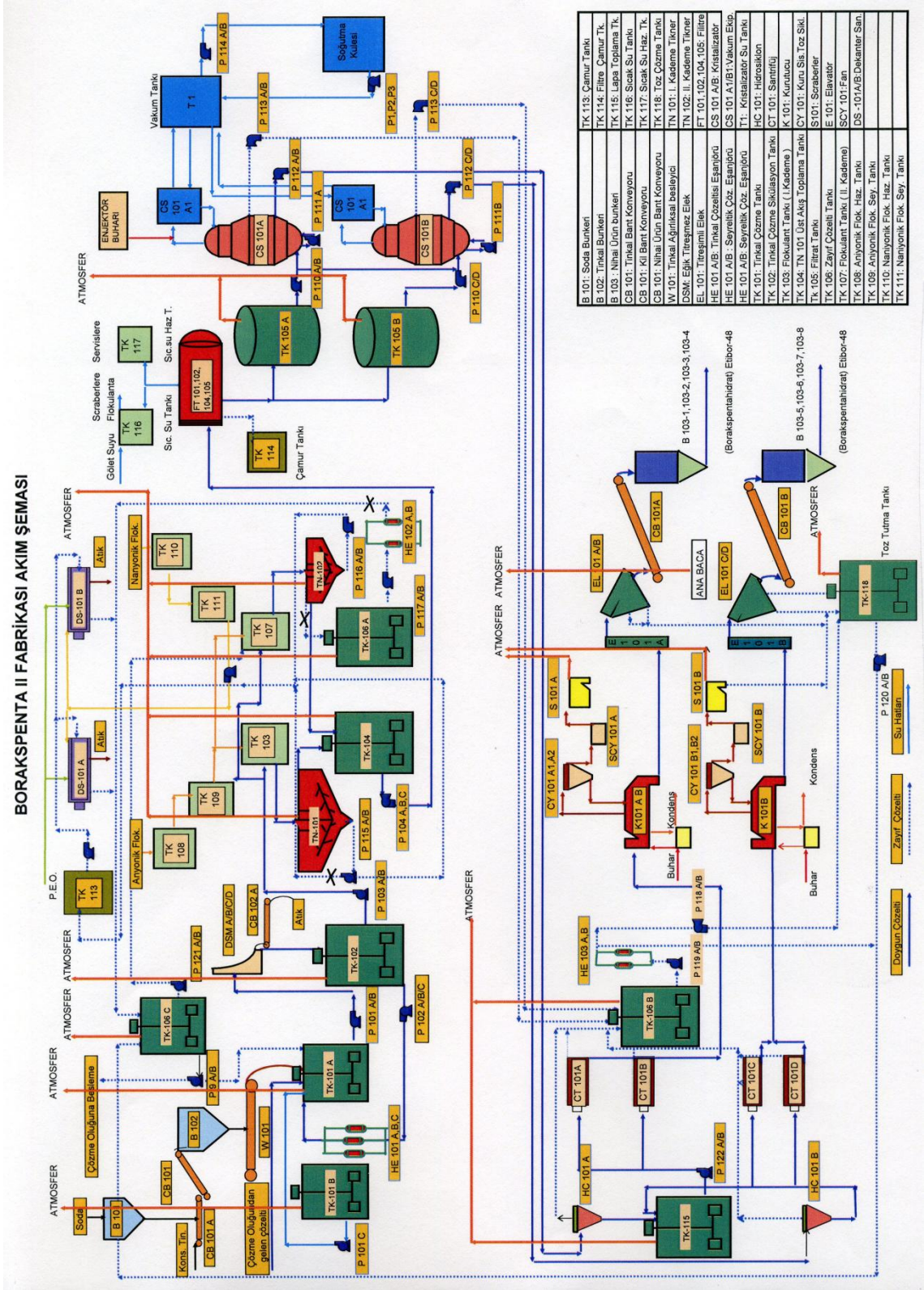
Ek 4.6 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Konsantratör Tesisi akım şeması.



Ek 4.7 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Boraks Penta I Fabrikası Tesisi akım şeması.



Ek 4.8 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Boraks Penta II Fabrikası Tesisi akım şeması.



Ek 4.9 Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Boraks Penta III Fabrikası Tesisi akım şeması.