

ETİ BOR EMET - HİSARCIK KOLEMANİT
ATIKLARININ DEKREPİTASYON YÖNTEMİ İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Ömer AYKUL

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2008

**ETİ BOR EMET - HİSARCIK KOLEMANİT ATIKLARININ DEKREPİTASYON
YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ**

Ömer AYKUL

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

Danışman : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Ekim - 2008

KABUL ve ONAY SAYFASI

Ömer AYKUL'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "ETİ BOR EMET HİSARCIK KOLEMANİT ATIKLARININ DEKREPİTASYON YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

/ /2008

Üye : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Üye : Yrd.Doç.Dr. İsmail BENTLİ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Nezahat EDİZ

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

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

ETİ BOR EMET HİSARCİK KOLEMANİT ATIKLARININ DEKREPİTASYON YÖNTEMİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Ömer AYKUL

Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Hisarcık konsantratör tesisinde bor zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan artık barajında depolanan, hem çevresel sorunlara, hem de ekonomik kayıplara neden olan ince (-3 mm) artıkların zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bunun için ilk önce malzemenin kimyasal, fiziksel ve fizikokimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada artık barajından alınan temsili numunenin %23,63 B₂O₃ içerikli olduğu aynı zamanda 2080 ppm oranında As₂O₃ içerdiği tespit edilmiştir. Mineralojik incelemeler sonucunda ise numunenin esas olarak kolemanit, montmorillonit ve kalsit minerallerinden oluştuğu az olarak da, dolomit ve muskovit içerdiği belirlenmiştir.

Bor atıklarının çevreye verdiği zarar ve depolama maliyetleri Bor İşletmelerinin önemli problemlerinden biridir. Deneysel çalışmalarda kullanılan atık numunesinde % 23,63 B₂O₃ ve dikkate değer miktarlarda Arsenik ile Fe₂O₃ tespit edilmiştir. B₂O₃'ü kazanmak amacıyla dekrepatasyon yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra ise kolemanit içerisindeki B₂O₃ tenörünün daha fazla artırılması için flotasyon deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kalsinasyon, Dekrapitasyon, Flotasyon, Hisarcık Bor Tesisi, Kolemanit.

**BENEFICIATION WITH DECREPITATION OF COLEMANITE TAILINGS
IN ETI BOR IN HİSARCIK, EMET**

Ömer AYKUL

Master of Science Thesis, 2008

Thesis Supervisor : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

SUMMARY

In this study, the possibility to beneficiate fine tailings (-3 mm) of Emet Hisarcık Boron Plant, which cause both environmental problem and economic losses, is examined. first of all chemical, physical and physico-chemical characterization studies of the material have been performed. It has been determined that the representative sample taken from the waste dam has 23,63% B_2O_3 and 2080 ppm As_2O_3 . As a result of the mineralogical examinations, it has been determined that the sample mainly consisted of colemanite, montmorillonite and calcite minerals. Also sample contains small amounts of dolomite and muscovite.

The damages to the environment and storage losses are serious problems of Bor Mine Works managements. In experimental studies, it has been observed that the tailings samples contained 23,63 % B_2O_3 and significant amount of Arsenic (As) and Fe_2O_3 . Decrepitation method is used to recover the B_2O_3 contents of the samples. Afterwards, flotation tests have been performed to increase a lot the B_2O_3 grade in colemanite.

Keywords : Calcination, Decrepitation , Flotation, Hisarcık Boron Plant, Colemanit

TEŞEKKÜR

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

Kolemanit atık numunelerinin temininde gösterdikleri ilgi ve B₂O₃ analizi yapımını öğrenmeme yardımcı olan Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi 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 Zerrin AYKUL'a, babam Ali AYKUL'a ve kardeşim Mustafa AYKUL'a minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Borun Tanımı	3
2.2. Bor Mineralleri	4
2.2.1. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	4
2.2.2. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	4
2.2.3. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	5
2.2.4. Propertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	5
2.2.5. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	5
2.2.6. Pandemit (Priseit) ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	5
2.2.7. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	5
2.3. Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri	9
2.4. Türkiye'deki ve Dünya'daki Bor Yatakları ve Rezervi	11
2.4.1. Dünya'da durum	11
2.4.2. Türkiye'de durum	13
3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLME STRATEJİLERİ	18
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri	18
3.2. Bor Atıklarının Uygun Bir Şekilde Değerlendirilmesinden Elde Avantajlar	18
3.3. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri	18
3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması	20
3.5. Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması	20

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4. BOR CEVHERLERİNİ ZENGİNLEŞTİRİLME YÖNTEMLERİ	21
4.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri.....	21
4.1.1. Elle Ayıklama ile Zenginleştirme	21
4.1.2. Aşındırarak sınıflama ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme.....	21
4.1.3. Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme.....	22
4.2. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme.....	23
4.3. Dekrepatasyon Yöntemi ile Zenginleştirme	23
4.3.1. Bor Cevherinin Dekrepatasyon ile Zenginleştirme Akım Şemaları.....	24
4.4. Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirme.....	36
4.4.1. Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyeli.....	41
4.4.2. Elektro Kinetik olay ve Zeta Potansiyelinin Ölçülmesi	43
4.4.3. Avantaj ve Dezavantajları	43
4.4.4. Sıfır Yük Noktası (Z.P.C.) ve Eş Yük Noktası (I.E.P).....	44
4.4.5. Katı Gaz Ara yüzeyi arasındaki etkileşim.....	45
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
5.1. Malzeme ve Yöntem	47
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	52
6.1. Dekrepatasyon Deneyleri	53
6.1.1. +3.15 mm. Elek Serisinin Kalsinasyon Deneyleri	55
6.1.2. -3.15+2.00 mm. Elek Serisinin Kalsinasyon Deneyleri	59
6.1.3. -2.00+0.315 mm. Elek Serisinin Kalsinasyon Deneyleri	63
6.1.4. -0.315+0.112 mm. Elek Serisinin Kalsinasyon Deneyleri	67
6.1.5. -0.112+0.045 mm. Elek Serisinin Kalsinasyon Deneyleri.....	71
6.2. Flotasyon Deneyleri	76
6.2.1. +3.15 mm. Elek Serisinin Flotasyon Deneyleri	77
6.2.2. -3.15+2.00 mm. Elek Serisinin Flotasyon Deneyleri.....	78
6.2.3. -2.00+0.315 mm. Elek Serisinin Flotasyon Deneyleri	79
6.2.4. -0.315+0.112 mm. Elek Serisinin Flotasyon Deneyleri	80
6.2.5. -0.112+0.045 mm. Elek Serisinin Flotasyon Deneyleri.....	81
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR DİZİNİ	86
EKLER	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.Dünya Bor Rezervlerinin Oransal Dağılımı.....	11
4.1. Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemiyle Zenginleş. Akım Şeması.....	24
4.2. Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi Akım Şeması.....	25
4.3. Kalsine Kolemanit Atıklarının Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi Akım Şeması.....	26
4.4. Kalsine İnce Toz Boraks Hidratların Kompaktlanması için Dehidrasyon Akım Şeması	27
4.5. Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepatasyon yolu İle Zenginleş. Araştırılması Akım Şeması.....	28
4.6. Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi Akım Şeması	29
4.7. Kolemanitin Kilden Ayrılmasında Isıl İşlemin Etkisi Akım Şeması	30
4.8. Tinkal ve Kolemanit Cevherinin Dekrepatasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi ve Yaş Yöntemle Ekonomik Yönden Mukayesesi Akım Şeması.....	31
4.9. Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem İle Zenginleştirme Yöntemleri Akım Şeması.....	32
4.10. Tinkal Cevherinin Kalsinasyon-Klasifikasyon Yöntemi İle Zenginleştirilmesi Akım Şeması.....	33
4.11. Üleksitteki Kalsinasyon Parametrelerinin Tayini ve Kolemanitten Üleksiti Ayırma İmkani Akım Şeması.....	34
4.12. Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi Akım Şeması.....	35
4.13. Flotasyon Hücresi	38
4.14. Elektriksel Çift Tabakanın İç kısımları	42
4.15. Temas Açısı ve Fazlar Arası Denge	45
4.16. Temas Açısı Ölçümü	46
5.1. Hisarcık Bor Konsantre Tesisi Akım Şeması.....	48
5.2. Atık Barajı Numunesinin XRD Sonuçları	49
5.3. Malzemedeki Kilin XRD Sonuçları	49
5.4. Malzemenin Tane Boyutu Dağılımı ve Tenör Değişimi	50
6.1. Deneysel Çalışmalar Akım Şeması	52
6.2. Dekrepatasyon Deneyleri Akım Şeması	54
6.3. +3.15 mm’de 350 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	55
6.4. +3.15 mm’de 400 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	55
6.5. +3.15 mm’de 450 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	56
6.6. +3.15 mm’de 500 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.7. +3.15 mm'de 550 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	57
6.8. +3.15 mm'de 600 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	58
6.9. -3.15+2.00 mm'de 350 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	59
6.10. -3.15+2.00 mm'de 400 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	60
6.11. -3.15+2.00 mm'de 450 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	60
6.12. -3.15+2.00 mm'de 500 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	61
6.13. -3.15+2.00 mm'de 550 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	62
6.14. -3.15+2.00 mm'de 600 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	62
6.15. -2.00+0.315 mm'de 350 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	63
6.16. -2.00+0.315 mm'de 400 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	64
6.17. -2.00+0.315 mm'de 450 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	64
6.18. -2.00+0.315 mm'de 500 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	65
6.19. -2.00+0.315 mm'de 550 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	66
6.20. -2.00+0.315 mm'de 600 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	66
6.21. -0.315+0.112 mm'de 350 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	67
6.22. -0.315+0.112 mm'de 400 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	68
6.23. -0.315+0.112 mm'de 450 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	68
6.24. -0.315+0.112 mm'de 500 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	69
6.25. -0.315+0.112 mm'de 550 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	70
6.26. -0.315+0.112 mm'de 600 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	70
6.27. -0.112+0.045 mm'de 350 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	71
6.28. -0.112+0.045 mm'de 400 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	72
6.29. -0.112+0.045 mm'de 450 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	72
6.30. -0.112+0.045 mm'de 500 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	73
6.31. -0.112+0.045 mm'de 550 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	74
6.32. -0.112+0.045 mm'de 600 °C de Yapılan Kalsinasyon Sonuçları.....	74
6.33. + 3.15 mm. İle Yapılan Flotasyon Deneyi Sonuçları.....	77
6.34. -3.15+2.00 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları.....	78
6.35. -2.00+0.315 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları.....	79
6.36. -0.315+0.112 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları.....	80
6.37. -0.112+0.045 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları.....	81
6.38. Pilot tesis için önerilen akım şeması.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Ek Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1. Emet-Kolemanit İşletmesi Hisarcık Konsantratör Tesisi akım şeması	103
2. Emet-Kolemanit İşletmesi Borik Asit Fabrikası Teknolojik akım şeması	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri	3
2.2. Başlıca Bor Mineralleri	4
2.3. Bor Cevher ve Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	6
2.4. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	7
2.5. Bor Ürünlerinin Kullanım Sektörü	8
2.6. Türkiye Borat Yataklarının Ana Özelliği.....	12
2.7. Türkiye Bor Rezervleri ve Etibor'a Bağlı İşletmeler.....	12
2.8. Türkiye Bor Tuzu Rezervlerinin ve B ₂ O ₃ Bazında Rezervlerin Havzalara Dağılımı	14
5.1. Malzemenin Kimyasal Bileşimi	47
5.2. Emet Hisarcık Atık Barajındaki Kolemanitin Tane Boyutuna Göre Tenör Dağılımı	50
5.3. Hisarcık Bölgesinin Jeolojisi	51
6.1. Dekrepatasyon Deney Sonuçları.....	75
6.2. Flotasyon Deney Sonuçları	82
<u>Ek Çizelge</u>	
1. +3.15 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları	95
2. +3.15 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları	95
3. +3.15 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları	95
4. +3.15 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları	96
5. +3.15 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları	96
6. +3.15 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları	96
7. -3.15+2.00 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	96
8. -3.15+2.00 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	97
9. -3.15+2.00 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	97
10. -3.15+2.00 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	97
11. -3.15+2.00 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	97
12. -3.15+2.00 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Ek Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
13. -2.00+0.315mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	98
14. -2.00+0.315mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	98
15. -2.00+0.315mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	98
16. -2.00+0.315mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	99
17. -2.00+0.315mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	99
18. -2.00+0.315 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	99
19. -0.315+0.112 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	99
20. -0.315+0.112 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	100
21. -0.315+0.112 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	100
22. -0.315+0.112 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	100
23. -0.315+0.112 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	100
24. -0.315+0.112 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	101
25. -0.112+0.045 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	101
26. -0.112+0.045 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	101
27. -0.112+0.045 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	101
28. -0.112+0.045 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	102
29. -0.112+0.045 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	102
30. -0.112+0.045 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları.....	102

1. GİRİŞ

Türkiye sahip olduğu bor minerallerinin rezervlerinin büyüklüğü, nitelikleri ve çeşitliliği açısından Dünya’da birinci sırada bulunmaktadır [1, 2]. Ülkemiz gerek kalite, gerekse miktar bakımından Dünyanın en zengin yataklarına sahip olmasına rağmen bor ürünleri ile rafine bor bileşikleri üretimi ve ticareti açısından olması gereken düzeyde değildir [3]. Bor modern teknolojide çok çeşitli ve yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Gelişen teknolojiler, bor kullanımını ve bora bağımlılığı artırmaktadır. Bu nedenle borun stratejik mineral olma özelliği giderek daha da belirginleşmektedir [4].

Dünyada gelişen teknoloji adeta bor tüketiminin bir teşvikçisi olmakta ve gün geçtikçe gelişen yeni kullanım alanları boru dünya ekonomisinde biraz daha vazgeçilmez yapmaktadır. Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %72’sine sahip olan Türkiye üretim bakımından ABD’den sonra ikinci sıradadır. Ayrıca, Tüm dünya ülkeleri üleksit ve kolemanit mineralleri bakımından Türkiye’ye bağımlıdırlar. Ülkemizde işletilmekte olan başlıca bor minerallerinden Tinkal Eskişehir-Kırka, Kolemanit Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek, Üleksit ise Balıkesir-Bigadiç’te bulunmaktadır [5, 6]. Çalışmanın yapıldığı Emet bölgesi Kolemanit yataklarının toplam rezervi B_2O_3 bazında 232 milyon ton olup, ortalama %28,5 B_2O_3 tenörüne sahiptir. Hisarcık konsantratörü tüvanan cevher işleme kapasitesi 900.000 ton/yıl, konsantre cevher üretim kapasitesi 450.000 ton/yıl’dır [22, 23]. Kolemanit, kırılğan bir yapıya sahip olduğu için, konsantratörü de ufalama devresinde oluşan ince kolemanit taneleri (-3 mm) gang mineralleri ile atık barajında toplanmaktadır. Atık barajının ortalama %21,37 B_2O_3 içerdiği tespit edilmiştir.

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 artık birikimi olmaktadır. Bu artıklar stoklama ve çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca artıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da büyük önem arz etmektedir [3]. Ayrıca atıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da büyük önem taşımaktadır. Bu tesislerden birisi olan Eti Bor Emet Kolemanit İşletmesi Tesisi’nden %88’i kaba ve %12’ si ince olmak üzere yılda 1,5 milyon ton artık ortaya çıkmaktadır. Bu atıklardan %26’lara varan B_2O_3 kaybı meydana gelmektedir [3, 7]. 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 [8].

Bu çalışmanın amacı Hisarcık atık sahasından alınan -3 mm şlam atıkları içerisindeki kolemanit minerallerinin satılabilir bir ürün haline getirilmesi amacıyla çeşitli yöntemlerle zenginleştirerek baraja giden ince atığı kazanıp, çevresel problemleri ortadan kaldırmak ve ekonomiye kazanç sağlamaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Borun Tanımı

Kimyasal sembolü B olan bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10,82 ve ergime noktası 2190 C° 'dir. 51. yaygın element olarak yer kabuğunda boratlar ve bora silikatlar halinde bulunan bor elementi periyodik cetvelde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir. 150'den fazla mineralin bileşiminde yer almasına rağmen oksijene ilgisi nedeni ile doğada serbest olarak değil, oksijene bağlanmış bileşikler halinde bulunur [2, 4, 9, 10, 11]. Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Borun element olarak kullanışı daha az yaygın olup yenidir. Oysa borun en çok kullanılan türü olan boraks binlerce yıldan beri bilinmektedir. 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 kahverengidir. Ancak çok gevrek ve sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmastan sonra en sert elementtir [12].

Bor elmastan sonra ametaller arasında elektropozitifliği en yüksek olan elementtir. Oda sıcaklığında elektrik iletkenliği zayıftır fakat yüksek sıcaklıklarda çok yüksektir [2, 4, 12, 13]. Bor elementinin fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir [14].

Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri [14]

Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10,811+0,003
Ergime noktası	2190+20 °C
Kaynama noktası	3660 °C
Isıl genleşme katsayısı(25-1050 °C arası, 1 °C için)	$5 \times 10^{-7} \times 10^6$
Knoop sertliği	2100-2580 HK
Mohs sertliği (elmas-15)	11
Vickers sertliği	5000 HV

Bor, yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, yanma sonucunda kolaylıkla aktarabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olduğundan katı yakıt hücresi olarak da kullanılmaktadır [12, 15].

2.2 Bor Mineralleri

Bor mineralleri yapılarında bulunan Ca, Na ve Mg elementlerine göre sınıflandırılır. Sodyum kökenli olanlara tinkal (boraks), kalsiyum kökenli olanlara kolemanit ve sodyum-kalsiyum kökenli olanlara üleksit denilir. Ticari önem taşıyan bor mineralleri genellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum bazlı boratlardır [4].

Çizelge 2.2. Başlıca bor mineralleri

Adı	Formülü	%B ₂ O ₃	% H ₂ O	Öz.Ağır(gr/cm ³)
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5	47.2	1.69-1.80
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51.1	26.5	1.95
Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	47.8	30.9	
Üleksit	NaCa B ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.1	35.5	1.96
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6	15.4	
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.9	21.9	2.26-2.48
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.8	18.1	2.42
Priseit	Ca ₅ B ₁₂ O ₂₃ .7H ₂ O	50.7	15.4	2.40
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2		2.90
Szaybelit	Mg(BO ₂)(HO)	41.4		
Göl suları		1.5-2.0		

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 ve özgül ağırlığı 1,7 gr/cm³'dür. B₂O₃ içeriği %36,5'dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir [14, 16].

2.2.2. Kernit (Razorit) (Na₂B₄O₇.4H₂O)

Tabiatta renksiz, saydam uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95 gr/cm³ ve B₂O₃ içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Kırka 'da Na-borat kütlelerinin alt kısımlarındadır. Dünya 'da ise Arjantin ve ABD 'de bulunur [11, 13, 14, 17, 18].

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

Tabiatta masif, karnabahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroborasit ve propertit ile birlikte teşekkül etmiştir. B_2O_3 içeriği %43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, Dünya 'da ise Arjantin 'de bulunmaktadır [8, 13, 14, 19].

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

Kirli beyaz, açık sarımsı renklere 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 [8, 14, 17].

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 ve özgül ağırlığı $2,42 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. 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 [8, 11, 13, 14, 18, 19].

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 [8, 14].

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 yönelmiş 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 renklere (arsenik içeriğine göre) kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, İğdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur [8, 13, 14, 19].

Çizelge 2.3. Bor cevher ve ürünlerinin kullanım alanları [21].

Kalsiyum Borat Cevherleri	Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri	Sodyum Borat Cevherleri	Borlu Göl Suları	Boraks Penta ve Dekahidrat, Susuz Boraks	Susuz Borik Asit	Sodyum Perborat	Borik Asit
<ul style="list-style-type: none"> • Cam • Metalurji • Nükleer • Tekstil • Türevi • Fiberglas 	<ul style="list-style-type: none"> • Selülozik • İzolasyon • Fiberglas • Metalurji • Nükleer • Cam 	<ul style="list-style-type: none"> • Rafine boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat, susuz boraks 		<ul style="list-style-type: none"> • Gübre • Fiberglas • Metalurji • Cam ağartıcıları • Cam • Yapıştırıcılar • Kozmetik ve ilaç • Tarım • Fotoğraf • Tekstil boyaları • Dericilik • Yün koruyucu • Emaye, frit ,sır 	<ul style="list-style-type: none"> • Antiseptik • Kozmetik • Yangın söndürücü • Deri • Böcek mücadelesi • Metalurji • Naylon ve tekstil san. • Sabun ve deterjanlar • Sır kaplama • Fotoğraf 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterjan ve ağartıcılar • Dezenfektan • Tekstil boyaları • Cam ve boyaları 	<ul style="list-style-type: none"> • Cam • Zirai mücadele • Böcek mücadelesi • Fotoğraf • Sabun ve deterjan • Naylon • Tekstil boyaları • Balmumu yumuşatıcı • Ağaç koruyucu • Sır kaplama • Antiseptik • Kozmetik • Yangın söndürücü • Sır kaplama • Metalurji • Nükleer • Sabun ve deterjan • Tekstil • Fiberglas

Çizelge 2.4. Borun ürünlerinin kullanım alanları [16, 23, 24]

ÜRÜN	KULLANIM ALANLARI
Amorf ve Kristal Bor	Askeri Piroteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza, Metallerde Alaşım Elemanı ve Deoksidan, Bakır ve Alaşımında Gaz Giderici, Alüminyum Döküntülerinde Tane Rafinasyonu, Yarı İletkenlerde vb.
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri
Bor Flamentleri	Havacılık ve Spor Malzemeleri için Kompozitler
Bor Karbit	Kesme Ekipman Bileycileri, Endüstriyel Yataklar, Çok Yüksek Sıcaklıklarda Korozyon ve Oksitlenme Direnci Gerektiren Ekipmanlar.
Bor Karbür	Askeri Araçlarda Zırh Plakaları, Uzay Mekiklerinde Dış Yüzey Korumucu, Aşındıncılar, Tesviye Aksarıları, Yüzey Parlaticılar, Yüksek Aşınma Direnci ve Esnemezlik Gerektiren Diğer Alanlar.
Borazon	Yüksek Hızlı Kesiciler
Borik Asit	Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımaları, Nükleer, Yangın Geciktiriciler, Naylon, Fotoğrafçılık, Tekstil, Dericilik, Gübre, Nikel Kaplama, Kimyasal Katalist, Cam, Cam Elyafı, Emaye, Sır, vb.
Bor Halidler	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil Kalite Cam Elyafı, Bor Alaşımaları, Cüruf Yapıcı, Nükleer Atık Muhafazası
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil, "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiriciler, Gübreler ve Zırai Araçlar
Sodyum Bor Cevheri (Üleksit ve Probertit)	Yalıtım Cam elyafı, Borosilikat Cam
Sodyum Bor Hidrür	Özel Kimyasalları Sıfırlama, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, Deterjan, Zırai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın Geciktirici, Gübre
Sodyum Perborat	Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil
Sodyum Tetraborat (Boraks)	Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar vb.
Susuz Boraks	Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler

Çizelge 2.5. Bor Ürünlerinin Kullanım Sektörü [2, 4, 9, 16, 25]

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırhlı Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli silah Namunları vb.
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuvar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayii	Mikro Çipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında, Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yan İletkenler, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Laser Printer tonerleri vb.
Enerji Sektörü	Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb.
Fotoğrafçılık ve Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayii	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb.
İletişim Araçlarında	Çep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
İnşaat ve Çimento Sektöründe	Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlı olarak
Kağıt Sanayii	Beyazlatıcı Olarak
Kauçuk ve Plastik Sanayii	Naylon vb. Plastik Malzemeler vb.
Kimya Sanayii	Bazı Kimyasalların İndirgenmesi, Elektrolitik İşlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı Olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyiciler, Dezenfektan Sıvılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Parlatıcılar, Mumyalama vb.
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve Vernik Kurutucularında vb.
Makine Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar, Kompozit Malzemeler, vb.
Metaller	Kaplama Sanayinde Elektrolit olarak, Paslanmaz ve Alaşım Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalurjik Flaks, Refrakterler, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Patlayıcı Maddeler	Fişek vb.
Nükleer Sanayii	Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak
Otomobil Sanayii	Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamlarda, Yağlarda ve Metal Aksamlarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antrifizler vb.
Seramik Sanayii	Emaye, Sır, Fayans, Porselen Boyaları vb.
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Bahç Oltaları, Golf Sopaları, Darbe Korucular vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Gübreler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabancı Otlar vb.
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları, Deri Renklendiricileri, Suni İpek Parlatma Malzemeleri vb.
Tıp	Osteopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artritte, Menapoz Tedavisinde, BNCT Terapi Yöntemiyle Beyin Kansellerinin Tedavisinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında vb.
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar vb.

2.3. Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri

Bor ve borlu yakıtlar, 1950'li yılların başında ABD Savunma Programında geleceğin yakıtı olarak adlandırılmış ve nükleer silahlanma dışında 2. önemli stratejik malzeme olarak nitelendirilmiştir. 1958-1961 yılları arasında ABD ve NATO tarafından bor, stratejik bir maden olarak ilan edilmiş, pazarlaması kontrol altına alınmıştır [5, 6, 17].

Bor madeninin önemi, ülkeleri bu konuda çıkarlarını düşünmeye ve planlı davranmaya sevk etmektedir. Bor hakkında sürdürülen araştırmaların, bor bileşiklerinin yüksek teknolojlili ürünlerdeki yeni kullanım alanlarını keşfetmesi, bu madeni gelecekte, petrol gibi üzerinde uluslararası mücadelenin yaşandığı bir ürün konumuna getirecektir [5, 9, 15, 17, 26, 27].

Bor madeninin kullanım miktarındaki asıl önemli artış, borun yakıt taşıyıcısı olarak kullanılmasıyla sağlanabilecektir. Birçok pil, akümülatör vs. enerji üretim aygıtında yakıt olarak kullanılan hidrojenin elde edilme, nakil ve depolama yöntemleri bu aygıtların verimliliğinin artırılması karşısındaki en önemli sorunlardır. Çünkü hidrojen çok düşük sıcaklıklarda sıvılaşmakta (-252 °C), gaz halindeyken çok yer kaplamakta, patlayıcı bir gaz olması sebebiyle taşıma ve depolama işlemleri sırasında tehlike arz etmektedir. Bu sebeple, bor bileşiklerinin hidrojen taşıma kapasiteleri, bu bileşiklerin yakıt taşıyıcısı olarak yeni bir öneme kavuşabileceğine işaret etmektedir [5, 9, 15, 17, 26].

Dünya bor piyasasında büyük gelir sağlayan uluslararası şirketler, bu gelirini Türkiye'den bor alarak yapmaktadır. Türkiye sanayileşmesini tamamlayamadığından, ne yazık ki nihai ürünün eldesini sağlayacak teknolojileri de gerçekleştirememiştir. Gelecekte ihtiyacımız olacak cevherleri, bugün, hammadde olarak ihraç ettiğimiz bir gerçektir. Hammadde ihracı ile yeterli katma değer sağlanamamaktadır. Katma değer in yurt içinde kalması için Ar-Ge' ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi gerekir [5, 6, 9, 15, 17].

Dünyada ve Türkiye'de bor yatakları, bor minerali üretimi, bor bileşikleri üretim yöntemleri, kullanım alanları, pazar durumları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Bor yatakları dünyada birkaç bölgede yoğunlaşmıştır ve en önemli yataklar Türkiye'de bulunmaktadır.
- Bor bileşikleri, üretim yöntemi, tüketim miktarı ve kullanım alanlarına göre ticari boratlar ve özellikli bor bileşikleri olarak iki grupta toplanabilir.
- Türkiye'de maden konsantratörlerinin yanında ticari borat bileşikleri üreten tesisler mevcuttur.

- Ticari borat bileşikleri klasik kimyasal üretim teknolojileri ile üretilmekte, yaygın bir şekilde ve birbirinin yerine geçerek kullanılmaktadır.

- Özellikli ürünler daha özel üretim teknolojileri gerektirmekte, üretim miktarı sınırlı olmakta ve genellikle ileri teknoloji ürünlerinde kullanılmaktadır [9].

Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan ülkemiz, bor minerali ve ticari boratlar üretiminde önemli bir yeredir. Ancak, sahip olduğu cevheri en iyi şekilde değerlendirebilmek için ürün çeşidini artırması ve özellikli bor uç ürünlerinin üretimine geçmesi gerekir. Bu amaçla özellikli bor bileşiklerinin yurt içi ve yurt dışı pazar durumu, tüketim alanlarının geliştirilme potansiyeli ve üretim teknolojileri araştırmalarına ivedilikle başlamalıdır. Ayrıca bor uç ürünlerini üretebilmek için Türkiye pazar araştırması, fizibilite, maliyet düşürmeye yönelik proses geliştirme gibi çalışmaları hızla tamamlanmalıdır [5, 9, 15, 17, 17, 28].

Yakın bir gelecekte şunda motorlu araçlarda kullanılan petrolün (benzin, mazot) alternatifi “bor” madeni olacağını bilim adamlar ifade etmektedir. Dünya bor rezervlerinin %72’si Türkiye’dedir. Türkiye, yüzyılımızda petrol kadar önemli ve hatta petrolden bile daha önemli olacağı varsayılan bor madeninin dünyadaki en büyük rezervine sahip ülkesidir. Türkiye’nin bor madenlerinin rezerv ömrü 412 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi Rusya’nın bor rezervleri 85 ve ABD ise 76 yıllık ömre sahiptir [9, 15, 17, 28].

Dünya rezervleri ve bu rezervlerin tüketim artış hızları göz önünde bulundurulduğunda 50-80 yıl sonra ülkemiz bor yataklarının dünyadaki tek bor kaynağı olma ihtimali yüksektir. Ancak, ülkemiz bu konumun avantajlarını tam anlamıyla değerlendirememekte, gerek rafine (ticari boyutta üretilen) bor ürünleri, gerekse bor uç ürünleri (ham ve rafine ürünlerinden üretilen bor ürünleri) ihracatından potansiyelin altından gelir elde etmektedir [4, 9, 12, 15, 17, 28].

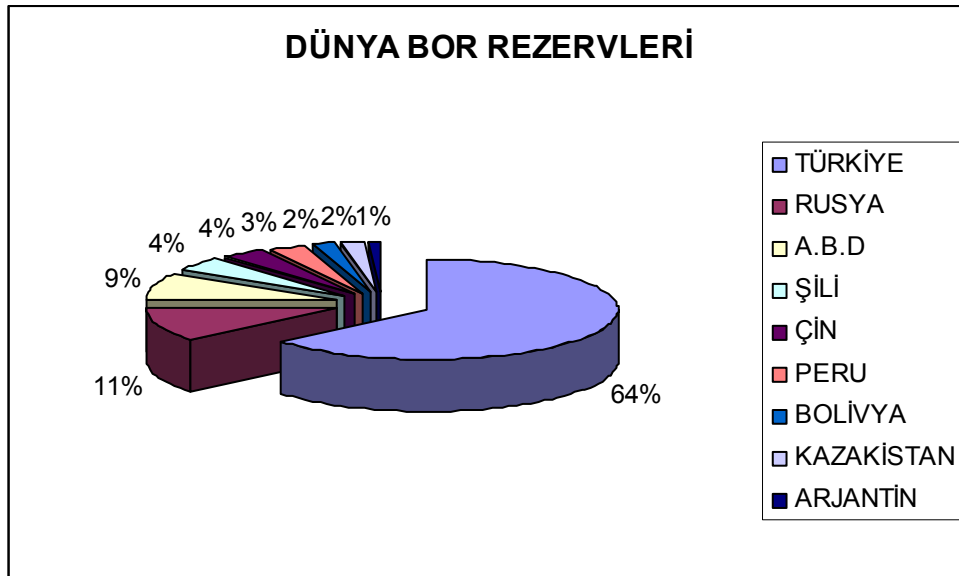
Türkiye en büyük rezerv sahibi olarak bor dünya piyasasını ve fiyatlarını belirleyecek konumda olma imkânına sahiptir. Ancak, dünyadaki örnekler, maden zengini gelişmekte olan ülkelerin, bu madenlerden yeterince yararlanamadığını, ham madene sahip ülkelere ziyade, bu madenle ilgili teknolojiye sahip olan gelişmiş ülkelerin piyasaları kontrol ettiğini göstermektedir. [5, 6, 9, 12, 15, 17, 27].

2.4. Türkiye'deki ve Dünyadaki Bor Yatakları ve Rezervi

2.4.1. Dünyada Durum

Ekonomik boyuttaki bor yatakları borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri halinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır [4]. Şekil 2.1.'de Dünya'da bor bulunan ülkelerin rezervlerinin oransal dağılımı verilmektedir.

ABD'deki bor yatakları, ülkenin batısındaki Kaliforniya ve Nevada eyaletleri sınırları içerisinde bulunmaktadır. Yataklar buharlaşma yoluyla oluşmuştur. Rusya'daki bor yatakları, Hazar Denizi ile Ural Nehri arasında kalan bölgede yoğunlaşmaktadır. Yataklar ikinci ve üçüncü zaman kayaların bindirme ile örttüğü 250 km²'lik alanı kaplayan permian tuz domundaki kırık bir zon boyunca oluşmuştur. Arjantin bor yatakları genellikle Tinkalayu bölgesinde yoğunlaşmıştır ve üretimin büyük bir kısmı bu yataklardan sağlanmaktadır. Boraks pliosen tortullar içerisinde olup 30 m kalınlığında, 100 m çapında çok ince kristalli bir mercek şeklindedir. Şili üleksit içeren bor yataklarına sahiptir. En önemli yatak olan Salor de Ascotan'da üleksit yüzeyin hemen altındadır ve düzensiz kütleler halinde oluşmuştur. Tabakalar bazı yerlerde 1 m kalınlığa ulaşmalarına rağmen ortalama 30 cm kalınlığındadır. Peru'da yataklar Arequipa Bölgesi'nin doğusundaki büyük bir küvet olan Laguna de Salinas'da bulunmaktadır [1, 29, 30].



Şekil 2.1. Dünya bor rezervlerinin oransal dağılımı (envanter verileriyle revize edilmiştir) [31].

Ülkemiz dünya rezervlerinin çoğunluğuna sahip olmasının yanı sıra mineral çeşitliliği ve cevher tenörü bakımından da doğal üstünlüğe sahiptir [2]. Bor rezervleri ile ilgili yayınlanmış bilgiler arasında önemli farklılıklar olmakla birlikte, Amerikan Maden Bürosu ve Etibor A.Ş. tarafından verilen bilgiler dikkate alındığında, toplam dünya görünür rezervinin 489 milyon ton B_2O_3 içeren 1,140 milyon ton cevher olduğu tahmin edilmektedir. Bu değerlere mümkün ve muhtemel rezervler de ilave edildiğinde toplam rezerv 1,303 milyon ton B_2O_3 içeren 3,199 milyon ton cevher olmaktadır. Toplam bor rezervinin %64.4'ü Kolemanit, %31.8'ini Tinkal ve %3.7'sini Üleksit minerali oluşturmaktadır [1, 9].

Türkiye'deki borat yatakları ana özellikleriyle Çizelge 2.6.'de, bor rezervleri ve Etibor A.Ş.'ye bağlı işletmeler ise Çizelge 2.7.'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 almalı. Boraks, az kolemanit, uleksit
Kütahya-Emet	Miyosen	175m	Tavan çörtlü kireçtaşı, taban kırmızı seri boratlar, kil, marn ve tuf ile almalı. Kolamanit.
Balıkesir-Bigadiç	Üst Miyosen	100 m	Tavan kireçtaşı marn, taban kristal tuf, boratlar, kil, marn ve tuf ile almalı (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 almalı. Kolemanit az uleksit, probertit.

Çizelge 2.7. Türkiye bor rezervleri ve Etibor A.Ş.'ye bağlı işletmeler [12]

Üretim Yeri	Cevher	Rezerv (10 ⁶ ton)	Rezerv (B_2O_3 bazında)	Tenör (% B_2O_3)
Kırka Bor İşletmesi	Tinkal	604	156	26-26,7
Bigadiç Bor İşletmesi	Üleksit	49	14	28-30
	Kolemanit	5	167	28-30
Emet Bor İşletmesi	Kolemanit	835	225	26-28
Kestelek Bor İşletmesi	Kolemanit	7.5	2	29-31
Toplam		1500.5	564	

2.4.2. Türkiye'de Durum

2.4.2.1 Ürünün Türkiye'de Bulunuş Şekilleri ve Rezervleri

Türkiye'de devlete ait olan Eti Holding A.Ş. aracılığı ile bor madenleri, Burhaniye'den Savaştepe'ye, Susurluk'tan Dursunbey'e, Bigadiç'ten Sultançayı'na, Bursa Kestelek'ten Sındırgı'ya, Kütahya Emet'ten Eskişehir Kırka'ya kadar 1 milyon 700 bin hektarlık bir bor maden rezervleri alanı kamusallaştırılmış durumdadır. Bu alandaki bor rezervleri yaklaşık 2,5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin ülkesi Türkiye'dir. Türkiye bor madenlerinin ihracatının %50'sini hammadde halinde %50'sini işlenmiş olarak satmaktadır [12].

Yüksek tenördeki bor cevheri çok kolay ve ekonomik olarak çıkarılmakta ve işletilmektedir. Öyle ki; atık barajlarındaki mevcut sulu atıkların B_2O_3 tenörü bile borun lokomotif konumundaki ülkelerin işlettikleri cevher ve göl sularındaki B_2O_3 tenöründen çok daha yüksektir. Bu bakımdan, bor cevherleri ülkemiz açısından daha verimli değerlendirilmesi gereken önemli bir potansiyeldir [12, 16].

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 [4, 12].

Etibank'ın son yıllarda yaptığı çalışmalarla Türkiye'nin bor rezervleri yaklaşık 780 milyon tona; görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamı ise 2.443.142.000 tona ulaşmıştır. Emet, Kestelek ve Kırka havzaları için Etibank'ın resmi rakamları kullanılmış, Bigadiç havzasında ise devam eden arama çalışmalarında ortaya çıkarılan yeni rezervlerde eklenerek toplam rezerv 765.068.000 ton yerine 1.029.722.000 ton olarak gösterilmiştir (Çizelge 2.8.). Türkiye'nin ekonomik değer ifade eden borat yatakları hakkında daha geniş bilgi aşağıda verilmiştir [8].

Çizelge 2.8.Türkiye Bor Tuzu Rezervlerinin ve B₂O₃ Bazında Rezervlerin Havzalara Dağılımı [2, 4, 25]

Yeri	Toplam Rezerv (ton)	Tenör %B ₂ O ₃	B ₂ O ₃ Bazında Rezerv	Toplam Rezervde % Oranı
EMET	886.743	35	310.360	38,64
BİGADİÇ	1.029.722	35	360.403	44,86
KESTELEK	8.142	35	2.850	0,36
KIRKA	518.535	25	129.634	16,14
TOPLAM	2.443.142		803.247	100,00

2.4.2.2. Kırka Borat Yatakları ve Zenginleştirilmesi

Eskişehir ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Yataklar neojen tortuları arasında yer almaktadır. Miosen'de mevcut göl ortamlarına volkanik faaliyetler neticesinde fay zonlarından gelen hidrotermal çözeltilerin; ortamın fiziko-kimyasal koşulları altında çökerek boratları oluşturduğu sanılmaktadır. Boratlar kil, tuf ve marn ile ara katlı olup, kireçtaşı borat merceklerinin altında ve üstünde bulunur. Yatağın sondajlarla kesilen kalınlıkları 2-150 m arasında değişmekte olup, aritmetik ortalaması 70 metredir. Yataktaki başlıca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu minerallere ilaveten yatakta tinkalkonit, tünelit (SrB₆.10H₂O), kurnakovit, inyoit, meyerhofferit ve hidroborasit mineralleri de oluşmuştur. Boraks konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer, yatağın merkezi olan Sarıkaya'dır. Boraks, 1mm-1cm iriliğinde sübhedral ve anhedral kristaller halindedir. Yatağın kenar kesimlerinde ana mineraller üleksittir ve genellikle lifli, masif yapıdadır. Kolemanit, yatağın alt ve üst kısımlarında yumrular ve "geod"lar halinde bulunur. Yatakta birbirine tedricen geçiş gösteren ve boraks kristalleri ile killerin yer değiştirmesine göre sınıflandırılan 3 tip cevhere rastlanmaktadır; bantlı cevher, bileşik cevher (yeşilimsi, sarımsı ve kahverenginin değişik tonlarında), camsı cevher (saydam, beyaz renkte olup tuz görünümündedir). Kırka boraks yatağı dünyanın en büyük rezervine sahip olup, toplam rezerv 520 milyon ton dolayındadır. Yatağın ortalama B₂O₃ tenörü %24,7'dir.

Kırka bölgesinde bulunan doğal boraks (Tinkal) açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Üzerindeki örtü tabakası delme, patlatma ve ekskavatörlerle kaldırılmakta sonra kamyonlarla konsantratör tesisine nakledilmektedir. Yılda ortalama 1.150.000 ton tüvenan cevher işleme ve %32-33 B₂O₃ tenörlü 800.000 ton/yıl konsantre tinkal üretim kapasitesine sahip Konsantratör tesisinde, cevher 40 cm'lik ızgaralardan geçirilerek önce 10 cm'ye sonra 2.5 cm'ye kırılarak 10.000 ton kapasiteli ara stok binasında stoklanmaktadır. Ara stok binasından düzenli olarak

alınan malzeme, 6 mm'lik kuru elekte elenir. 6 mm boyutunun altındakiler % 65 katı/sıvı pülp haline getirilerek içerisinde bulunan yabancı madde ve killerin eritilerek yıkanması için yıkama hücrelerine verilir. Buradan çıkan malzeme +1mm'lik sulu elekten geçirilerek elek üstü santrifüj su arındırıcılardan geçirilerek stoklanır. +6 mm' lik malzeme tesislerdeki merdaneli ve paletli kırıcılarda kırılarak aynı işlemlerden geçirilir [11, 32].

2.4.2.3. Emet Borat Yatakları ve Zenginleştirilmesi

Kütahya'nın yaklaşık 60 km batısında yer alan Emet yöresinde Etibank tarafından işletilen Hisarcık, Hamamköy, Göktepe ve Espey ocakları vardır. Bölgenin toplam rezervi yaklaşık 40 milyon ton tenörü %40 B₂O₃ kadardır. Bölgede ki neojen, eski metamorfik ve magmatik kayalarla çevrilmiş kuzey-güney doğusunda uzanan ve taban üzerine uyumsuz oturan göl tortularından oluşur. Burada taban kireç taşıyla başlayan tortullar, çakıl taşı, kumtaşı, tuf, kil, marn ve linyit içeren karmaşık bir seriyle devam eder. Bunun üzerine boratlı kil, marn, tuf serisi gelir ve bütün bu birimler tavan kireç taşıyla örtülür. Bütün neojenin toplam kalınlığı yaklaşık 600 m kadardır. Neojen Kestelek bölgesi ile büyük benzerlik gösterir. Fakat burada taban, kireç taşı ile başlar. Daha sonra ortamın yine tektonik olarak duyarlı olmadığını kanıtlayan çakıl taşı ve kumtaşı birikimleri görülür. Boratlı seri içinde tüfleri ve gri-yeşil killerin varlığı tektonik hareketlerin durduğunu, volkanizmanın başladığını belirtir. Kestelek'ten farklı olarak volkanizmadan sonra tektonik hareketlerin tekrar başladığını belirleyen çakıl taşları ve kumtaşları gözlenmez. Bunların yerine daha duyarlı ortamlarda oluşan kireçtaşları almıştır.

Hisarcık ocaklarında boratlı seri 30-40 m kalınlıktadır. Birkaç kat katmandan oluşan ve kalınlıkları 1-1,5 m kadar olan boratların ana cevher minerali kolemanittir. Toplam borat kalınlığı 20 m'ye ulaşır. Kolemanit killer içinde irili ufaklı (10-50 cm) yumrular şeklinde bulunur. Kolemanitle birlikte az miktarlarda üleksit ve kalsit de gözlenmiştir. Bunların yanında kolemanitin değerini düşüren arsenik mineralleri (realgar, orpiment), kolemanit yumrularının dışı yakın kısımlarında, bütün yumruyu çevreleyen bir zar şeklinde bulunur. Hamamköy, Espey ve Göktepe'de tek mineral kolemanittir. Killer içinde gömülü yumrular şeklinde bulunurlar. Hamamköy 'de boratlı serinin kalınlığı 20 m'dir. Kolemanit bantları ise yaklaşık 7 m'ye ulaşır. Espey'de killer ara katkılı, toplam kalınlığı 20 m'ye ulaşan 4 kolemanit katmanı vardır.

Hisarcık ve Espey Açık Ocaklarından üretilen cevher yine buralardaki konsantratörlerde zenginleştirilerek satışa hazır hale getirilmektedir. 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.

Üretilen tüvenan cevheri zenginleştirmek amacı ile açık işletmenin bulunduğu Hisarcık bölgesine kurulan konsantratör de yapılan başlıca işlemler kırma, klasifikasyon ve yıkamadan oluşmaktadır. Elle ayıklama, yıkama-dağıtma sonrasında boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Hisarcık'daki açık işletmeden elde edilen tüvenan tenörü yaklaşık %29 B_2O_3 olup, konsantratör tesisi çıkış tenörü % 41 dolayında gerçekleşmektedir [11, 16, 32].

2.4.2.3.1. Hisarcık Konsantratörü Atık Barajı Hakkında Genel Bilgi

Atık barajı, Hisarcık ilçesine 3 km uzaklıkta, Koca Çay ve Emet-Gediz karayolu kenarında bulunmaktadır. 1973 yılında devreye alınan Hisarcık Konsantratör Tesisinin atıkları bu tarihten itibaren bu atık barajına bırakılmaya başlanmıştır. Atık barajının gövde dolgusunu kireçtaşı ve kalın kil tabakası oluşturmaktadır. Barajın iç kısmı ise ince bir kil tabakası ile kaplanmıştır. Atık barajının yüzey alanı 92.750 m² olup, iç hacmi yaklaşık 1.500.000 m³'dür. Barajda yıllarca devam eden çalışma süresi boyunca herhangi bir sızıntı meydana gelmemiş olup, herhangi bir çevresel zarara da sebep olmamıştır. Fakat Hisarcık Konsantratör Tesisinin mevcut haliyle üretim yapması durumunda yeni bir atık barajına ihtiyaç duyulmuş ve bu atık barajının birkaç yüz metre ilerisine yeni bir atık barajı daha yapılmıştır. Bu yüzden eski atık barajlarının değerlendirilerek ekonomiye kazanılması ve mevcut atık barajlarına olanak sağlaması gerekmektedir [22].

2.4.2.4. Bigadiç Borat Yatakları ve Zenginleştirilmesi

Yataklar, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bigadiç borat havzası yaşlı neojen tektonik bir gölün kapladığı alandır. Yataklarda; marn, borat, kil ve tuf ardışık dizilmişlerdir. Boratlar 1-3 m kalınlıkta tabakalar halinde killer arasında yer alır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür ki bu özellik cevherin önemini artırmaktadır. Yatakların rezerv durumu;

Kolemanit : Toplam 58 milyon ton, ortalama %30 B_2O_3

Üleksit : Toplam 11 milyon ton, ortalama %30 B_2O_3

Bigadiç'te halen bir adet kapalı ve üç adet açık ocakta tüvenan kolemanit ve üleksit cevherleri üretilmektedir. Çıkarılan cevherler; konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemine tabi tutularak satılık ürün haline getirilmektedir. Tesiste yapılan zenginleştirme; cevheri su ile yıkayarak kil minerallerinden ayırma ve ardından da sınıflandırma işleminden ibaret olup üç ayrı boyutta konsantre ürün elde edilmektedir. Elle ayıklama, tamburla aktararak dağıtma, boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Tesise beslenen ortalama tüvenan cevher tenörü %30-32 B_2O_3 olup, elde edilen kaba konsantre tenörü %42 B_2O_3 , ince konsantre tenörü

%36 B₂O₃ ve ara ürün tenörü %29 B₂O₃ civarında gerçekleşmektedir. Artık ince ürün ise %16 B₂O₃ içermektedir. Tüvenanın üleksit olması halinde ise %30 B₂O₃'lük cevherden elde edilen kaba konsantrenin tenörü %38 B₂O₃, ince konsantre tenörü ise %26 B₂O₃ olarak gerçekleşmektedir [8, 11, 32].

2.4.2..5. Kestelek Kolemanit Yatakları ve Zenginleştirilmesi

Bursa ilinin Mustafa Kemal Paşa ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır. Yatak, klasik neojen sedimantasyonunda oluşmuştur. Neojen tortuların kalınlığı yer yer volkanitlerle ve genç alüvyonlarla örtülmüştür. Boratlı katmanlar, kil-marn tuf serisi içinde oluşmuştur. Killerle ayrılmış üç boratlı katman vardır. Bu katmanlarda boratlar kolemanit yumruları biçimindedir. Yumruların büyüklükleri bir kaç cm'den 80-100 cm'ye kadar değişir.

Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, propertit, meyerhofferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür. Yatağın ortalama %29,4 B₂O₃ tenörlü toplam 7 milyon ton rezervi vardır [10, 23]. Konsantratör tesisi kırma, ıslatma, yıkama, eleme ve triyaj ünitelerinden oluşmakta olup konsantratör de işlenen tüvenan cevher kapasitesi 200.000 ton/yıl ve elde edilen konsantre ise 90.000 ton/yıl'dır [8].

3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile cevherlerin ekonomik tenörleri aşağılara çekilmekte ve atık konumundaki bir çok depolanmış yığın da bu sayede değerlendirilmektedir. Türkiye için stratejik öneme sahip olan bor cevherinin atıkları da bunlardan biridir. Bu nedenle bor atıkların gelecekte muhtemel değerlendirilme olanakları göz önünde bulundurulmalıdır.

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.

Atıklar ile ilgili standartlar, yönetmelikler ve ilgili kanunlarla getirilen sınırlamalar mevcuttur [8, 34, 35].

3.2. Bor atıklarının uygun bir şekilde değerlendirilmesinden elde edilecek avantajları

- Hali hazırda büyük bir potansiyel olan stoklar ülke ekonomisine kazandırılacaktır.
- Stoklama maliyeti azalacaktır.
- Çevre kirliliği önlenmiş olacaktır.
- Üretilen yeni ürünlerle ek kazanç sağlanacaktır.
- Atıkların yer altı ve yer üstü sularını kirletmesi önlenecektir.
- Atıkların atıldığı göletlerin yapım maliyetleri ve kapladıkları alanlar azalacak [8, 36, 37].

3.3. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri

İdeal değerlendirilme şekli atıkların tamamının değerlendirilmesidir. Buna göre şimdiye kadar bor atıkları ile yapılan çalışmalar dikkate alınarak aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir:



Şekil 3.1. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri [8, 34, 35].

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, ısıl 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 neticeler 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 para manyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek olan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir. Aytekin ve Badruk Amerikan Borate Corporation şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve kalsinasyon yöntemlerini kullandığını bildirmiştir [8, 34, 35].

Flotasyonla yapılan bor zenginleşmede mekanik dağıtma ve sınıflandırma ile kil içerikli şlamın atılması ve doygun bor çözeltilerinde çalışılması gereği üzerinde durulmamaktadır. Şlam halinde bulunan kilin bor mineralleri üzerine şlam kaplama mekanizması nedeniyle flotasyon verimini düşürdüğü kanıtlanmıştır. %5 oranında kil varlığında bile flotasyon verimi büyük ölçüde düşmektedir. Kilin kolemanit yüzeyine elektrostatik çekim vasıtasıyla yapıştığı tespit edilmiştir. Bor minerallerine 400-600 °C’de kristal sularını uzaklaştırması amacıyla yapılan işleme kalsinasyon (dekrepitasyon) denmektedir. Bor mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon yönteminin yaş

yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olduğu yanında çevre kirliliği meydana getirmediği belirtilmektedir. Aytekin ve Badruk konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkların kalsinasyon ile zenginleştirilmesinin Tübitak tarafından proje kapsamında çalışıldığı ve hatta Etibank'ın Banaz'da pilot çapta bir tesiste denemeler yaptığını bildirmektedir. Araştırmalar bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kazanılabileceğini göstermiştir. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. İster ham cevher olsun ister konsantre olsun boratların çok ince boyutta (-0,5 mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaca yönelik olarak çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan çıkan ortak sonuç, tanelerin suyla veya borik asitle nemlendirilmesi ile istenen özellikte biriket elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür [8, 35, 38].

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 da kullanılabilir. Atık killer ayrıca inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir [8, 34, 35].

3.5. Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması

Tesislerde zenginleştirme sonucu ortaya çıkan ince artıklar atık barajına verilmeden önce uygun zenginleştirme yöntem veya yöntemleri ile bor kazanılıp bir tükine beslenip etkili bir çökeltme ile suyu tekrar kazandıktan sonra ortaya çıkan koyu artıklar atık barajına verilebilir veya en uygun zenginleştirme yöntemiyle borları kazanmak gerekir [39].

4. BOR CEVHERLERİNİ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kıymetli bor minerallerini oluşturan kolemanit, üleksit, tinkal, pandemit ve kernit gibi minerallerin kendine eşlik eden kalker, jips, marn, volkanik tuf, kil, mika, organik madde gibi kıymetsiz gang minerallerinden ayrılması gerekir. Bunun için sertlik, gevreklik, yapı ve kırılış şekli, renk ve parlaklık, özgül ağırlık, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik, flouresans ve fosforesans, radyoaktivite, yüzey ve ara yüzey özellikleri, ısıl özellikler ve farklı çözünürlük özelliklerinden yararlanılmaktadır [40].

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 [1, 13, 41, 42, 43]. Bor minerallerine uygulanan zenginleştirme yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

4.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Borun zenginleştirilmesinde kullanılan fiziksel zenginleştirme yöntemleri tavuklama, boyuta göre sınıflandırma, manyetik ayırma yöntemleridir. Bu yöntemlerden manyetik ayırma maalesef laboratuvar uygulaması dışına çıkamamıştır.

4.1.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme (Tavuklama)

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 [1, 13, 44]. Bigadiç, Emet ve Kestelek cevherlerinde iri boyutlarda elle ayıklama yöntemi kullanılmaktadır.

4.1.2. Aşındırarak sınıflama ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

Küçültme işlemleri sırasında bor cevherini oluşturan mineraller dayanıklılık, farklı kırılış şekli, dilinim, su ve ısı ile dağılma gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı büyüklük

ve şekilde kırılılabilmektedir. Bu şekilde sınıflandırma ile bor minerali belirli ölçüde zenginleştirilebilmektedir.

Aşındırarak yıkama ve boyuta göre sınıflandırma işlemleri genellikle (-25) mm için etkin olmakta, ancak taneler inceldikçe verim ve tenör değerlerinde istenilen değerlere ulaşılamamaktadır [1, 13, 44, 45].

Tamburda aktararak dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme:

Bor cevherlerinde en önemli gang minerallerini killer oluşturmaktadır. 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. Gövdelerinin iç yüzeyinde malzemeyi kaldıracı plakalar bulunur. Aktarma işleminin daha etkin yapılabilmesi için “Log-Washers” adında araçlar kullanılmaktadır. Log-Washers’ler üzeri kepçelerle kaplı ve kütük adı verilen karıştırıcı oluk üzerine yerleştirilmiştir. Bor cevheri 15-25 dev/dk hızla dönen kütüğün içinde sıkışırken 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 [3] .

Pervaneli karıştırıcılarda mekanik dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma:

Pervaneli karıştırıcılar saç veya paslanmaz çelikten oluşan bir tank ile içindeki mil üzerine takılmış, kanatları birbirine göre ters hareket eden karıştırıcı pervanelerden oluşmaktadır. Pervanelerin yüksek devirde dönmesi ile parçalar arası sürtünme ve darbe etkisi ile bor cevherlerinden kil mineralleri uzaklaştırılmaktadır. Bu işlemden sonra bor cevheri tanktan dışarı alınarak mutlaka yıkama ve boyuta göre ayırmaya tabi tutulur. Bu yöntem Kırka tinal ve Emet kolemanit konsantratörlerinde kullanılmaktadır [1, 3, 46].

4.1.3. Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve paramanyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir [41].

Bor cevherleri içinde genellikle gang minerali olarak yüksek oranda demir içeren biyotit ve klorit mineralleri bulunmaktadır. Bor cevheri boyut küçültme işlemlerinden sonra kilinden arındırılmakta ve bunu takiben yüksek alan şiddetli sürekli manyetik ayırıcılarda biyotit ve

kloritten ayrılarak manyetik olmayan bor mineralleri konsantre edilebilmektedir [47, 48, 49]. Özdağ ve ark. (1988) manyetik ayırma yöntemleriyle Kestelek bor atıklarından %95 verimle %42 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edebildiklerini belirtmişlerdir. Alp vd. (2006) üç aşamalı manyetik ayırma sistemi kullanarak %96.76 verimle %41.29 B₂O₃ tenörlü bor konsantresi elde etmişlerdir. Manyetik ayırma yönteminin kuru ve sürekli çalışması nispeten iri boyutlara uygunluğu ile flotasyon ve dekrepitasyon yöntemlerine göre daha avantajlı olduğu belirtilmektedir.

4.2. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme

Mineraller arası 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 ileterek kaybetme özelliklerinden yararlanılmaktadır [11, 32, 50].

4.3. Isıl İşlem (Dekrepitasyon) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme

Bor minerallerinin 300-900 °C sıcaklıklarda ısıtılarak kristal sularını uzaklaştırılması amacıyla yapılan işleme dekrepitasyon (kalsinasyon) denmektedir. Bor mineralleri dekrepitasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Dekrepitasyon işlemi sonrasında ince boyutlu bor mineralleri boyuta göre ayırma ile konsantre, kil, kalsit, tuf ve jips gibi mineraller ise iri boyutlarda artık malzeme olarak alınır [31, 51, 52, 53].

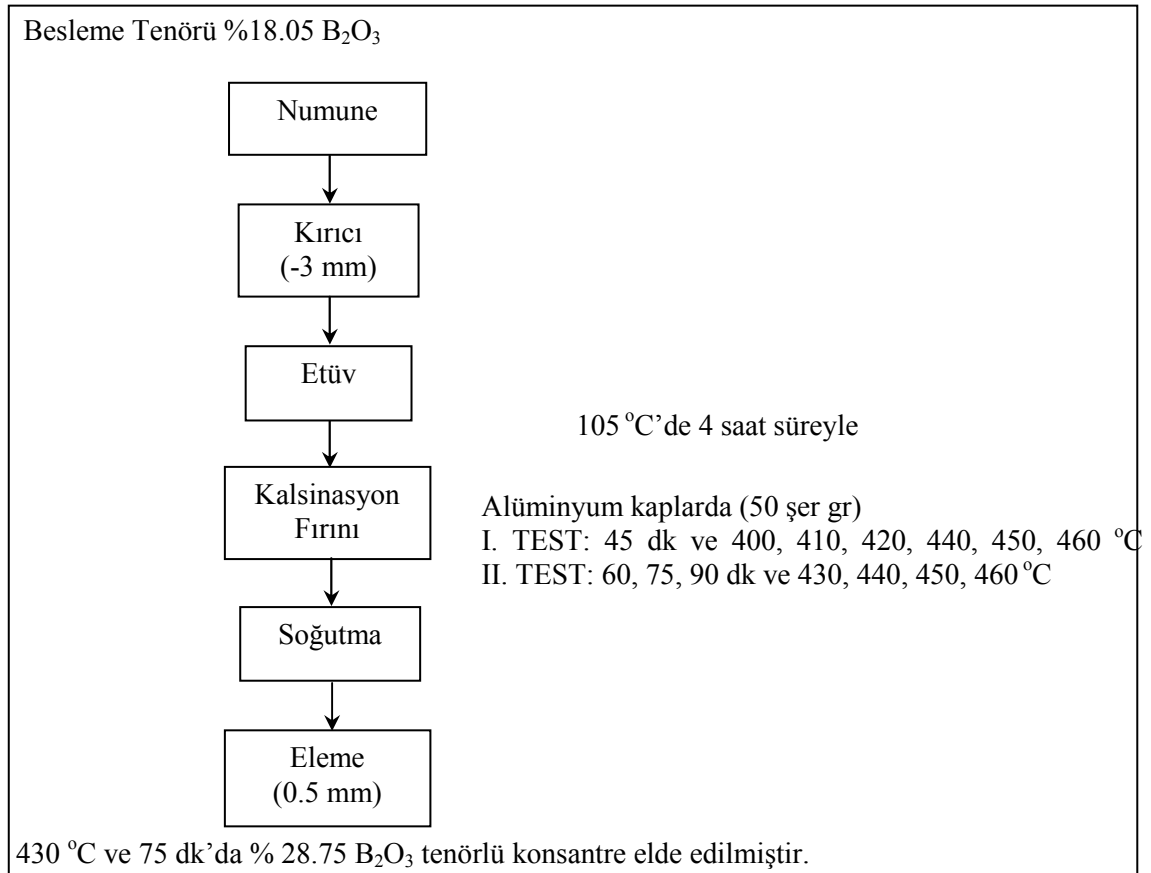
Kolemanitin dekrepitasyon işlemi için genellikle 450-500 °C'lik sıcaklıklar kullanılmakta, kristal suyu bu yolla ayrılan ve toz haline gelen malzeme belli tane boyutunda elenerek kalsine ürün elde edilmektedir [54]. Konsantre kolemanitin direkt olarak sülfirik asitle çözündürülmesi yerine dekrepite edildikten sonra çözündürülmesi yoluyla daha verimli borik asit elde edilebilmektedir [13]. Doğan vd. (1997) kolemanit minerallerinin dekrepitasyon ile zenginleştirmede 500-600 °C sıcaklıklara kadar ısıtılarak içerdikleri beş molekül kristal sularını kaybetmeleri ve bunun sonucu olarak 0.105 mm'den daha ince boyutlara ufalanarak bu sıcaklıklarda bozuşmaya yani dekompozisyona uğrayan karbonat ve gang minerallerinden ayrılmasını hedeflemişler ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Dekrepitasyon yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olması yanında çevre kirliliği meydana getirmemektedir. Konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkların dekrepitasyon ile zenginleştirilmesi Tübitak tarafından proje kapsamında çalışılmaktadır. Hatta Etibor Banaz'da pilot çapta bir tesiste denemeler yapılmaktadır [55].

Akçin vd. (2006) tinkal cevherinin ısıtıldığında bünyesindeki suyunun açığa çıkması sonucunda genişlediği ve çok yüksek poroziteye sahip bir yapıya dönüştüğünü tespit etmişler ve cevherli kısmın genişmesi sonucu daha kırılğan ve daha düşük yoğunlukta bir yapı oluşturduğunu, tüvenan tinkal bünyesindeki kilin ise daha sert hale geldiğini belirlemişlerdir.

Dekrepitasyon sonucunda ortaya çıkan atık katı fazda olup, bu katı atıkların atık barajı yerine tumba sahalarında depolanması imkânı mevcuttur. Özellikle son yıllarda çevresel konularda hassasiyetin artması nedeniyle atıkların katı olarak depolanması hem atık bertaraf maliyetini düşürüleceği hem de çevresel sorunları asgari düzeye indirileceği bildirilmektedir [56].

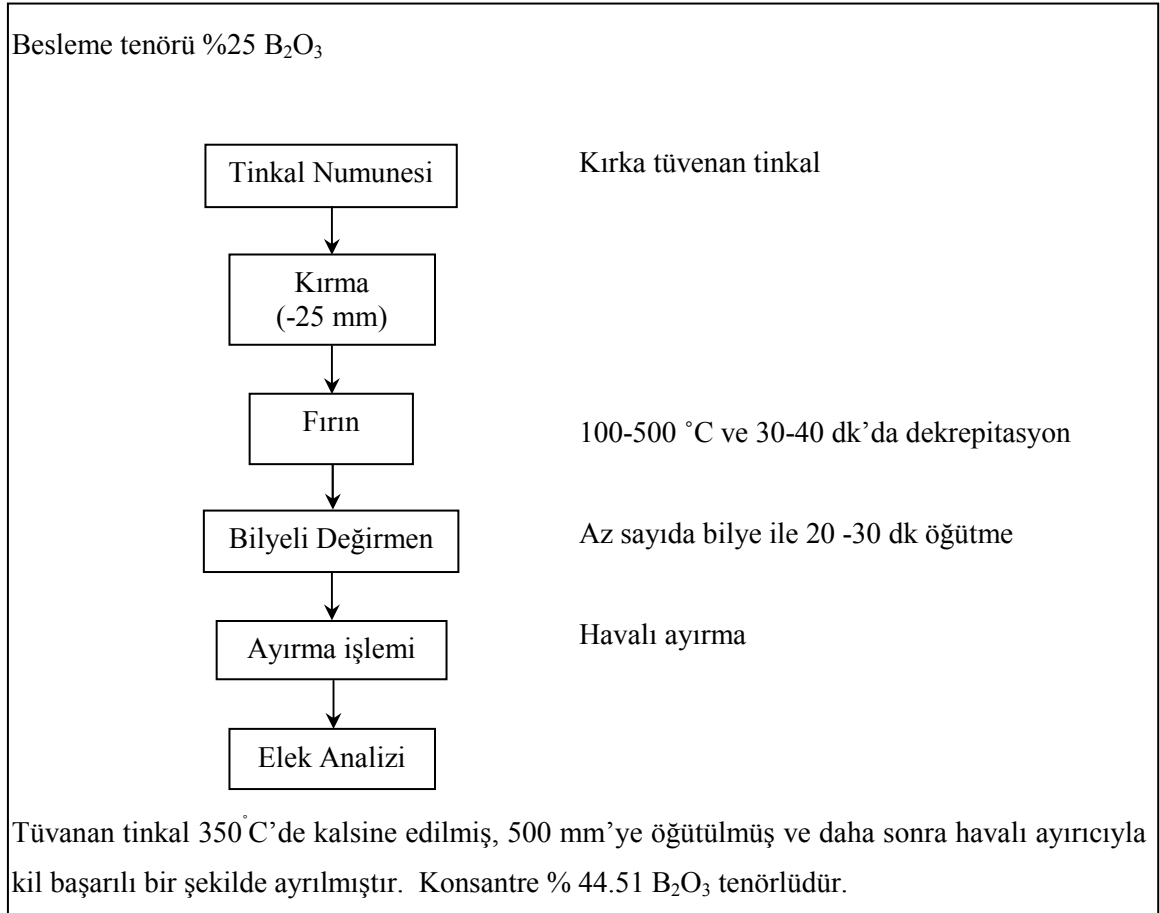
Bor minerallerinin zenginleştirilmesinde dekrepitasyon yönteminin uygulandığı çalışmalar akım şeması olarak Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 verilmektedir.

4.3.1. Bor cevherlerinin dekrepitasyon ile zenginleştirme akım şemaları

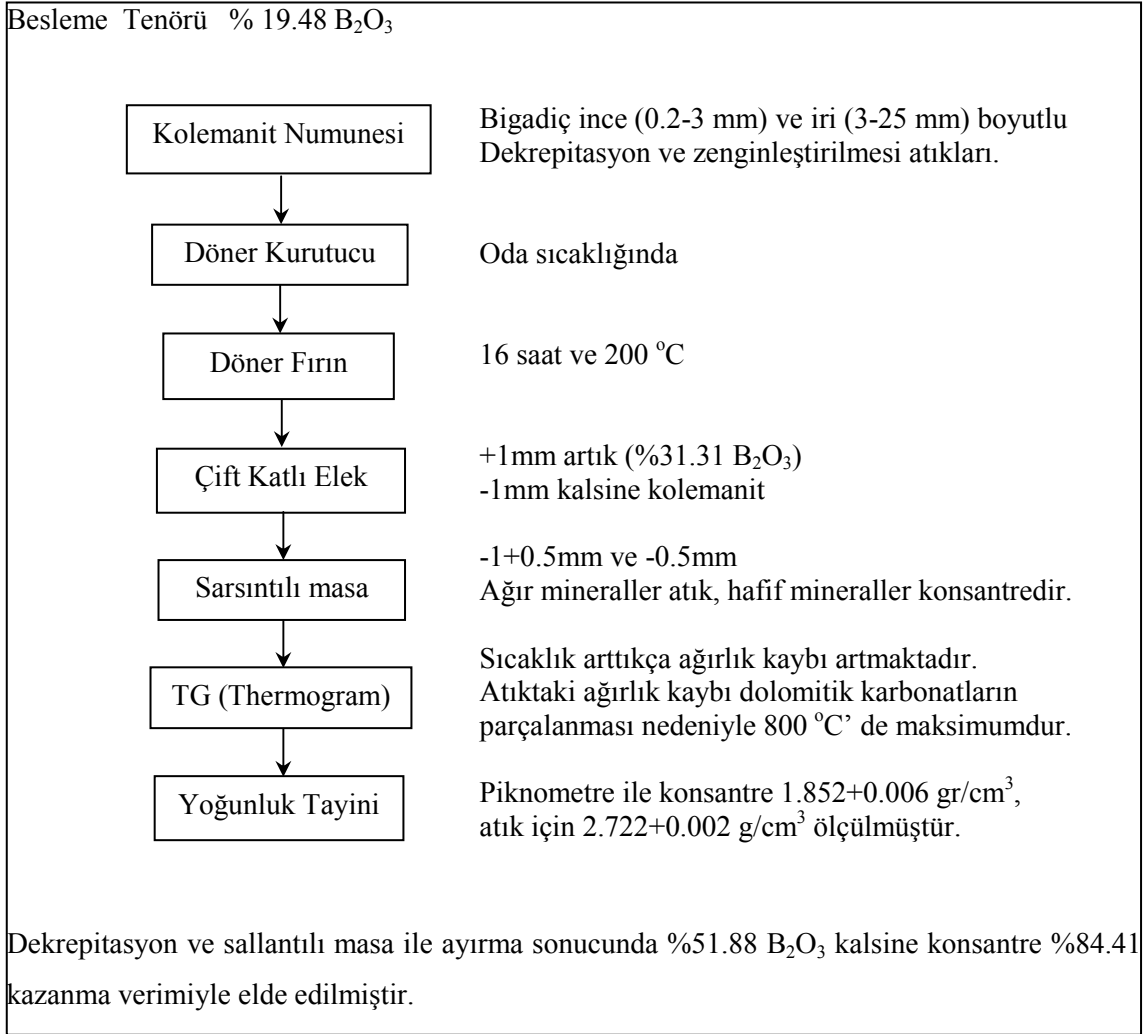


Şekil 4.1. Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi Akım Şeması [57].

XRD Sonucuna göre tinkal dolomit, montmorillonit ve kalsit mineralleri tespit edilmiştir. Kalsine konsantreler Hacettepe Üniversitesi Laboratuvarında bulunan pnömatik (havalı) seperatörde gerçekleştirilmiştir.



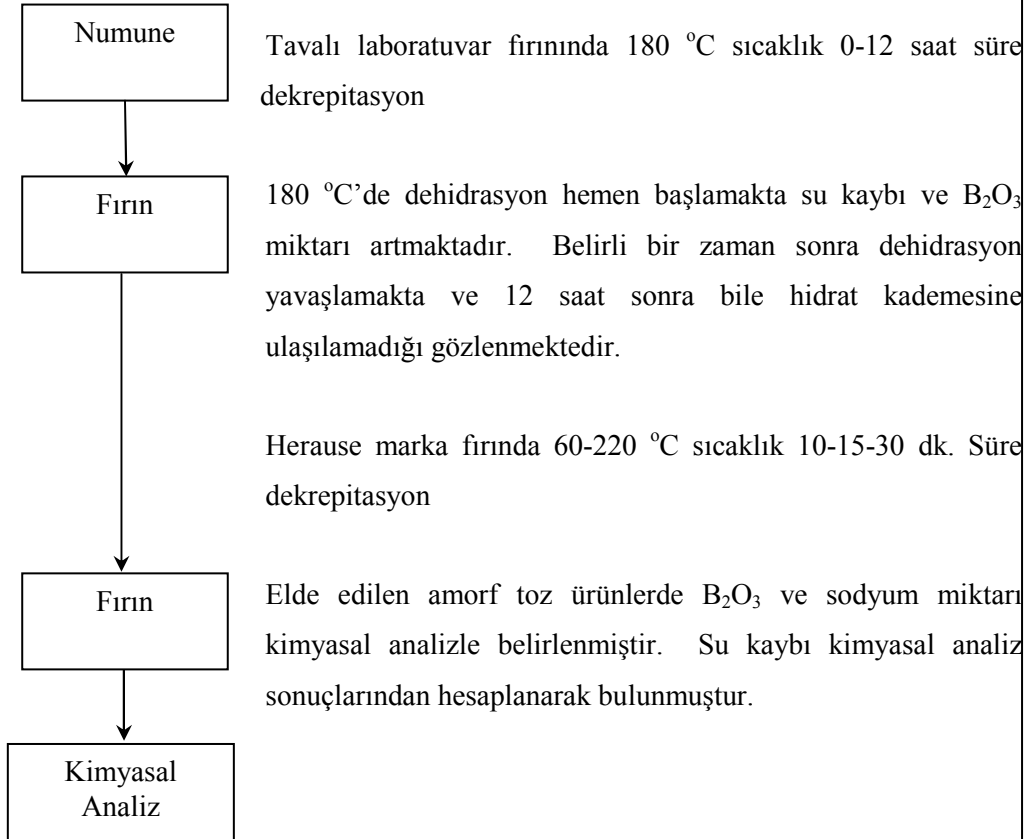
Şekil 4.2. Tüvenan Tinkalden Kalsine Tinkal Üretimi Akım Şeması [56].



Şekil 4.3. Kalsine Kolemanit Atıklarının Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi Akım Şeması [58].

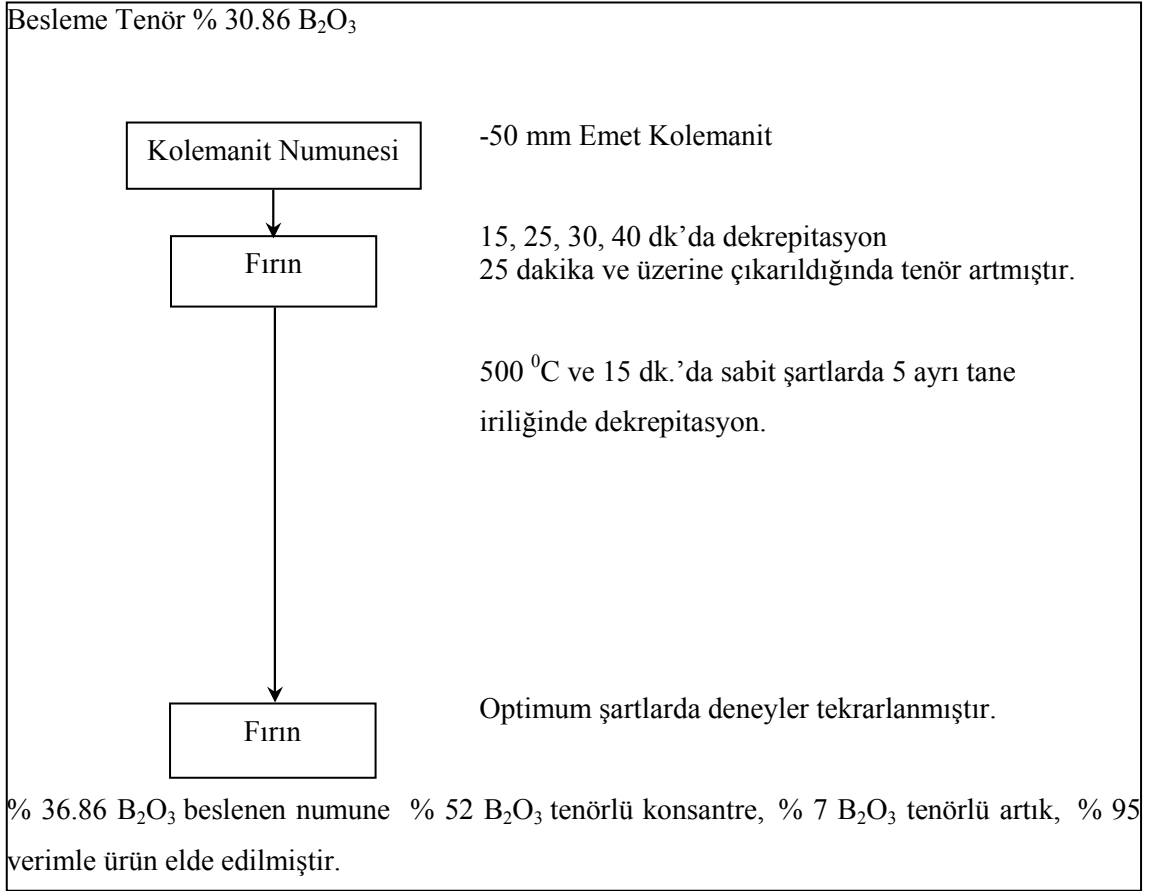
Deneyleerde kullanılan Boraks Dekahidrat Bandırma, Boraks Pentehidrat Kırka tesislerinden temin edilmiştir.

Deney TGA grafiklerinden ve Lab. ön denemelerinden elde edilen sonuçlara göre

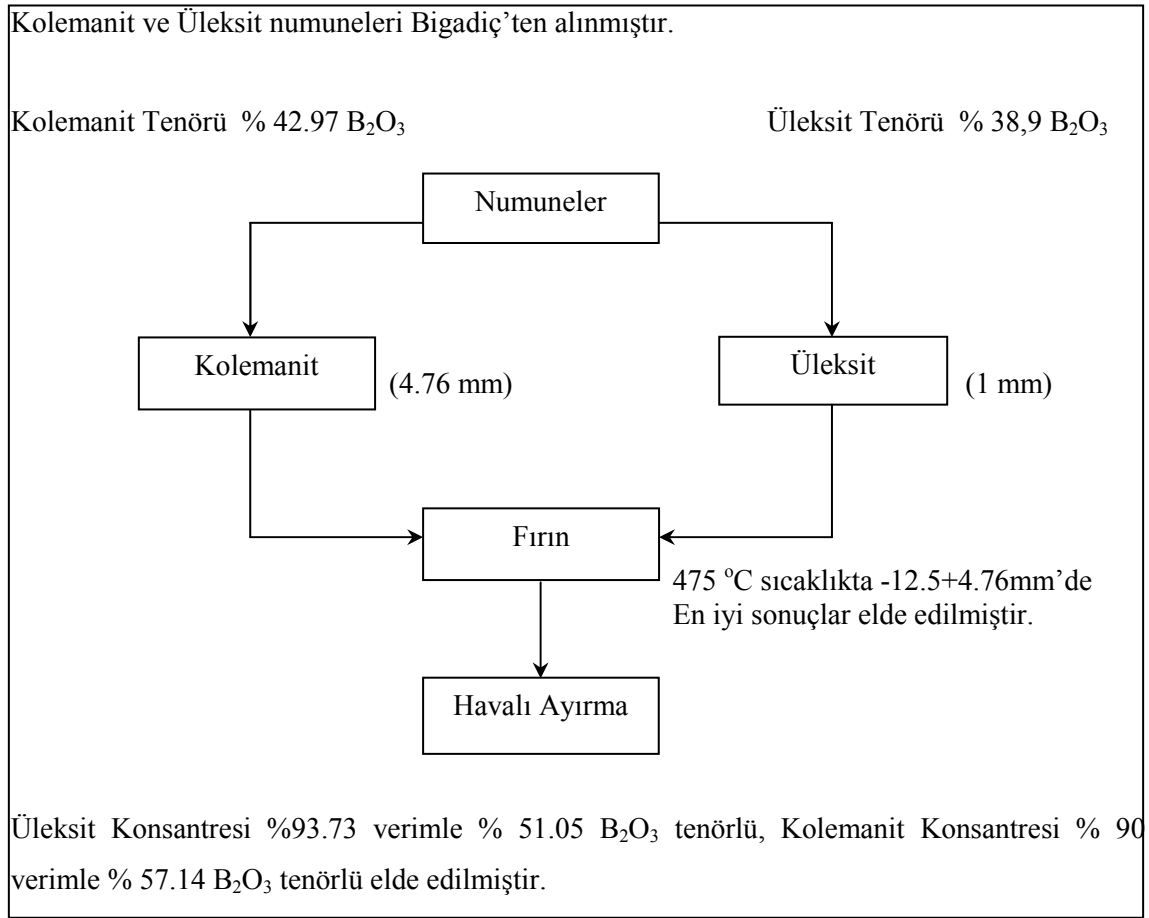


Çalışmalarda her sıcaklıkta dehidrasyonun mümkün olduğu, 140 °C’den sonra hızlandığı ve B₂O₃ yüzdesinin % 60’a ulaşabildiği bulunmuştur.

Şekil 4.4. Kalsine İnce Toz Boraks Hidratların Kompaklanması İçin Yapılan Dehidrasyon Akım Şeması [59].



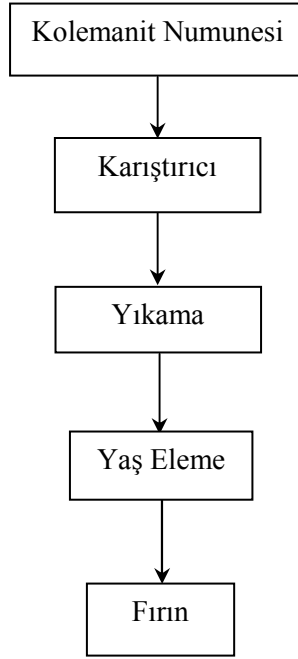
Şekil 4.5. Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yolu İle Zenginleştirilmesi Akım Şeması [55].



Şekil 4.6. Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi Akım Şeması [54].

10 cm boyutundaki numuneler deney analizleri için Emet'ten alınmıştır. Kil, kalsit, realgar, marn ve tuf gang mineralleri olarak bulunmaktadır.

Besleme tenörü %39.6 B₂O₃

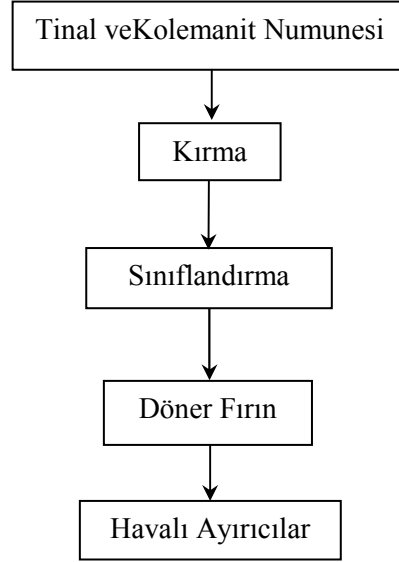


100 °C, 150 °C, 200 °C dekrepitasyon
Optimum sıcaklık 200 °C bulunmuştur

Kolemanit kristal suyunu 262 °C'de kaybetmeye başlamış ve reaksiyon 425 °C'de tamamlanmıştır. -25+3 mm boyutlu ürün %42 B₂O₃ içeriğine ulaşırken -3 mm ebatlı numune %38 B₂O₃'de kalmıştır.

Şekil 4.7. Kolemanitin Kilden Ayrılmasında Isıl İşlemin Etkisi Akım Şeması [60].

Tinkal ve kolemanit cevherleri Kırka ve Bigadiç'ten alınarak dekrepitasyon deneyleri yapılmış ve maliyet yönünden yaş yöntemlerle mukayese edilmiştir.



Tinkal için optimum koşullar

425 °C de 9.51 mm-4.76 mm boyutunda % 56 B₂O₃ tenörlü konsantre %88.3 verimle elde edilmiştir. Sıcaklığın tane boyutuna göre tespit edileceği saptanmıştır. Farklı boyut ve sıcaklıklarda çalışılarak 15 dakikalık dekrepitasyon süresinde % 59.44 B₂O₃ tenörlü ve % 92.6 verim elde edilmiştir. 9.51-4.76 mm tane boyutu, besleme oranı 3 kg/h ile % 57.2 B₂O₃ tenörlü konsantre %94.2 verim elde edilmiştir.

Kolemanit İçin Optimum Koşullar

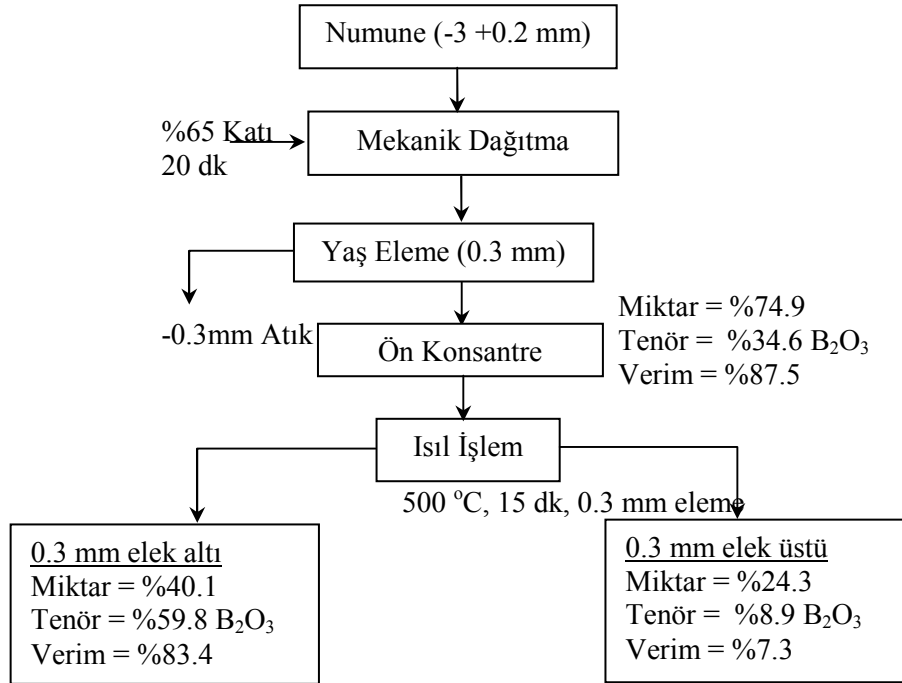
Tinkal için yapılan deneyler kolemanite de uygulanmıştır. 570 °C'de 12.50-4.76 mm tane boyutunda %51.3 B₂O₃ tenörlü konsantre %91 verimle elde edilmiştir.

Bir dekrepitasyon akım şeması önerilerek yaş yöntemle kalsinasyonun maliyet analizi yapılmış ve dekrepitasyon yönteminin daha ekonomik olduğu hesaplanmıştır.

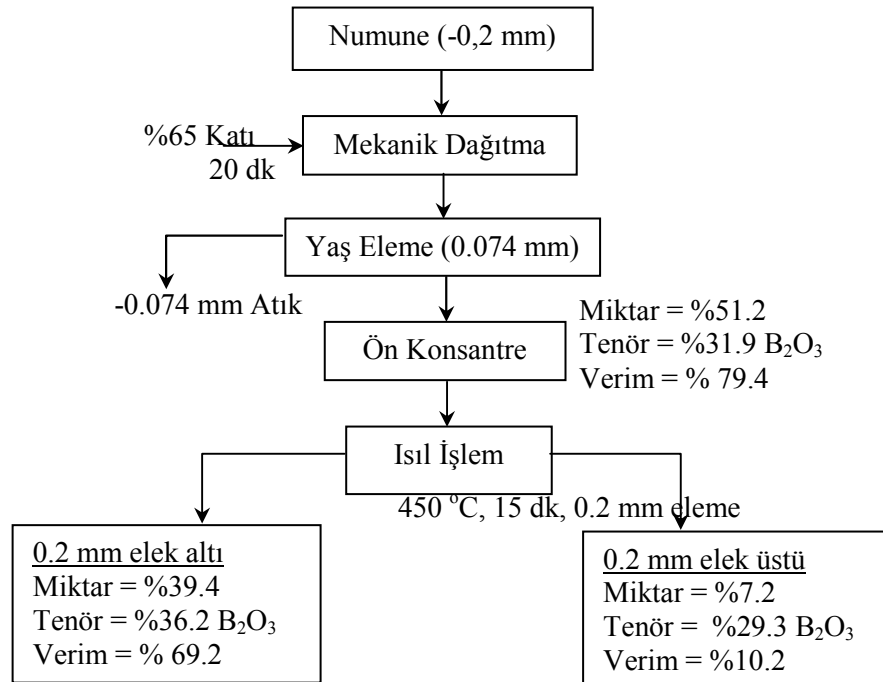
Şekil 4.8. Tinkal ve Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi ve Yaş Yöntemle Ekonomik Yönden Mukayesesi Akım Şeması [51].

Numuneler Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek yörelerinden alınmıştır.

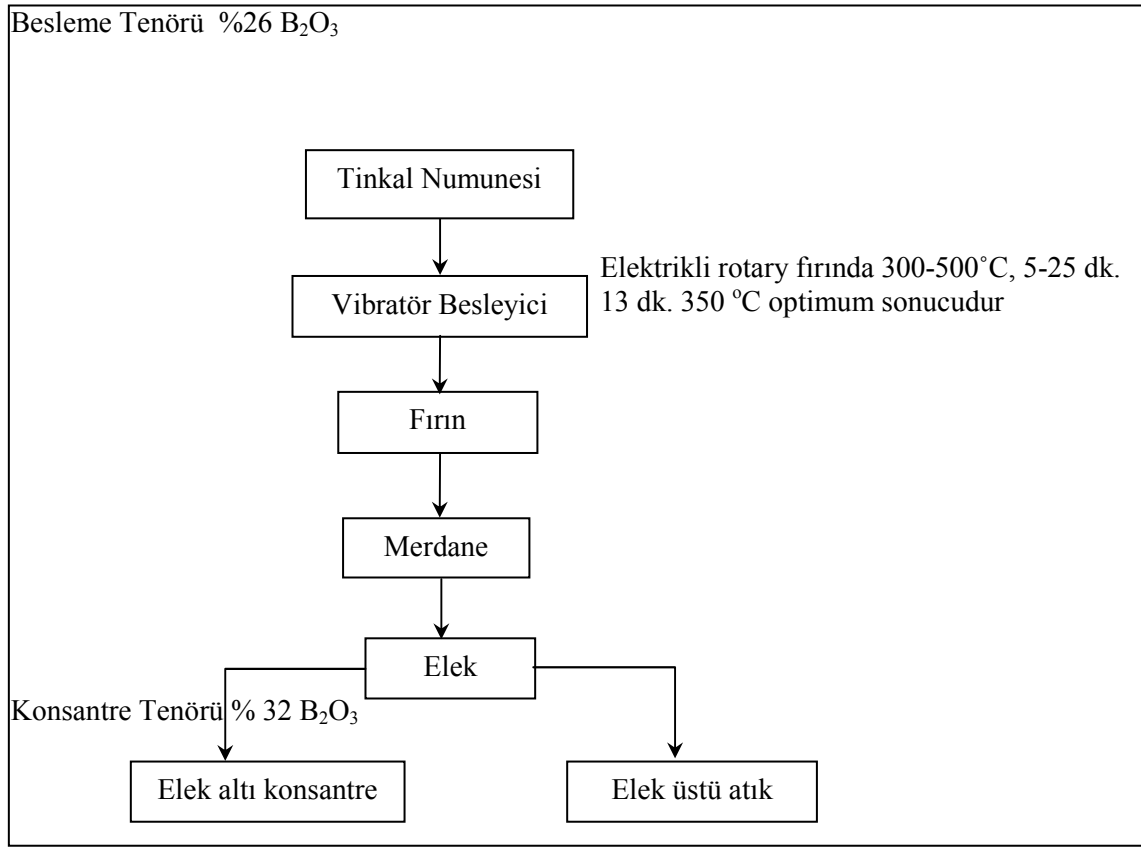
BİGADİÇ



KESTELEK



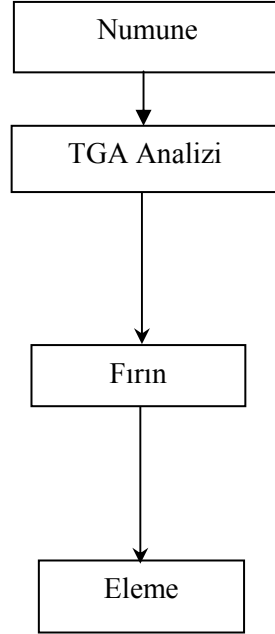
Şekil 4.9. Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem İle Zenginleştirme Yöntemleri Akım Şeması [50].



Şekil 4.10. Tinkal Cevherinin Kalsinasyon-Klasifikasyon Yöntemi İle Zenginleştirilmesi Akım Şeması [61].

Üleksit ve kolemanit içeren numuneler Bigadiç' ten alınmıştır. Tane boyu $-1.65 +0.42\text{mm}$ 'dir.

Besleme Tenörü % 40.87 B_2O_3



Elektrikli Ruhstrat fırında yapılmıştır.
Sıcaklık 85-450 °C ve 15-960 dk

I.TEST : 240 °C, 60 dk
II.TEST : 450 °C, 30 dk

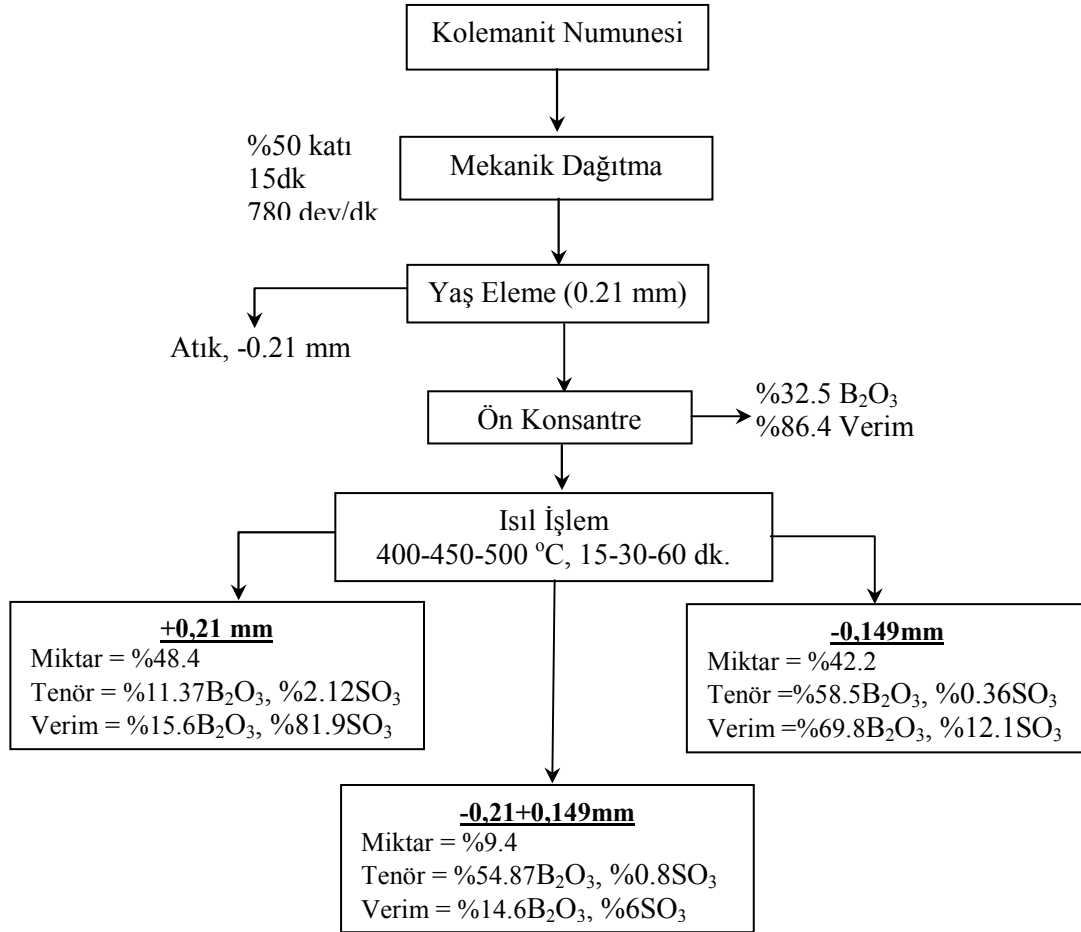
TGA sonuçları ya uzun dekrepitasyon süresi düşük sıcaklıkta, yada kısa dekrepitasyon süresi yüksek sıcaklıkta çalışılması gerektiğini göstermektedir.

I.Test üleksitin kolemanitten öğütme-eleme ile kolayca ayrılabilirdiği göstermiştir. Konsantr tenörü %38.7'den % 54.20 B_2O_3 'ye yükseltilmiştir.

II.Test üleksitin kolemanitten daha sert olduğunu göstermektedir. 300 °C'den sonra kolemanit çok kırılğan bir yapı almıştır. Dolayısıyla tenör artışı daha yüksektir. Üleksitin tenörü %40.71'den %62.86 B_2O_3 'e, kolemanitin tenörü %49.32'den % 59.67 B_2O_3 'e artmaktadır.

Şekil 4.11. Üleksitteki Kalsinasyon Parametrelerinin Tayini ve Kolemanitten Üleksiti Ayırma İmkânı Akım Şeması [62].

%18 B₂O₃ ve %1,57 SO₃ içeren Bigadiç kolemanit atıklarından min.%40 B₂O₃ ve max.%0,5 SO₃ içeren konsantreler elde edilmesi amaçlanmıştır.



Optimum sonuçlar 500 °C ve 15 dk. Dekrepatasyon ile %22.1 oranındaki konsantre, %57,84 B₂O₃ ve %0,44 SO₃ tenörü ile elde edilmiştir.

Şekil 4.12. Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi Akım Şeması [63]

4.4. Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme

Cevher zenginleştirmenin amacı, değerli mineralleri birbirinden ve gang minerallerinden uygun zenginleştirme yöntemleriyle endüstrinin isteği doğrultusunda ekonomik olarak ayırmaktır. Bu yöntemlerden biride flotasyondur [36].

Flotasyon kelimesinin sözlük anlamı yüzdürmedir. Flotasyon boyut küçültme ile yeterince serbest hale getirilmiş (serbestleşme oranı % 75-80) mineral taneciklerinden (genel olarak -250 +20 mikron arası) ve sudan oluşan sistem içerisine (pülp) hava verilerek oluşturulan uygun çaplı hava kabarcıklarının yüzeyine, arzu edilen mineral taneciklerinin (seçimli olarak) yapışması ile oluşan kabarcık-tanecik agregasının pülp yüzeyine çıkması neticesinde yapılan zenginleştirme işlemidir. Kısacası, minerallerin seçimli olarak sulu ortamda hava kabarcıkları yardımıyla ayrılmasını sağlayan bir cevher zenginleştirme yöntemidir. Genellikle düşük tenörlü ve ince boyutta serbestleşen, diğer yöntemlerle ekonomik olarak zenginleştirilemeyen minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır [36].

Flotasyon tekniğinin başarısı, uygun çalışma parametrelerinin yanında kullanılan aletlerin tipine de bağlıdır. Flotasyon prosesinin gerçekleştirildiği bu aletlere flotasyon makineleri denir. Günümüzde kullanılan flotasyon aletleri:

1. Mekanik Karıştırma

- Flotasyon hücreleri (selüller),

2. Hava ile Karıştırma

- Flotasyon kolonları,
- Jameson kolonu

olmak üzere iki farklı grup altında toplanabilir. Tane boyutuna bağlı olarak flotasyon verimleri açısından bu aletlerin birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Buda, farklı çalışma mekanizmalarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır [36].

Bu aletlerde aranan temel özellikler şunlardır;

1. Pülp içindeki katı tanelerin homojen karışımını sağlayıp ve süspansiyon halinde tutabilmek,
2. Pülp içine yeterli havayı verebilmek.

Minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarından yararlanan bu proses, oldukça karmaşık (kompleks) bir işlemdir. Diğer zenginleştirme yöntemleri katı taneciklerin kütlelerinden ve hacminden yararlanırken flotasyon katının yüzey özelliklerinden yararlanır. Flotasyon işleminin başarısı çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik faktörlere bağlıdır ve bu faktörler arası etkileşim kaçınılmazdır [36].

Flotasyon prosesi bir seri aşamalardan sonra gerçekleşir. Bu aşamaların sırasıyla birer birer yerine getirilmesiyle flotasyon işlemi gerçekleştirilir. Flotasyon prensipleri olarak kabul edilen bu aşamalar şunlardır:

- Zenginleştirilecek olan serbest taneciklerin sulu ortamda süspansiyon halinde tutulması (%40-45 katı oranı),
- İstenen mineral taneciklerinin yüzeyini hidrofob yapabilmek için pülün bazı reaktiflerle işleme tabi tutulması (koşullandırma),
- Hava kabarcığı üretebilen ve katı tanecikleri askıda tutabilen bir karıştırıcıya sahip flotasyon hücresine pülün aktarılması (sulandırma ve %15-35 katı),
- Boyutu kontrol edilebilen (köpürtücü, karıştırıcı sistem ve kabarcık üreticisi vasıtasıyla) hava kabarcıklarının hidrofob taneciklere yapışması (agregaların oluşumu),
- Suyun kaldırma gücüyle katı/hava kabarcığı agregalarının su yüzeyine çıkması,
- Köpürtücü miktarına bağlı olarak oluşan kararlı köpük zonunda yüzen taneciklerin toplanması,
- Konsantre ürün elde edebilmek için yüzen mineralce zengin köpüğün alınması,
- Flotasyon hücresinde kalan hidrofil (yüzmeyen) taneciklerin pülple beraber alınması [36].



Şekil 4.13. Flotasyon hücresi

Literatürde, kolemanit ve diğer bor minerallerinin flotasyonu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelediğinde, kolemanitin R-801 ve R-825 adlı flotasyon reaktiflerinin kullanılmasıyla doğrudan yüzdürülebileceği görülmüştür.

Özkan ve Veasey, (1994), Emet kolemaniti üzerindeki flotasyon çalışmalarında tane boyutu -210 mikron olarak alınmış, -20 mikron şlam olarak atmışlardır. %20 katı oranında yaptıkları bu deneylerde pH=9,3'dür. 1 lt'lik flotasyon hücresinde $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ de, 1350 dev/dk pervane hızında 5dk'da flotasyon gerçekleştirilmiş. Toplayıcı olarak oleik asit, AP825, CA927 kullanmışlardır. Kullandıkları toplayıcılar %5'lik hazırlanmış, 100 gr/ton kullanılmıştır. Köpürtücü olarak ise AF70 kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %35 B_2O_3 tenörlü kolemanit %80 verim ile elde edilmiştir [37].

Çelik, Elma ve Müdüroğlu, yaptıkları mikroflotasyon çalışmalarında tane boyutunun -150 +75 mikron olarak kabul edilmiş, -38 mikron tane boyutunu zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanılmıştır. Mikroflotasyon çalışmalarında kıvamlandırma zamanı 10 dk, flotasyon zamanı 1 dk'dır. Oda sıcaklığında yaptıkları bu çalışmada toplayıcı olarak %98 saflıkta SDS, canlandırıcı olarak Ca^{++} iyonları kullanmışlar ve temiz kolemanit % 90 verim elde edilmiştir [64].

Özkan, Alp ve Veasey'in (1993), yapmış oldukları flotasyon çalışmalarında tane boyutunu -210 mikron, katı oranını %20 olarak almışlardır. Doğal pH'da yaptıkları bu çalışmalarda Denver flotasyon hücresi kullanmışlar, sıcaklık 20°C 'dir ve devir 1350 dev/dk'dır. Toplayıcı olarak 1500 gr/ton R-825, köpürtücü olarak 100 gr/ton AF70 kullanılmış. % 40 B_2O_3 besleme tenörü ile flotasyona giren kolemanit cevheri % 48 B_2O_3 tenörü ve % 90 verimle kazanılmıştır [65].

Bulut, Ören, Acarkan ve Bakan tarafından Tinkal atığına uygulanan flotasyon çalışmalarında, 0,3 mm tane boyutundaki numune (-38 mikron şlam olarak atılmış) doğal pH'da (9,3), denver flotasyon hücresinde 5 dk kıvamlandırılmış ve 5 dk'da flotasyonu tamamlamışlardır. Toplayıcı olarak DAH, SDS (500, 1000, 2000 gr/ton) ve R825-R801 (2000 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta (50, 100, 200 gr/ton) ve tannik asit (100, 200, 400 gr/ton), canlandırıcı olarak baryum klorür (200, 400, 800 gr/ton) ve köpürtücü olarak AERO 801 kullanılmıştır. % 20 – 25 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren tinkal %34,85- 35,93 B₂O₃ tenörü ile ve % 75,05 – 80,70 verim ile flotasyondan konsantre olarak kazanılmıştır [66].

Gül, Kaytaç ve Önal, (2005), yaptıkları flotasyon çalışmalarında tane boyutu -0,074 mm, katı oranı %15, devir 1200 dev/dk ve pH=10'dur ve pH ayarlayıcı olarak da NaOH kullanmışlardır. 5 dk kıvamlandırılan kolemanitin 3 dk'da flotasyonunu tamamlanmıştır. Toplayıcı olarak R801, R825, Hoechst F-698 (600 g/t), bastırıcı olarak Ke-1365, Dekstrin (80 gr/ton), Na₂SiO₃, Cataflot P-40 ve köpürtücü olarak ise Flotarol D-14 kullanılmıştır. % 20 B₂O₃ tenörü ile flotasyona beslenmiş olan kolemanit atığı % 44,50 B₂O₃ tenör ve % 68,40 verim ile konsantre olarak kazanılmıştır [67].

Hançer, Kaytaç ve Çelik, (1993), flotasyon çalışmalarında saf boraks numunesini -250 +100 mikron tane boyutuna getirmişlerdir. Doğal pH=9,3 ve pH ayarlayıcı olarak NaOH ve HCl kullanılmıştır. Deneyle mikroflotasyon hücresinde 10 dk flotasyon zamanında, 20 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Toplayıcı olarak SDS – DAH kullanılmış ve deneyle sonucunda % 65 verim sağlanmışlardır [68].

Savaş ve Koca, (2003), flotasyon çalışmalarında kolemanitin tane boyutunu -150 +75 mikron olarak belirlemişler, pH'ı 9 olarak ayarlamışlardır. % 3 katı oranında yaptıkları deneyle mikroflotasyon hücresi kullanmışlardır. Numuneyi 10 dk kıvamlandırıldıktan sonra 60 dk da flotasyon tamamlanmıştır. Toplayıcı olarak R-825, R- 840, Na-Oleat, Armac-T, KAX, KEX, canlandırıcı olarak BaCl₂ 2H₂O (0,5kg/ton) ve köpürtücü olarak ise MIBC kullanılmıştır. Yapılan deneyle sonucunda % 32,45 B₂O₃ tenörü % 88 verimle kolemanit konsantresi elde edilmiştir [69].

Yılmaz, (2002) flotasyon deneylelerinde mineral olarak -25 mm boyutunda tinkal kullanmıştır. % 50 katı oranında yaptığı deneylelerde pH'ı 9-10 olarak ayarlamış ve 10 dk kıvamlandırmıştır. Tinkalin flotasyon zamanı yine 10 dk'dır. 1500 dev/dk pervane hızında yaptığı deneylede toplayıcı olarak R-825, R-801 (1000 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta, sodyum silikat (2000 gr/ton) ve qebrocho, canlandırıcı olarak baryum klorür ve köpürtücü olarak ise çam yağı (200 gr/ton), dawfroth-250, flotigal CS kullanılmıştır. % 22,81 B₂O₃ besleme tenörü

ile flotasyona giren tinkal % 30,85 B₂O₃ konsantre tenörü ve %56,78 verim ile kazanılmıştır [19].

Özkan ve Acar, (2003), yaptıkları flotasyon çalışmalarında kolemanitin tane boyutunu - 210 +20 mikron olarak belirlemişler, %25 katı oranında, doğal pH, oda sıcaklığında ve 1200 dev/dk' da yaptıkları bu deneylerde denver flotasyon hücresi kullanmışlardır. Toplayıcı olarak CA-927 (1500gr/ton) ve R-825 (2000gr/ton) ve köpürtücü olarak Aerofrother-70 (100 gr/ton) kullanmışlardır. Flotasyon sonunda çıkan konsantrelerin tenörünü % 40-44 B₂O₃ olarak hesaplanmıştır [70].

Alp ve Özkan'ın, 2003, Emet kolemaniti üzerine yaptıkları çalışmada tane boyutu -106 +20 mikron olarak belirlenmiş olup %20 katı oranı uygun görülmüştür. 5 dk kıvamlandırılıp, 10 dk flotasyon yapılmıştır. 20±5 °C sıcaklıkta, 1000 dev/dk pervane hızında yapılmış olan bu deneyde toplayıcı olarak AP825 (1500 gr/ton), OMC520, OMC111, CA927 ve köpürtücü olarak ise Aerofrother -70 (100 gr/ton) kullanılmıştır. %15-25 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona beslenen kolemanit %48 B₂O₃ konsantre tenörü ve %75 verim ile elde edilmiştir [71].

Diğer yapılan bir çalışmada kolemanitin tane boyutu -147 mikron olarak belirlenmiştir. -53 mikron şlam olarak atılmıştır. Toplayıcı olarak AP825 (1,6 kg/ton), AP710, AP801, (100 gr/ton) ve köpürtücü olarak çam yağı (400 gr/ton) ve gaz yağı (50 gr/ton) kullanılmıştır. % 27 B₂O₃ besleme tenörü ile giren kolemanitten % 45,70 B₂O₃ konsantre tenörü ve % 65,80 verim sağlanmıştır.

Aytekin, Lübiç ve Yamık'ın kırka tinkal cevherinin flotasyon ile zenginleştirilebilirliği adı altında yapmış oldukları çalışmada mineral olarak tinkal kullanılmıştır. Tane boyutu -1mm olarak belirlenmiş ve -25mm şlam olarak atılmıştır. Katı oranı %30-50, pH 9-10 ve pervane hızı 1500 dev/dk olarak belirlenmiştir. 10dk kıvamlandırılmış ve 10 dk' da flotasyon gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı olarak R-285, R-801 (1000 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta, qebrocho, sodyum silikat (2000 gr/ton), canlandırıcı olarak baryum klorür (200 gr/ton) ve köpürtücü olarak çam yağı, dowfroth 250, flogital CS (200 gr/ton) kullanılmıştır. % 28,81 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren tinkalden % 30,85 B₂O₃ konsantre tenörü ve % 56,78 verim sağlanmıştır.[77]

SSCB'de yapılan bir çalışmada mineral olarak hidroborasit kullanılmış olup şlam atılmıştır. Toplayıcı olarak oleik asit (100 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta, Na₂SiO₃ (500 gr/ton) ve köpürtücü olarak gazyağı (400 gr/ton) ve çam yağı (50 gr/ton) kullanılmıştır. % 18- 34 B₂O₃ tenörü ile beslenen hidroborasitten % 81 – 92 verim sağlanmıştır [72].

Yarar ve Kayta Bigadiç düşük kolemanit cevheri üzerinde flotasyon çalışmalarında bulunmuşlardır. Yapılmış olan çalışmada mineral olarak kolemanit kullanılmış olup -10 mikron şlam olarak atılmıştır. pH=10 olarak belirlenmiştir. Toplayıcı olarak R-825,R-801 (1750 gr/ton), R-830, R-845, naftenik asit, bastırıcı olarak nişasta, dekstrin (100 gr/ton), tannik asit (400 gr/ton), sodyum silikat ve canlandırıcı olarak baryum klorür (200 gr/ton) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda % 42 – 43 B₂O₃ konsantre tenörü ve % 65 – 68 verim sağlanmıştır [72].

4.4.1. Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli

Mineraller su içerisine atıldığında çeşitli yollarla yüzeylerinde yükler oluşur. Bu sayede taneler birbirlerini iter yada çekerler. Mesela negatif yüklü bir tane sıvı içerisinde pozitif iyonları kendine çeker. Sıvı içerisinde normalde katyon ve anyonlar bir denge halindedir. Tane yüzeyinde katyonlar en yoğun şekilde yer alırlar. Tane yüzeyinden itibaren bir molekül kalınlığındaki tabakaya “**stern tabakası**” adı verilir. Bu noktadan başlayıp anyon ve katyonları dengede olduğu noktaya kadar olan tabakaya “**yaygın tabaka**” adı verilir. Her ikisinin birden oluşturduğu sisteme ise “**elektriksel çift tabaka**” denir [20]. Şekil 4.14’de yüklü bir tane ve bunu çevreleyen çift tabaka görülmektedir.

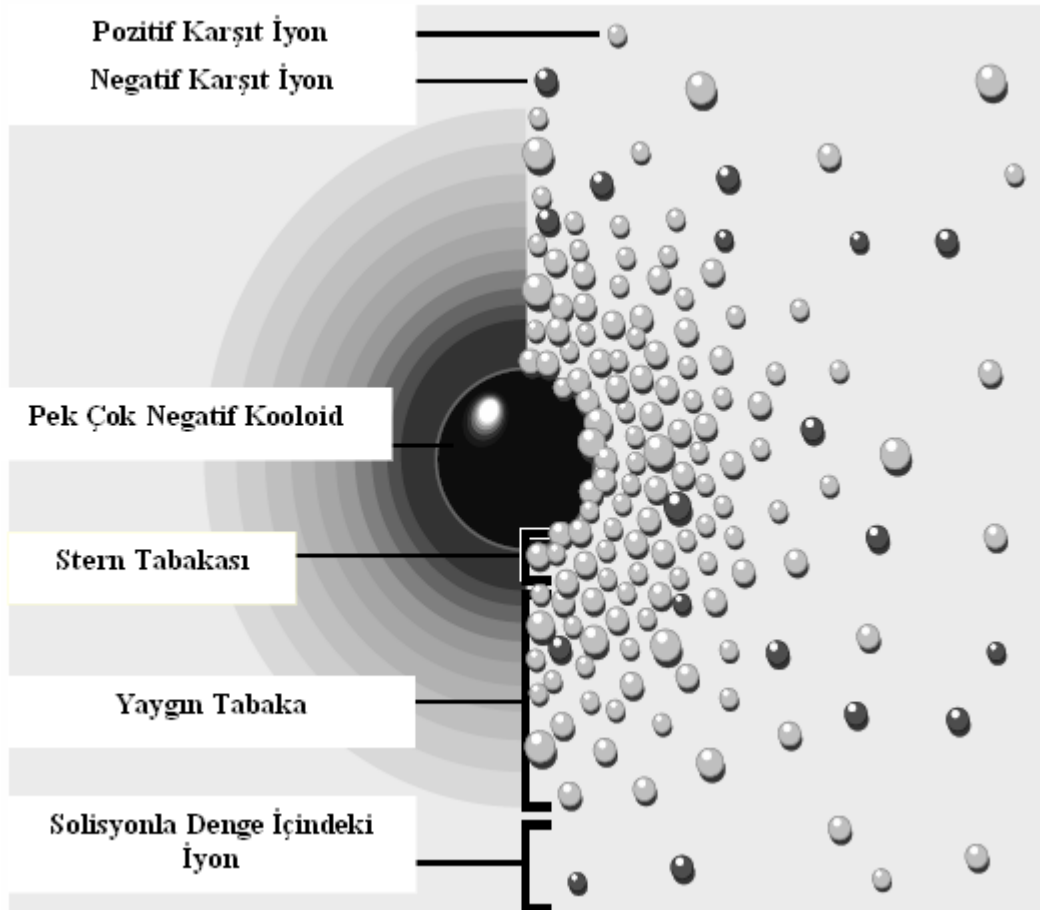
Elektriksel çift tabaka teorisi, dengeleyici ve eş iyonların dağılımını inceler. Ayrıca yüklü yüzeylerin üzerinde oluşan elektriksel potansiyelin büyüklüğünü belirler. Bu koloidal sistemlerde flotasyon, flokülasyon, adsorpsiyon, stabilite, koagülasyon ve elektrokinetik özellikler gibi olayların anlaşılabilirliği için gerekli bir adımdır [73].

Elektro kinetik özellikler, elektriksel çift tabakanın çözelti kısmında; mineral tarafındaki sabit tabaka ile diğer hareketli dağılmış iyonlar tabakasını ayıran kayma yüzeyi üzerindeki potansiyel büyüklüğüne bağlıdır. Yüklü mineral tanecikler ile etrafındaki sulu çözeltinin birbirine göre hareketlerinde, çözelti tane arasındaki kayma yüzeyindeki ölçülebilen potansiyele “**elektro kinetik potansiyel**” veya “**zeta potansiyel**” denir [36].

Zeta potansiyeli aşağıdaki yöntemlerden birisi ile kontrol altında tutulabilir.

- Farklı iyonların konsantrasyonları ve değerliklerinin etkisi, zeta potansiyel, elektrolit konsantrasyonu (elektriksel çift tabaka kalınlığının azalmasından) ve eklenen katyonların değerliliği arttıkça düşer.

- Potansiyel belirleyen iyonlar; zeta potansiyel doğrudan doğruya yüzey elektrik yüküne ve buda potansiyel belirleyen iyonların miktarına bağlı olduğundan, bu iyonların ilavesiyle zeta potansiyelin hem işareti hem de yükü kolaylıkla değiştirebilir.
- Aynı değerlikli iyonların atomik çapı, aynı değerliliğe sahip iyonlarda atomik yarıçap arttıkça zeta potansiyeli düşer.
- Hidrojen iyonu, yüksek değerlikli iyonlar ve kompleks organik katyonlar; bu iyonlar kuvvetli olarak zeta potansiyeli azaltır ve hatta çok düşük konsantrasyonlarda bile işaretini değiştirir.
- Yüzey aktif maddeler, bunların zeta potansiyele etkisi çok spesifikdir [36].



Şekil 4.14. Elektriksel Çift Tabaka'nın iç kısımları [74]

Zeta potansiyelinin flotasyondaki önemi: İç tabakada kimyasal, difüzyon tabakasında fiziksel adsorbsiyon olur. Sıfır yük noktasında katılar minimum çözünürlük gösterir.

- Kullanılacak reaktiflerin seçimine yardımcı olur.
- Zeta potansiyeli değeri fazla ise randımanda yüksek olur.
- Ortamın pH' sına ve elektrolit konsantrasyonuna bağlıdır.
- Şlam kaplama mekanizmasını açıklamada kullanılır (ince tanelerde).

Şlam kaplama; çok ince tanelerin (yüzeyi yüklü) iri tanelerin yüzeyini (yüzeyi polar, ince taneye göre zıt yüklü) sarmasıdır. Bu flotasyonda istenmeyen bir olaydır.

- Zeta potansiyeli düşük ise buna bağlı olarak tanenin yüzey gerilimi düşüktür.
- Flokülasyon (düşük zeta potansiyeli) ve dispersiyon (yüksek zeta potansiyeli) olaylarının açıklanmasında yardımcı olur.
- Oksit minerallerinin Flotasyonunda önemlidir [36].

4.4.2. Elektro kinetik olay ve zeta potansiyelin ölçülmesi

Elektrik yüklü bir yüzey ile bunu çevreleyen çözeltinin birbirine göre hareketi elektro kinetik olaylara neden olur. Elektro kinetik, elektriksel çift tabakanın hareketli kısmını yüzeyden ayırmaya girişildiği zaman meydana gelen 4 olayla ilgilidir. Elektriksel alan yüklü yüzeye uygulandığı zaman, elektriksel çift tabakanın her iki tabakasında da bir kuvvet oluşur. Yüklü yüzey ve buna bağlı olan kısımlar elektrik alanına paralel hareket etme eğiliminde iken elektriksel çift tabakanın hareketli kısmındaki iyonlar ise buna zıt yönde net bir yer değiştirme gösterirler. Bu sırada çözeltinin kendisinde iyonlarla beraber hareket ederek, bir akışa neden olur. Bunun tersi olarak da, eğer elektriksel çift tabakanın yüklü yüzey ve dağılmış iyonlar tabakası birbirine bağlı olarak hareket ettirilirse bir elektrik alanı oluşur.

4.4.3. Flotasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

- Diğer zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilmesi zor ve olanaksız ince boyutta serbestleşen minerallerin zenginleşmesine imkan sağlar.
- Toplam gidere göre düşük kapital ile ekonomik ürün elde edilir.
- Elde edilen konsantre ürünün kalitesi diğer yöntemlere göre yüksektir [29].

Dezavantajları

- Üretilen ürünün birim ağırlığına göre enerji tüketimi oldukça yüksektir.
- Reaktif kullanımı nedeniyle;
 - Maliyet artar (reaktifler pahalı ve dışa bağımlı),
 - Çevre kirliliğine sebep olabilir (önlem alınmaz ise),
 - Çevre sağlığına sebep olan reaktifleri zararsız hale getirme problemi olabilir.
- Su tüketimi fazladır.
- Dizayn konusunda ve parametrelerdeki değişikliklere karşı hassastır.
- Zamana bağlı olarak minerallerin oksitlenmesi olumsuz etki yaratır [29].

4.4.4. Sıfır yük noktası (Z.P.C) ve eş yük noktası (I.E.P)

Potansiyeli belirleyen iyonların, konsantrasyonuna bağlı olarak, mineralin yüzey yükünü mutlak değer ve işaretçe değiştirebildikleri bilinmektedir. İşte bu değişim sırasında potansiyel belirleyen iyonların belirli bir kritik konsantrasyonunda veya aktivitesinde mineral yüzey yükü sıfır olur ve buna “**Sıfır yük noktası**” (z.p.c) denir. H^+ ve OH^- iyonları potansiyel belirleyen iyonlar olduğundan zpc, pH değerine göre belirlenir [11].

Elektroforetik hareketliliğin (zeta potansiyelin) sıfır olduğu pH “**Eş Yük Noktası**” (IEP) olarak adlandırılır. Bu noktada zpc’de olduğu gibi mineral yüzeyi elektriksel olarak yüksüz yani sıfır değildir. Ancak, mineral yüzeyindeki pozitif ve negatif iyonların eşit konsantrasyonları ifade edilmektedir. Bu durumda mineral yüzeyindeki net elektrik yükü, nötrdür [11].

ZPC ve IEP birbirlerine benzeyen kavramlardır, bazı durumlarda aynı şeyi ifade ederler. Örneğin H^+ ve OH^- iyonlarının potansiyel belirleyen iyonlar olması halinde IEP hem yüzeyin sıfır yüklü olduğu pH değerini, hem de yüzeydeki pozitif ve negatif iyonların dengede olduğu pH değerini simgelemekte kullanılır. Eğer sistemde spesifik iyon adsorpsiyonu söz konusu değilse, ZPC ve IEP birbirine eşittir [11].

Koca ve Savaş, (2003), kolemanit ve realgarı üzerinde elektrokinetik çalışmalar yapmışlardır. R825, R840, Sodyum oleat, KAX, KEX kullanılarak 10 dk karıştırma süresince yaptıkları bu çalışmada sıfır yük noktası tespit edilememiştir [71].

Çelik, Elma ve Müdüroğlu, Bigadiç bölgesi kolemanitleri ile ultrasonik ortamın şlam kaplı kolemanit flotasyonuna etkisini incelemiştir. -38 mikron temiz kolemanit ile zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Sıfır yük noktasını $pH=10,5$ 'da ölçtükleri görülmektedir [64].

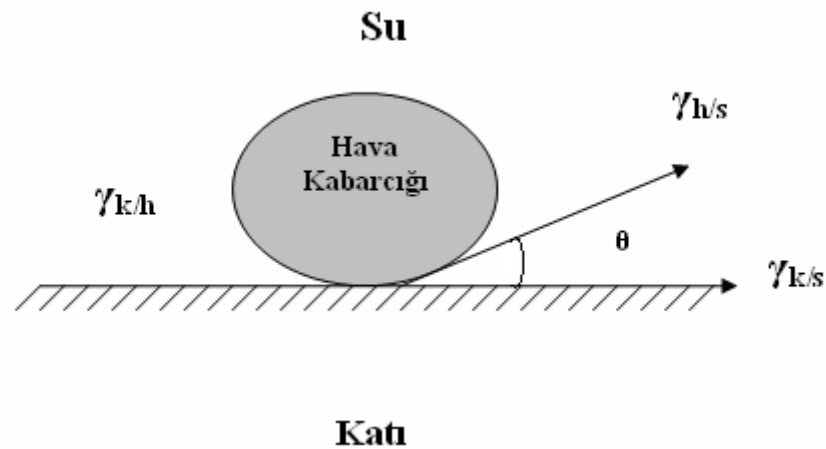
Çelik, Hançer ve Miller, (2002) Bor minerallerinin flotasyon kimyasını incelemiştir. Saf kolemanit – üleksit – boraks kullanmışlar ve kolemanitin sıfır yük noktasını $pH=10,5$ 'da saptamışlardır [75].

4.4.5. Katı – Gaz arayüzeyi arasındaki etkileşim

Flotasyonun temel olayı, hava kabarcığı ile hidrofob mineral tanesinin sulu ortamda temasıdır. Bu temas mineral tanesi yüzeyindeki su tabakasının yüzeyden uzaklaşması ile mümkün olur ve kabarcık taneye yapışır. Bu olayı sağlayabilmek için kimyasal reaktifler kullanılır. Tanenin kabarcığa yapışması esnasında üç faz temas halinde olur ve üç arayüzey ortaya çıkar. Bunlar;

- Katı / hava
- Katı / su
- Sıvı / hava

Bu üç fazın teması basit olarak şekil 4.15'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi üç fazın dengede olabilmesi fazlar arasındaki arayüzey gerilimine (enerji, γ) bağlıdır [36].



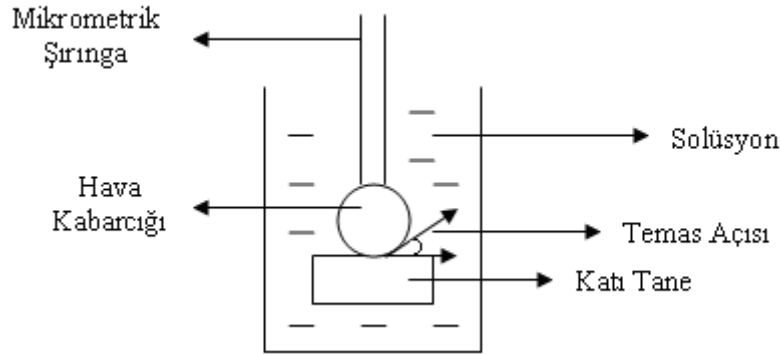
Şekil 4.15. Temas açısı ve fazlar arası denge

Fazlar arası denge:

$$\gamma_{k/h} = \gamma_{k/s} + \gamma_{h/s} \cdot \cos \theta$$

θ : Temas açısı, katı ile sıvı – hava arayüzeyi arasındaki açıdır [36].

Temas açısının ölçülmesi: Temas açısının ölçülmesinde birçok yöntem kullanılır. Fakat en çok kullanılan yöntem laboratuarda yapılan projeksiyon ve fotografik yöntemidir. Katı tanenin yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde hazırlanır veya düz yüzeysel alınır. Önceden pH'sı ve ortam koşulları belirlenmiş solüsyon (su + reaktif) hazırlanır. Bu solüsyon beher içine konur. Daha sonra katı tane solüsyon içine konur ve koşullandırma zamanına uygun olarak karıştırılır. Tanenin düz yüzeyi üstte olacak şekilde tane yerleştirilir. Tane üzerine bir şırınga yardımıyla hava kabarcığının yapıştırılması sağlanır (hava kabarcığı sabit kalacak şekilde). Mikroskop yardımıyla açı ölçülmeye çalışılır (şekil 4.16.) [36].



Şekil 4.16. Temas açısı ölçümü [36]

Koca ve Savaş, (2003), tarafından yapılan çalışmada kolemanitin temas açısı ölçümlerini (pH' ı 6-11, sıcaklık 20 – 22 °C arasında değişmektedir) KEX, KAX, R825, R840, Na-Oleat, Armac-T toplayıcıları ve Na₂SiO₃ bastırıcısı ile yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; KAX, KEX, Na-Oleat, R825, R840, Armac-T için uygun temas 47° olduğunu tespit etmişlerdir [71] .

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

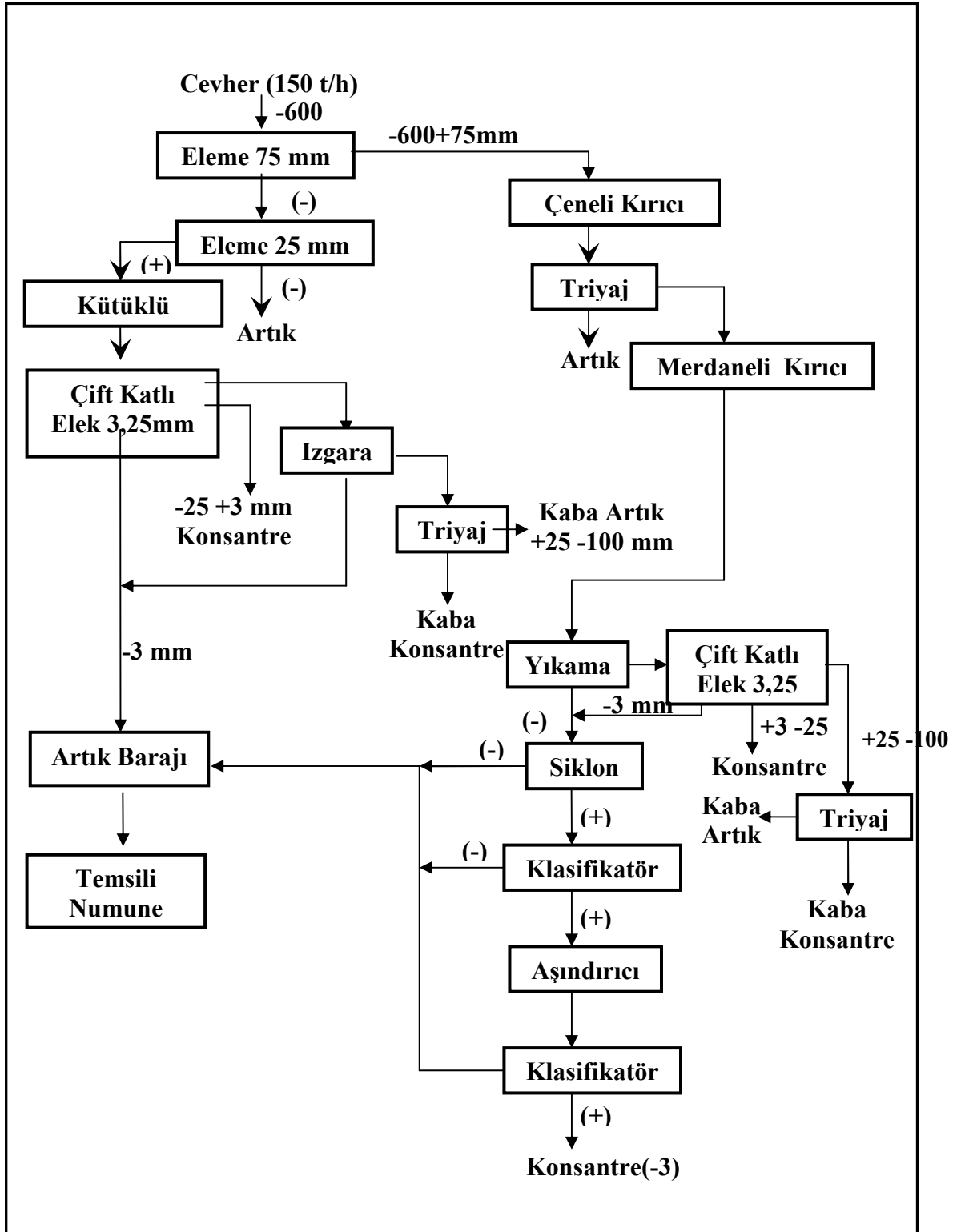
5.1. Malzeme ve Yöntem

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numune Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Müdürlüğü, Hisarcık konsantratör tesisi ince atık (-3mm) barajından (Şekil 5.1.), numune alma şartlarına uygun olarak alınmıştır. Atık barajının çeşitli noktalarından temsili olarak alınan yaklaşık 450 kg numune Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Müdürlüğü laboratuvarına getirilerek serilmiştir. Numune, içinde bulunan nemi kaybetmesi için 2 gün laboratuvar atmosferinde kurutulmuştur. Daha sonra numune bölücü ve konileme-dörtleme yöntemleri kullanılarak, elek analizi, kimyasal analiz (XRF), mineralojik analiz (XRD) ve kalsinasyon ve flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere temsili olarak ayrılmış ve torbalanmıştır.

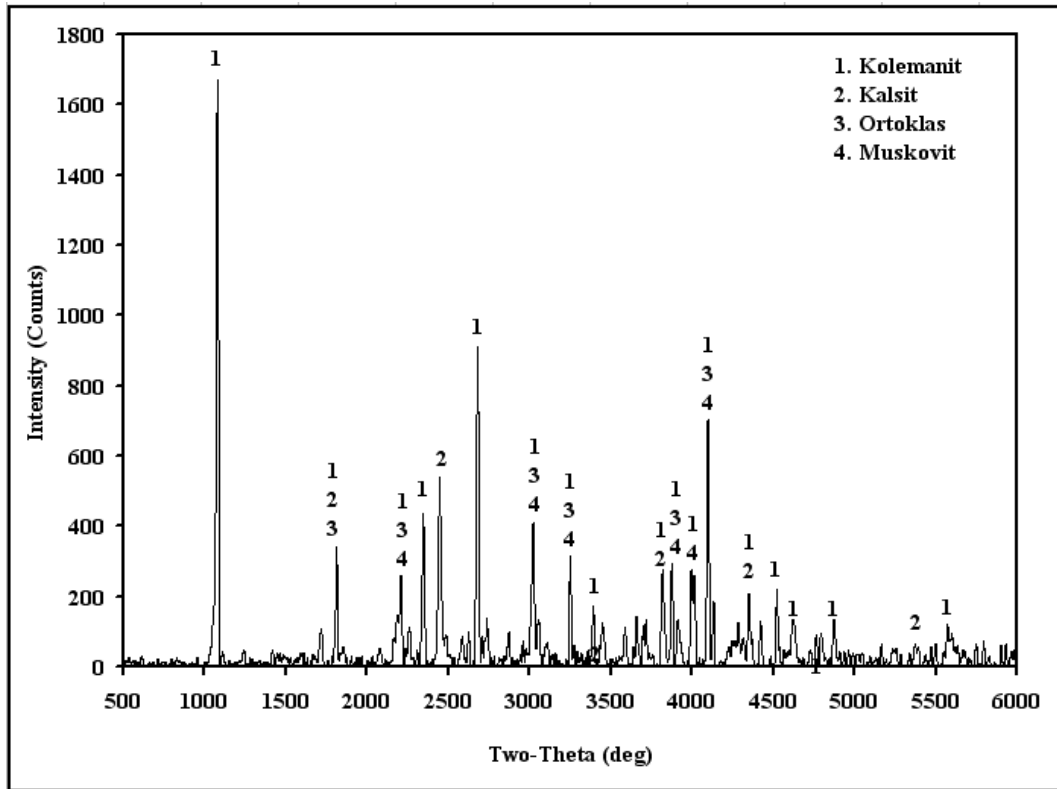
Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi (XRF) Emet Etibor Genel Müdürlüğünde ARL Brand 8680⁺ model X-Ray cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Numunenin ve ayrıca ocaktan alınan temiz kil numunesinin mineralojik analizi (XRD) Rigaku Miniflex Brand marka cihazı ile Cu α ($\lambda=1,54 \text{ \AA}$) ışınması kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.).

Çizelge 5.1. Numunenin kimyasal bileşimi

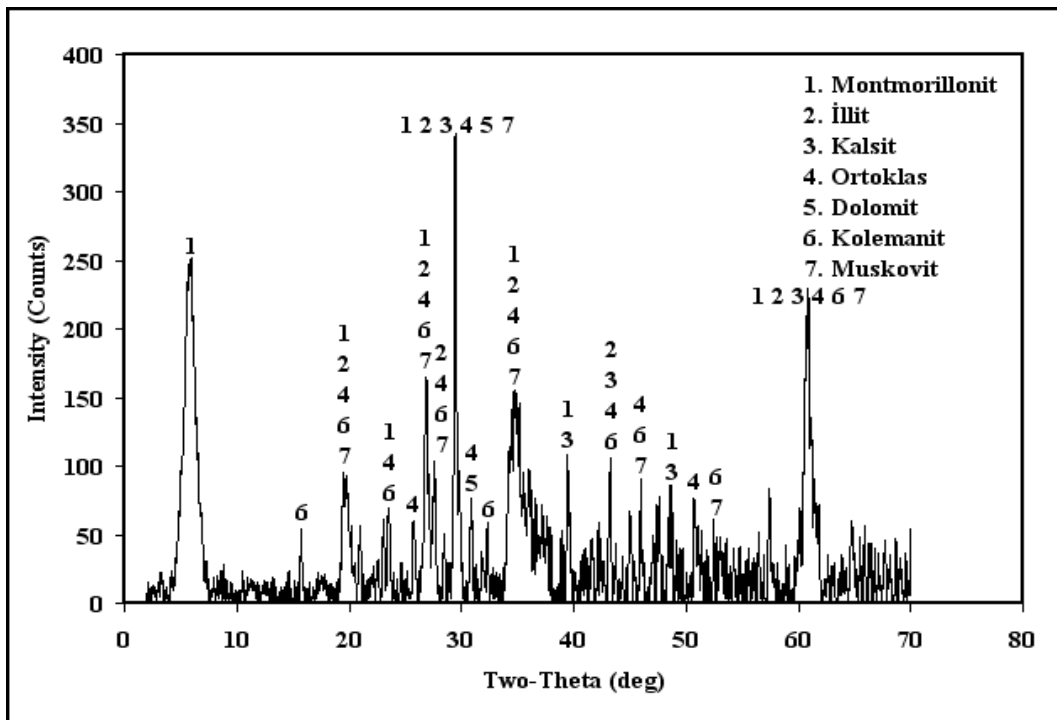
BİLEŞİM	Miktar %
B ₂ O ₃	23,63
As (ppm)	2080
SiO ₂	22,24
Al ₂ O ₃	2,92
CaO	14,82
Fe ₂ O ₃	1,11
MgO	7,00
SrO	6,83
Fe	0,78
SO ₄	0,31
Kristal Suyu	9,21



Şekil 5.1. Hisarcık Bor Konsantre Tesisi Akım Şeması [33]



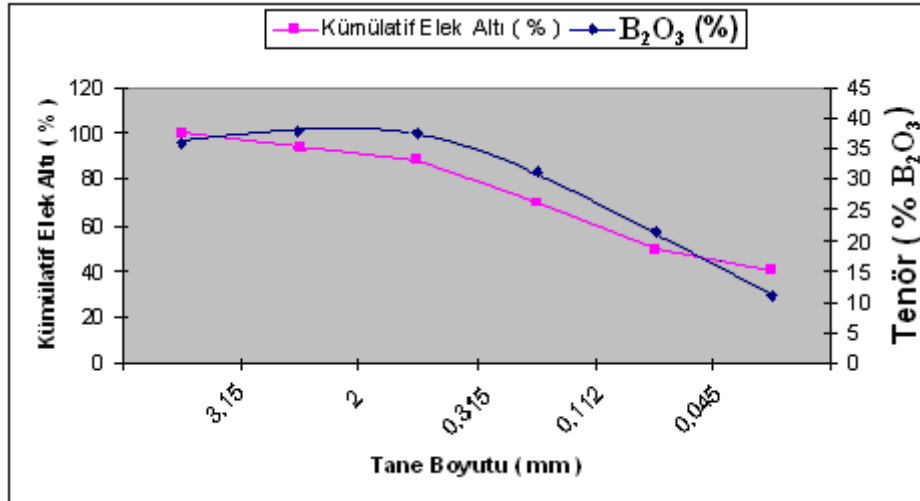
Şekil 5.2. Atık Barajı Numunesinin XRD sonuçları



Şekil 5.3. Numunedeki kilin XRD sonuçları

Çizelge 5.2. Emet Hisarcık atık barajındaki kolemanitin tane boyutuna göre tenör dağılımı

ELEK BOYUTU	MİKTAR (%)	K.E.A. (%)	K.E.Ü. (%)	B ₂ O ₃ (%)	As (ppm)
+3.15 mm	5,90	100,00	5,90	35,80	1320
-3.15mm+2.00 mm	5,41	94,10	11,31	35,23	870
-2.00 mm+0.315 µm	18,63	88,69	29,94	39,09	1160
-0.315 µm +0.112 µm	20,48	70,06	50,42	27,99	2220
-0.112 µm +0.045 µm	8,78	49,58	59,20	23,59	2375
-0.045 µm	40,80	40,80	100,00	11,11	2635
TOPLAM	100,00			23,60	2080



Şekil 5.4. Numunenin tane boyutu dağılımı ve tenör değişimi

Deneylerde kullanılan atık numunesinin minerolojik analizi Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği laboratuvarında bulunan RİGAKU marka XRD cihazından elde edilen piklerden elde edilmiştir.

Deneylerde kullanılan -3 mm Emet Kolemanit atık numunesinden elde edilen XRD pikleri Şekil 5.2.'de gösterilmektedir. XRD sonuçlarından atık numunesinde kolemanit, kalsit, illit, kuvars, dolomit, muskovit, mika ve içerisinde Fe ve Ti bulunduran Yimenjit (K(Cr, Ti, Fe, Mg)₁₂ O₁₉ minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. XRD pikleri atık numunede smektit kil grubundan illit ve bu kil grubunun kaynağı olan muskovit ve mika minerallerini göstermektedir.

Bölgenin jeolojisini çalışın Helvacı (2004) Emet bölgesindeki bor yataklarının varlığını şu şekilde açıklamaktadır; “Emet bölgesi Tersiyer istif, Paleozoyik yaşlı mermer, mikaşist, kalkışist ve kloritşist gibi metamorfik kayalar üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Bu bölgedeki istif alttan üste doğru (Çizelge 5.3.) şu birimlerden oluşmaktadır;

Çizelge 5.3. Hisarcık Bölgesinin Jeolojisi

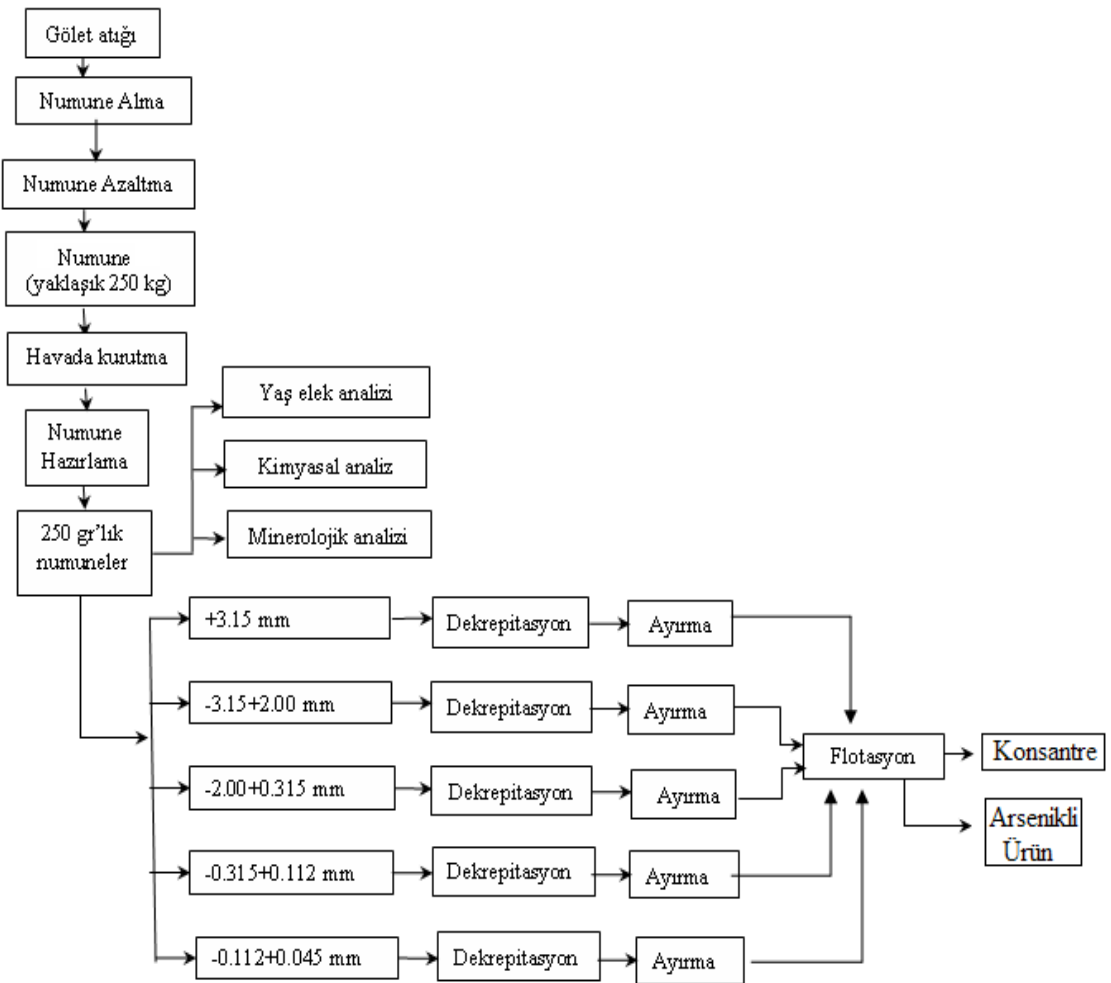
SERİ NO	OLUŞUM BİRİMLERİ
1	Çakıl taşı ve kumtaşı
2	Marn ve tuf mercekleri içeren ince katmanlı alt kireçtaşı
3	Ortaç ve asit volkanitler, tuf ve aglomeralar
4	Kömür ve jibs bantları içeren çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşından oluşan kırmızı birim
5	Borat yataklarını içeren kıltaşı, tuf, tüfit ve marn
6	Kıltaşı, marn ve çört mercekleri içeren üst kireçtaşı
7	Bazalt

Kolemanit numunesinin dekrepitasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yapılan dekrepitasyon testleri Protherm PLF 110/6 laboratuvar tipte hassas sıcaklık ayarı yapılabilen fırında gerçekleştirilmiştir. Numune torbalarında daha önce 250’şer gr hazırlanmış numuneler +3.15 mm, -3.15+2.00mm, -2.00+0.315, -0.315+0.112mm ve -0.112+0.045mm boyutlarında 5 ayrı boyutta dekrepitasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Dekrepitasyon işlemi demir-krom kaplarda üzeri açık olarak farklı sıcaklık ve sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kalsine olan numuneler fırından çıkartıldıktan sonra soğumaya bırakılmış ve tartılmıştır. Kabın içindeki kalsine numunenin topaklanmış olduğu görülmüştür. Bu nedenle kalsine numune elle ve merdaneyle ezilmek suretiyle ufalanmıştır. Son aşamada ise her malzeme kendi elek aralığından geçirilerek analizleri yapılmıştır.

Dekrepitasyon işlemi 350-400-450-500-550-600 °C sıcaklıklarda ve 5-15-30-45-60 dakikalık dekrepitasyon sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Fırın öncelikle istenen sıcaklığa getirilmiş ve numuneler daha sonra fırına yerleştirilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

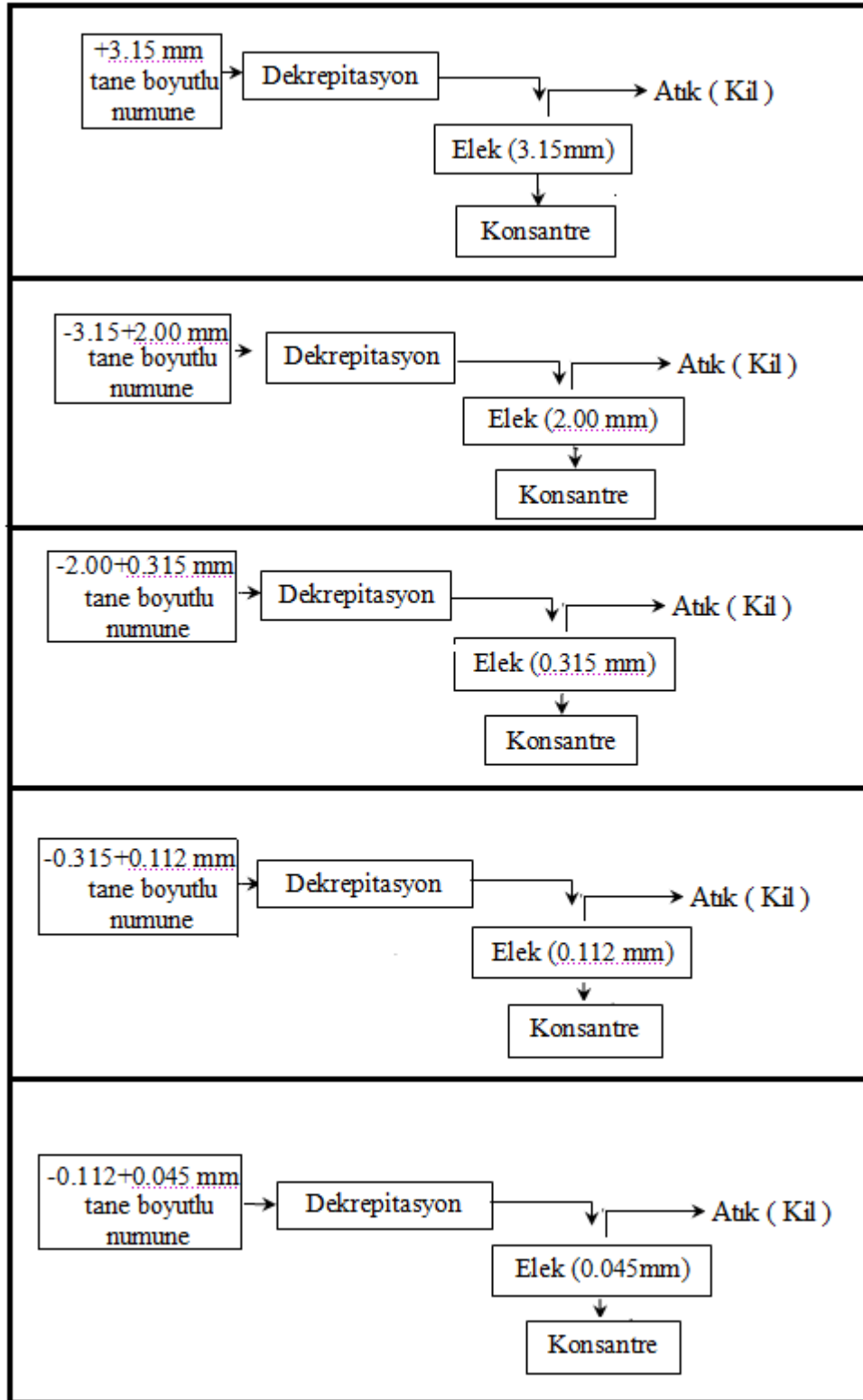
Dekrepitasyon deneyleri 5 farklı boyutta gerçekleştirilmiştir. Dekrepitasyon işlemlerinde dekrepitasyon sıcaklığı ve dekrepitasyon süresi tespit edilmiştir. Kalsine olan malzeme daha sonra soğutulularak kendi elek aralığında elemeye tabii tutularak Kalsine ve atık ürünler elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda takip edilen yol Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Deneysel Çalışmalar Akım Şeması

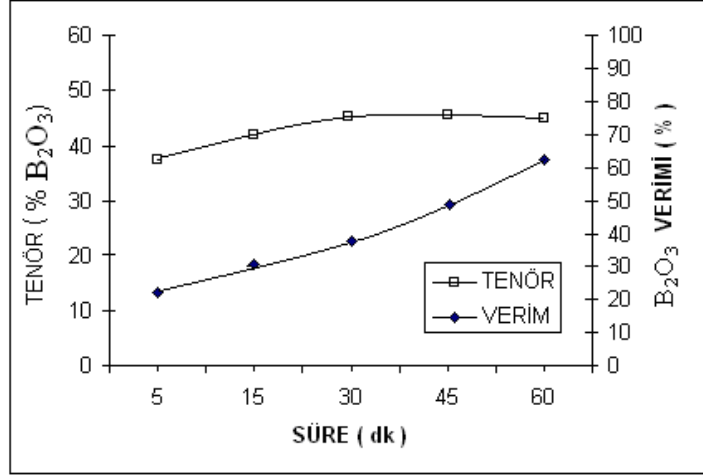
6.1. Dekrepitasyon Deneyleri

Dekrepitasyon deneylerinde belirlenen parametreler eşliğinde her elek serisi için ayrı ayrı sıcaklık ve sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık olarak 350-400-450-500-550-600 °C ve sürelerde ise 5-15-30-45-60 dakikalık zaman aralıkları kullanılmıştır. Dekrepitasyon esnasında fırına konulan malzemenin kabı fırına tam uyumlu bir şekilde dizayn edildiği için herhangi bir numune kaybı söz konusu olmayacağından kabın üzerinin kapatılmasına gerek duyulmamış ve hatta kap içerisine konulan malzemenin daha iyi bir şekilde kalsine olacağı düşünülmüştür. Kalsinasyon sonrası fırın açıldığında kütlece büyük olan parçaların tabanda, hafif ve ince olanların ise üstte birikerek sınıflandığı gözlenmiştir. Bu durum, dehidrasyon esnasında kolemanitin bünyesindeki kristal suyun uzaklaşırken patladığını, ısı ile agrega olan kilerin ise altta biriktiğini ve bu yolla tane sınıflamasının olduğunu göstermektedir. Ayrıca kalsine ürün içerisinde kolemanit tanelerinin beyaz renkte, kilerin ise griden kahverengine kadar değiştiği görülmektedir. Eğer bu boyutta renk farklılığına göre bir ayırım mümkün olsaydı, beyaz renkte kalsine kolemanit ve gri renkte agrega kil tanelerinin birbirinden ayrılması çok kolay olurdu. Dekrepitasyon deneylerine ait akım şeması aşağıda verilmiştir.



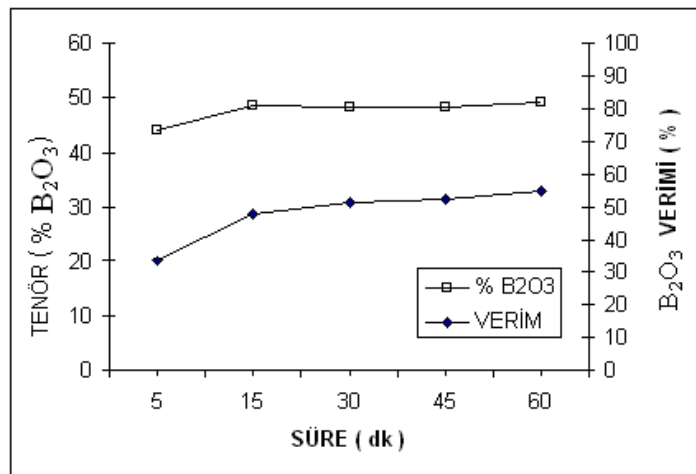
Şekil 6.2. Dekrepitasyon Deneyleri Akım Şeması

6.1.1. +3.15 mm. Elek Boyutunun Kalsinasyon Deneyleri



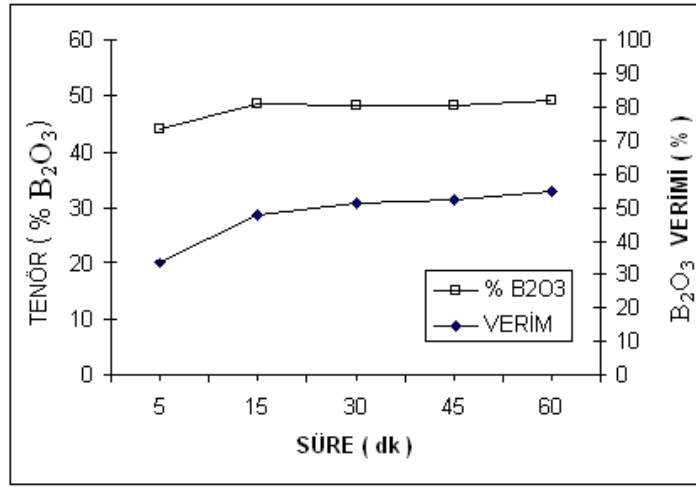
Şekil 6.3. +3.15 mm tane boyutlu numunenin 350 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.3.'den görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 37,39 B₂O₃ % 22,19 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 42,13 B₂O₃ % 30,75 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 35,28 B₂O₃ % 32,29 verimle, 45 dakika sonunda ise % 45,67 B₂O₃ % 57,05 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 48,39 B₂O₃ % 62,65 verim ile kazanılmıştır. Bu grupta yapılan deneylerde en uygun süre 60 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir.



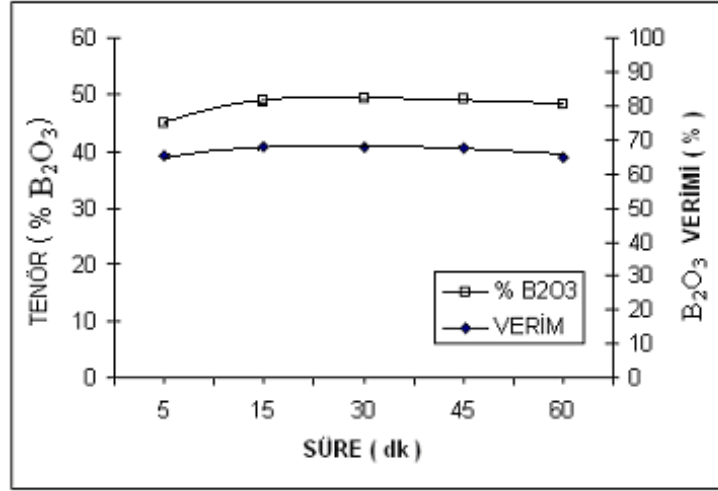
Şekil 6.4. +3.15 mm tane boyutlu numunenin 400 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.4.'den görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 44,23 B₂O₃ % 33,28 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 48,66 B₂O₃ % 47,99 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 48,27 B₂O₃ % 51,33 verimle, 45 dakika sonunda ise % 48,22 B₂O₃ % 52,47 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 49,16 B₂O₃ % 55,13 verim ile kazanılmıştır. Bu grupta yapılan deneylerde en uygun süre 60 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir.



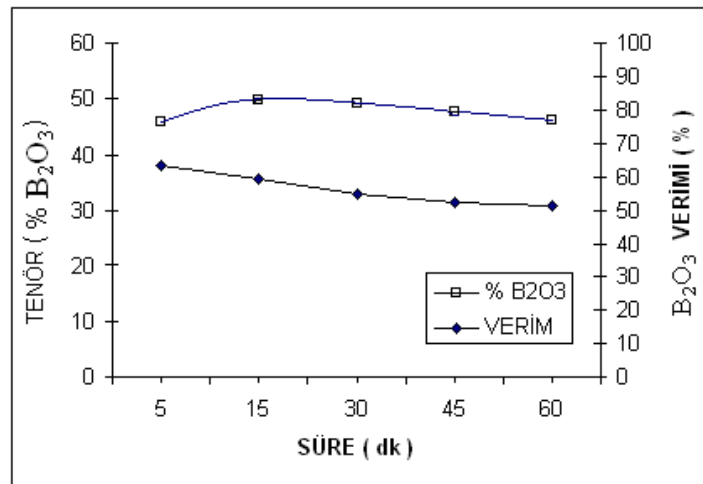
Şekil 6.5. +3.15 mm tane boyutlu numunenin 450 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.5.'den görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 43,82 B₂O₃ % 38,79 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 49,72 B₂O₃ % 53,86 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 48,24 B₂O₃ % 51,46 verimle, 45 dakika sonunda ise % 48,28 B₂O₃ % 50,54 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 49,94 B₂O₃ % 57,43 verim ile kazanılmıştır. Bu grupta yapılan deneylerde en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir. Çünkü süre ne kadar artarsa B₂O₃ değişiminde önemli derecede değişim olmamıştır.



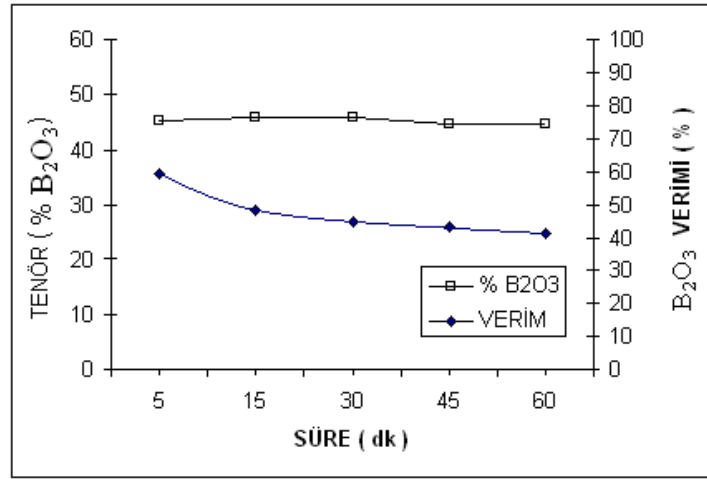
Şekil 6.6. +3.15 mm tane boyutlu numunenin 500 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.6.'dan görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 45,13 B₂O₃ % 65,60 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 50,14 B₂O₃ % 70,52 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 48,62 B₂O₃ % 68,07 verimle, 45 dakika sonunda ise % 47,16 B₂O₃ % 62,90 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 48,25 B₂O₃ % 65,18 verim ile kazanılmıştır. Bu grupta yapılan deneylerde en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir. Çünkü en kısa sürede en yüksek verim bu süre sonunda elde edilmiştir.



Şekil 6.7. +3.15 mm tane boyutlu numunenin 550 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.7.'den görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 45,84 B₂O₃ % 63,64 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 52,13 B₂O₃ % 59,31 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 49,28 B₂O₃ % 54,79 verimle, 45 dakika sonunda ise % 48,26 B₂O₃ % 52,41 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 46,13 B₂O₃ % 51,61 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir. 5 dakikalık zaman dilimindeki kalsine ürünün verimi her ne kadar diğerlerine nazaran fazla olsa da 15 dakikadaki kalsinasyon sonucunun B₂O₃ tenörü daha yüksek olarak elde edilmiştir.

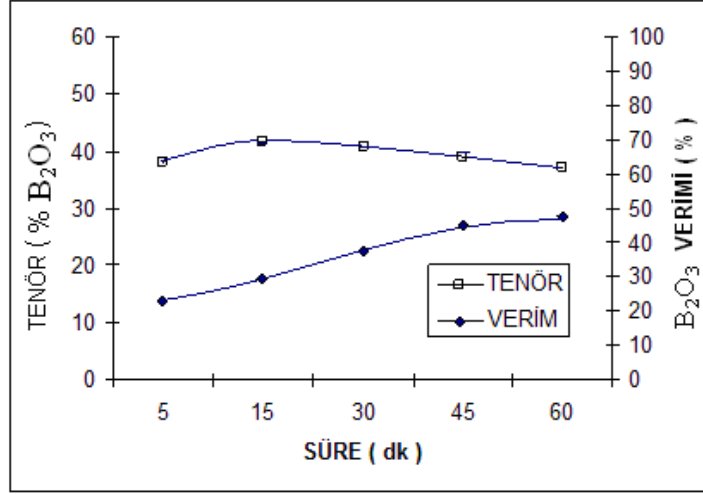


Şekil 6.8. +3.15 mm tane boyutlu numunenin 600 °C'deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.8.'den görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 45,26 B₂O₃ % 59,34 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 45,97 B₂O₃ % 44,47 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 45,82 B₂O₃ % 45,25 verimle, 45 dakika sonunda ise % 44,76 B₂O₃ % 43,46 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 44,79 B₂O₃ % 41,71 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir.

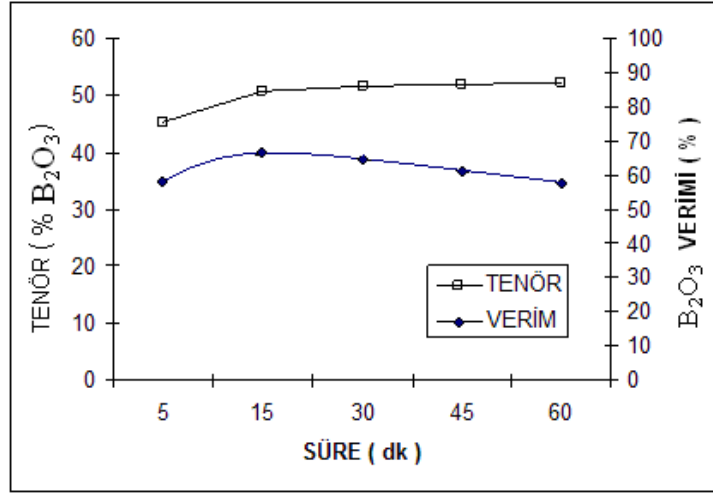
Sonuç olarak +3.15 elek serisindeki optimum sıcaklık ve süreler 500 °C ile 15 dakikalık zaman diliminde kalsine konsantr % 50,14 B₂O₃ ve % 70,52 kazanma verimi ile en uygun parametre olarak belirlenmiştir.

6.1.2. -3.15+2.00 mm. Elek Boyutunun Kalsinasyon Deneyleri



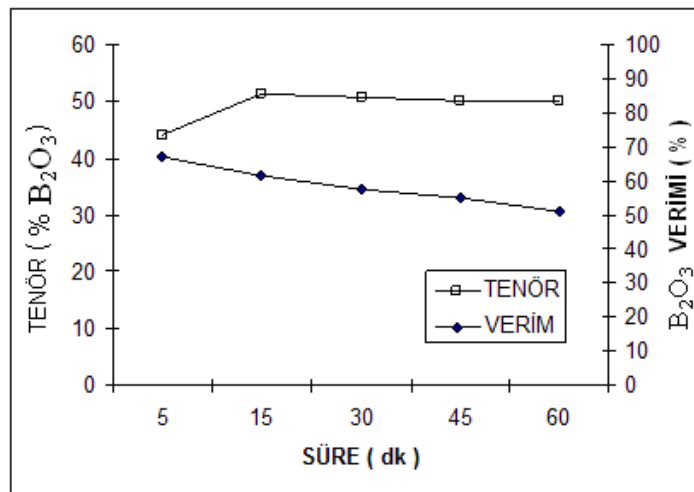
Şekil 6.9. -3.15+2.00 mm tane boyutlu numunenin 350 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.9.'da görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 38,16 B₂O₃ % 23,00 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 42,24 B₂O₃ % 26,57 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 40,76 B₂O₃ % 37,68 verimle, 45 dakika sonunda ise % 38,17 B₂O₃ % 48,46 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 37,14 B₂O₃ % 47,28 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir.



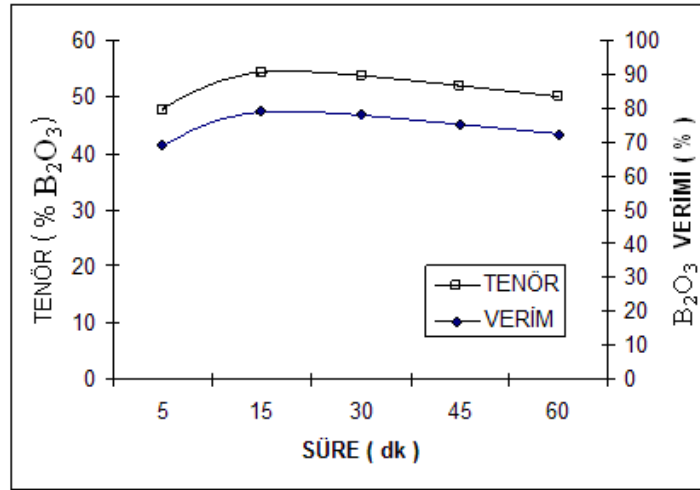
Şekil 6.10. -3.15+2.00 mm tane boyutlu numunenin 400 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.10.'da görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 45,17 B₂O₃ % 58,07 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 50,66 B₂O₃ % 71,56 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 51,74 B₂O₃ % 63,69 verimle, 45 dakika sonunda ise % 51,88 B₂O₃ % 60,84 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 52,16 B₂O₃ % 57,55 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubundaki en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir. Her ne kadar diğer süre zarflarında tenör miktarı hemen hemen aynı olsa da 15 dakikalık zaman diliminde ki verim daha yüksek çıktığından en uygun parametre olarak seçilmiştir.



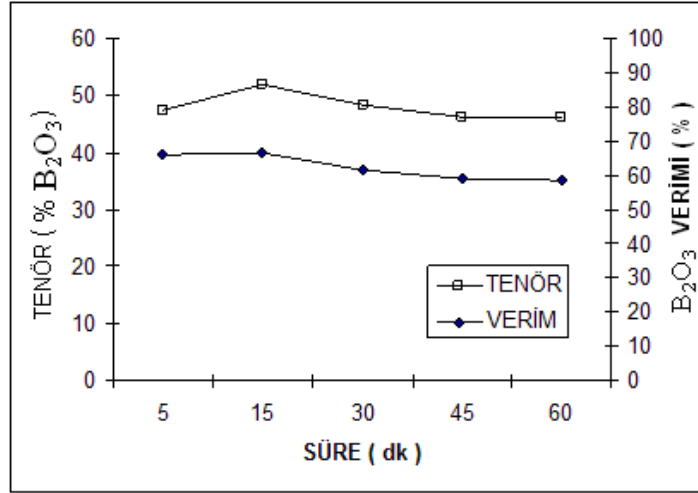
Şekil 6.11. -3.15+2.00 mm tane boyutlu numunenin 450 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.11.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 44,24 B₂O₃ % 67,17 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 51,18 B₂O₃ % 61,72 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 50,67 B₂O₃ % 57,42 verimle, 45 dakika sonunda ise % 50,06 B₂O₃ % 55,20 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 50,13 B₂O₃ % 51,12 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir. 5 dakika sonundaki kalsinasyon süresi sonrasında verim her ne kadar yüksek olsa da tenör ve süre bakımından optimum şartı 15 dakikalık zaman diliminde elde edilmiştir.



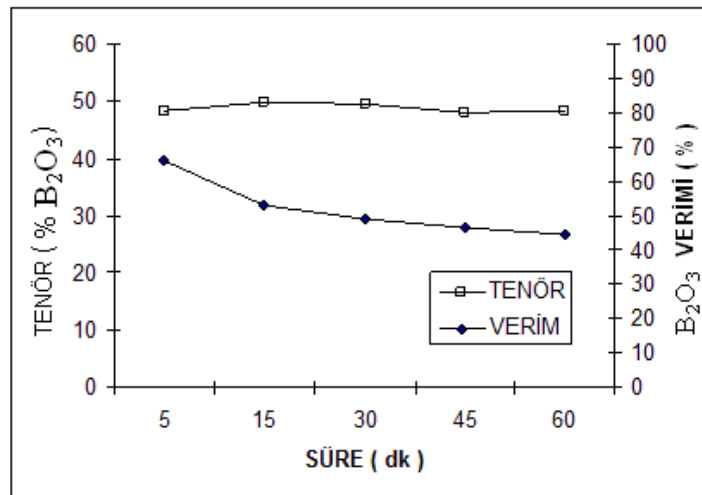
Şekil 6.12. -3.15+2.00 mm tane boyutlu numunenin 500 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.12.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 47,63 B₂O₃ % 69,10 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 55,68 B₂O₃ % 84,23 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 52,83 B₂O₃ % 78,92 verimle, 45 dakika sonunda ise % 50,16 B₂O₃ % 71,92 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 50,02 B₂O₃ % 72,09 verim ile kazanılmıştır. Bu grupta ki en uygun süre, verim ve tenör bakımından 15 dakikalık zaman birimi uygun görülmüştür.



Şekil 6.13. -3.15+2.00 mm tane boyutlu numunenin 550 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.13.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 47,36 B₂O₃ % 66,06 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 51,88 B₂O₃ % 66,45 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 48,23 B₂O₃ % 61,39 verimle, 45 dakika sonunda ise % 46,17 B₂O₃ % 59,03 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 46,23 B₂O₃ % 58,40 verim ile kazanılmıştır. Bu seride ki en uygun süre, verim ve tenör bakımından 15 dakikalık zaman birimi uygun görülmüştür.

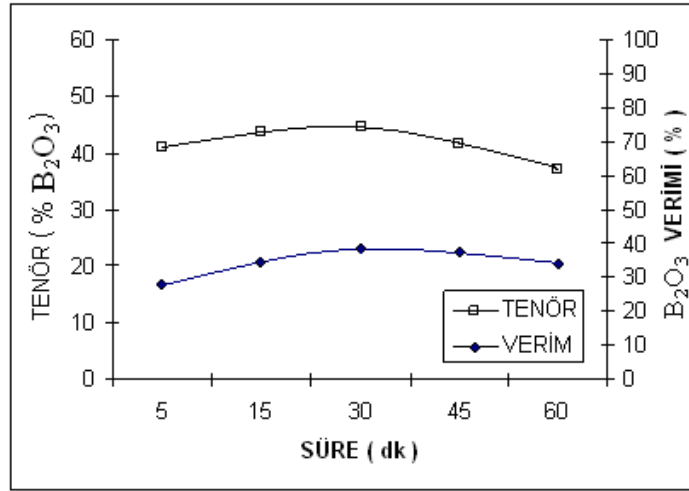


Şekil 6.14. -3.15+2.00 mm tane boyutlu numunenin 600 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.14.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 48,27 B₂O₃ % 66,02 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 49,71 B₂O₃ % 52,89 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 49,36 B₂O₃ % 49,21 verimle, 45 dakika sonunda ise % 48,12 B₂O₃ % 46,52 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 48,23 B₂O₃ % 44,64 verim ile kazanılmıştır. Bu seride ki en uygun süre 15 dakika sonunda kalsine olan malzeme optimum olarak belirlenmiştir. 5 dakika sonundaki kalsinasyon süresi sonrasında verim ne kadar yüksek olsa da tenör ve süre bakımından optimum şartı 15 dakikalık zaman diliminde yakalanmıştır.

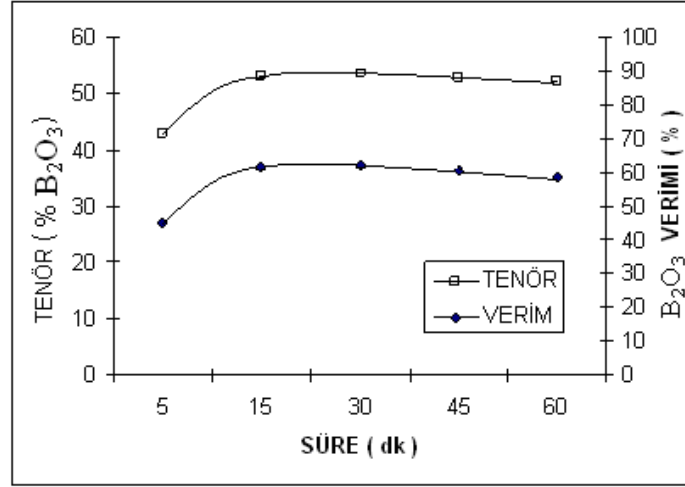
Sonuç olarak -3.15+2.00 mm elek serisindeki optimum sıcaklık ve süreler 500 °C ile 15 dakikalık zaman diliminde kalsine konsantre % 55,68 B₂O₃ ve % 84,23 kazanma verimi ile en uygun parametre olarak belirlenmiştir.

6.1.3. -2.00+0.315 mm. Elek Boyutunun Kalsinasyon Deneyleeri



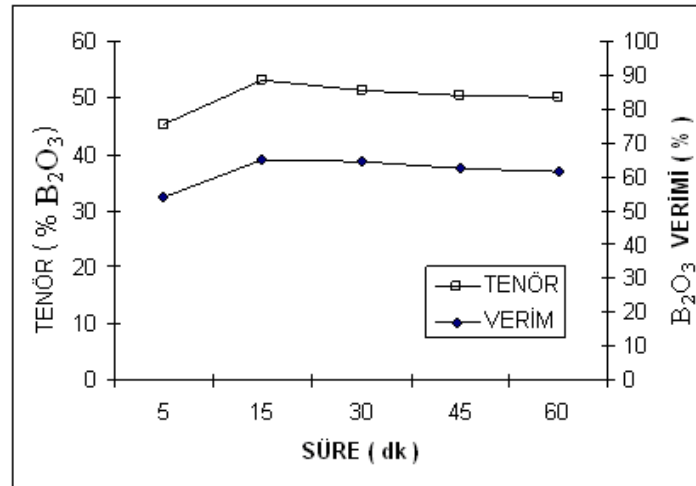
Şekil 6.15. -2.00+0.315 mm tane boyutlu numunenin 350 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.15.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 41,19 B₂O₃ % 28,04 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 42,76 B₂O₃ % 32,97 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 45,23 B₂O₃ % 39,55 verimle, 45 dakika sonunda ise % 38,45 B₂O₃ % 35,25 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 37,14 B₂O₃ % 33,88 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki en uygun şartı verimin ve tenör değerinin yüksek olmasından dolayı 30 dakikalık zaman diliminde yapılan kalsine deneyi uygun görülmüştür.



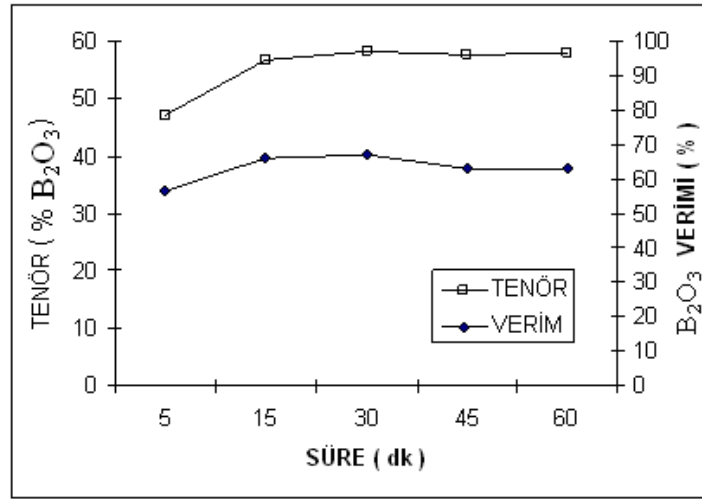
Şekil 6.16. -2.00+0.315 mm tane boyutlu numunenin 400 °C'deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.16.'da görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 42,84 B₂O₃ % 44,85 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 53,27 B₂O₃ % 62,34 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 53,16 B₂O₃ % 62,31 verimle, 45 dakika sonunda ise % 52,78 B₂O₃ % 59,45 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 52,16 B₂O₃ % 58,53 verim ile kazanılmıştır. Bu grupta ki optimum şart 15 dakika süre sonunda elde edilmiştir.



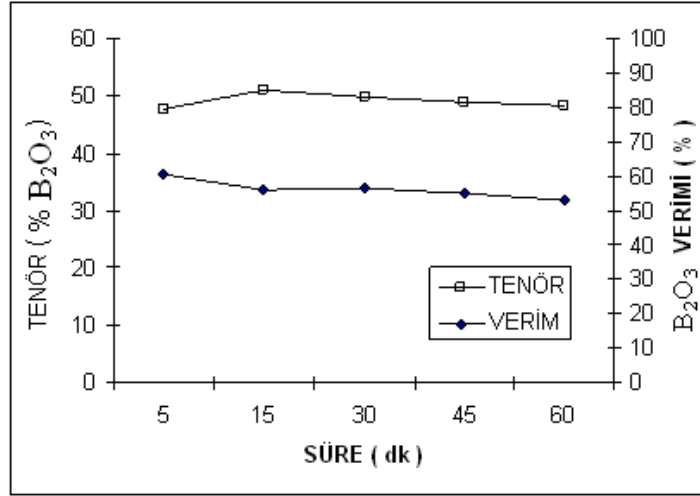
Şekil 6.17. -2.00+0.315 mm tane boyutlu numunenin 450 °C'deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.17.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 45,38 B₂O₃ % 54,14 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 53,24 B₂O₃ % 65,09 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 51,18 B₂O₃ % 64,72 verimle, 45 dakika sonunda ise % 50,27 B₂O₃ % 62,66 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 50,03, B₂O₃ % 61,62 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki en uygun şartı 15 dakikalık süre sonunda en iyi verim elde edildiği için seçilmiştir.



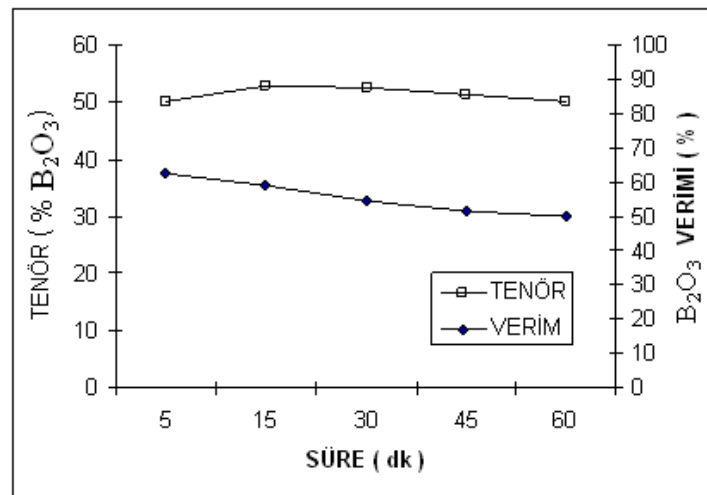
Şekil 6.18. -2.00+0.315 mm tane boyutlu numunenin 500 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.18.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 47,24 B₂O₃ % 56,36 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 56,73 B₂O₃ % 66,05 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 58,24 B₂O₃ % 67,09 verimle, 45 dakika sonunda ise % 57,63 B₂O₃ % 63,24 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 57,89 B₂O₃ % 62,87 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda tenör ve verim bakımından yüksek değerler veren 30 dakikalık deney aralığımız optimum sonuç olarak seçilmiştir.



Şekil 6.19. -2.00+0.315 mm tane boyutlu numunenin 550 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.19.'da görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 47,57 B₂O₃ % 60,36 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 51,13 B₂O₃ % 56,25 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 49,66 B₂O₃ % 56,57 verimle, 45 dakika sonunda ise % 48,78 B₂O₃ % 54,81 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 48,23 B₂O₃ % 53,14 verim ile kazanılmıştır. Bu seride ki en ideal şartı 15 dakika süre sonunda ki deney ile elde edilmiştir.

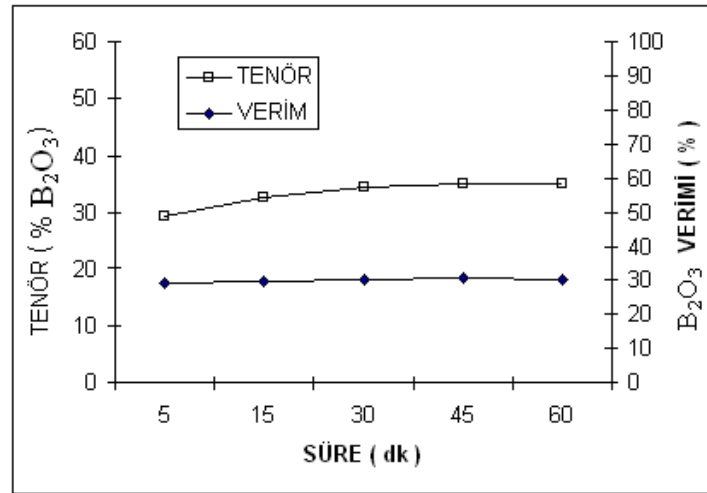


Şekil 6.20. -2.00+0.315 mm tane boyutlu numunenin 600 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.20.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 50,18 B₂O₃ % 62,52 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 52,76 B₂O₃ % 58,85 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 52,41 B₂O₃ % 54,55 verimle, 45 dakika sonunda ise % 51,18 B₂O₃ % 51,73 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 50,09 B₂O₃ % 50,17 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubun da zaman aralığı arttığında tenörlerin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Ancak her ne kadar tenörler birbirlerine yakın olsalar da azalan verim deney parametrelerimizi etkilediğinden en ideal durum 15 dakikalık süre sonunda elde edilmiştir.

Sonuç olarak -2.00+0.315 mm elek serisindeki optimum sıcaklık ve süreler 500 °C ile 30 dakikalık zaman diliminde kalsine konsantre % 58,24 B₂O₃ tenör ve % 67,09 kazanma verimi ile en uygun parametre olarak belirlenmiştir.

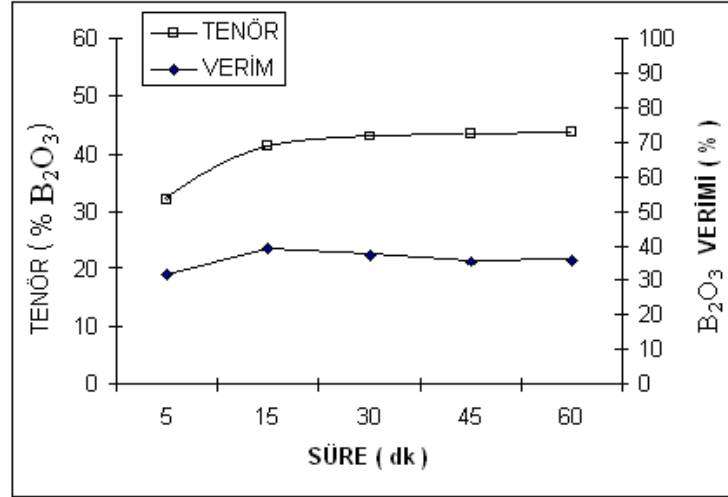
6.1.4. -0.315+0.112 mm. Elek Fraksiyonunun Kalsinasyon Deneyleri



Şekil 6.21. -0.315+0.112 mm tane boyutlu numunenin 350 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

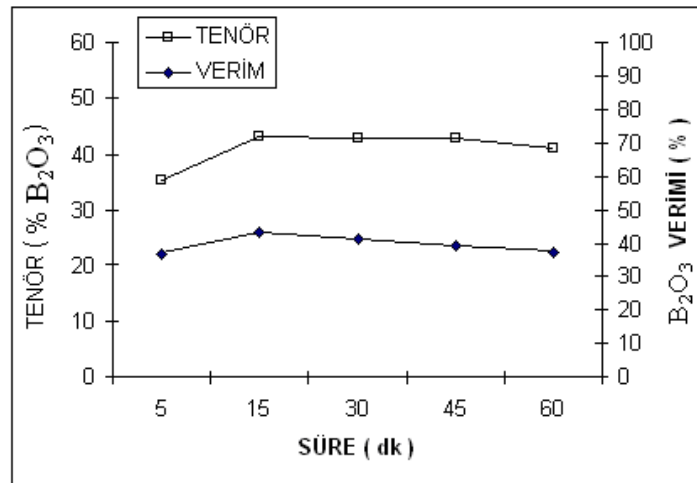
Şekil 6.21.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 29,46 B₂O₃ % 29,10 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 32,58 B₂O₃ % 29,55 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 34,57 B₂O₃ % 30,13 verimle, 45 dakika sonunda ise % 35,23 B₂O₃ % 30,37 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 35,16 B₂O₃ % 30,08 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda kalsine olan malzemenin boyutu küçüldükçe dekrepitasyon zamanının arttığı gözlemlenmiştir. Çünkü numunenin tane boyutu küçüldüğünden dolayı içerisindeki kristal suyu genişlemeyerek mısır tanesinin patlaması gibi bir

patlama olayı gerçekleşmemiştir.. Her ne kadar tenör ve verimler birbirine yakın olsa da en uygun parametrenin 30 dakikalık süre sonunda elde edildiği görülmüştür.



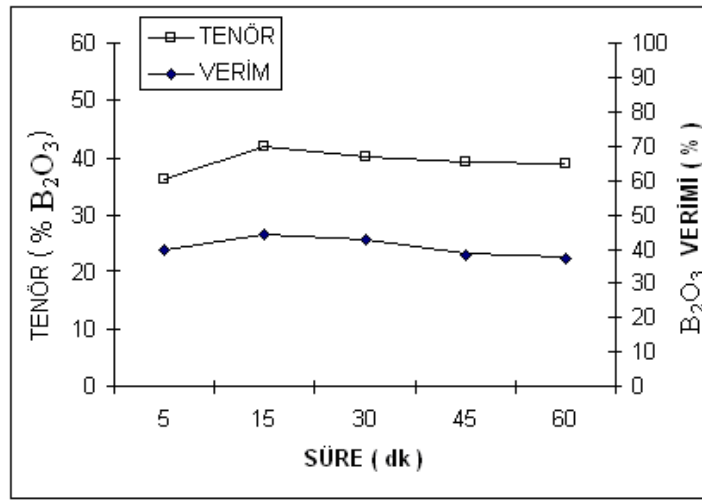
Şekil 6.22. -0.315+0.112 mm tane boyutlu numunenin 400 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.22.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 32,18 B₂O₃ % 31,39 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 42,85 B₂O₃ % 39,27 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 42,61 B₂O₃ % 37,42 verimle, 45 dakika sonunda ise % 42,66 B₂O₃ % 35,44 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 43,71 B₂O₃ % 36,22 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda optimum parametrelerin 15 dakikalık deney sonunda elde edildiği görülmüştür.



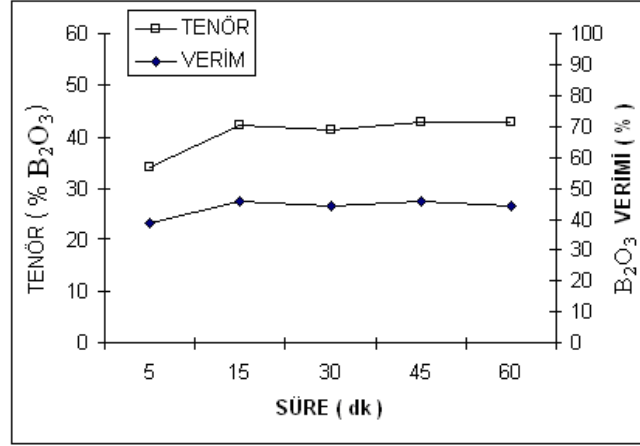
Şekil 6.23. -0.315+0.112 mm tane boyutlu numunenin 450 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.23.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 35,41 B₂O₃ % 37,08 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 43,17 B₂O₃ % 43,46 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 42,86 B₂O₃ % 41,72 verimle, 45 dakika sonunda ise % 42,80 B₂O₃ % 39,52 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 41,17 B₂O₃ % 37,64 verim ile kazanılmıştır. Deney yaptığımız malzemenin fraksiyonu incelendiğinden dolayı kalsine konsantre kazanımının verimi azalmış olsa bile bu deney sonunda en iyi koşul 15 dakikalık süre sonunda elde edilmiştir.



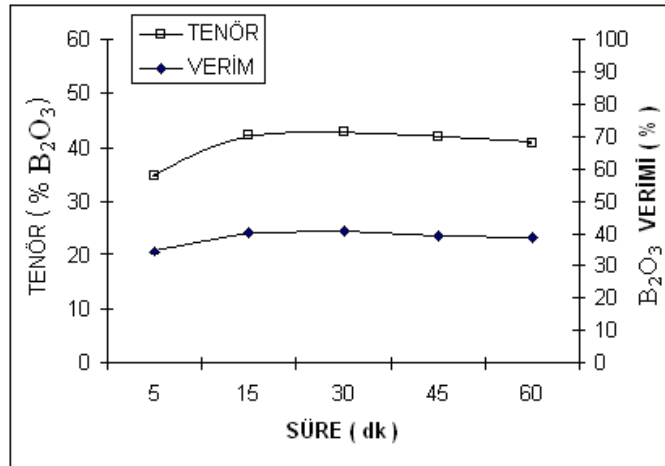
Şekil 6.24. -0.315+0.112 mm tane boyutlu numunenin 500 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.24.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 36,18 B₂O₃ % 39,84 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 41,89 B₂O₃ % 44,59 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 40,34 B₂O₃ % 42,78 verimle, 45 dakika sonunda ise % 39,27 B₂O₃ % 38,62 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 39,10 B₂O₃ % 37,29 verim ile kazanılmıştır. Bu deney koşullarında en iyi sonucu bize 15 dakikalık süre sonunda elde ettiğimiz parametreler neticelendirilmiştir.



Şekil 6.25. -0.315+0.112 mm tane boyutlu numunenin 550 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.25.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 34,28 B₂O₃ % 38,98 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 42,18 B₂O₃ % 46,11 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 41,27 B₂O₃ % 44,39 verimle, 45 dakika sonunda ise % 42,82 B₂O₃ % 45,91 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 42,76 B₂O₃ % 44,41 verim ile kazanılmıştır. Her ne kadar 45 dakikalık süre zarfında yapılan deneyde verim ve tenör yüksek olsa da enerji tasarrufu açısından, tenör ve de verim bakımından 15 dakikalık zaman diliminin daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

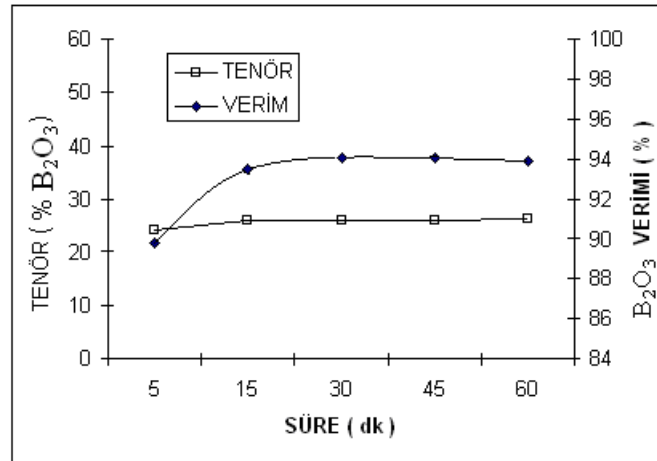


Şekil 6.26. -0.315+0.112 mm tane boyutlu numunenin 600 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.26.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 34,76 B₂O₃ % 34,31 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 42,26 B₂O₃ % 40,74 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 42,83 B₂O₃ % 41,12 verimle, 45 dakika sonunda ise % 41,06 B₂O₃ % 39,33 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 40,82 B₂O₃ % 38,79 verim ile kazanılmıştır. En ideal sonuç 30 dakikalık süre sonunda elde edilmiştir.

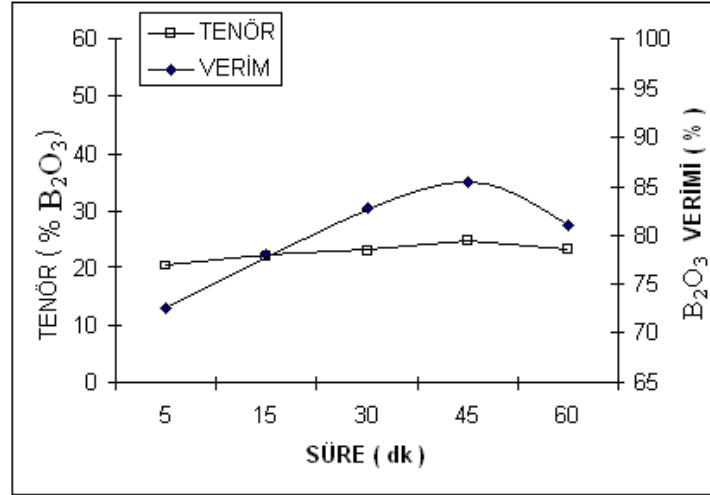
Sonuç olarak, -0.315+0.112 mm elek serisindeki optimum sıcaklık ve süreler 550 °C ile 15 dakikalık zaman diliminde Kalsine konsantre % 42,18 B₂O₃ ve % 46,11 kazanma verimi ile en uygun parametre olarak belirlenmiştir.

6.1.5. -0.112+0.045 mm. Elek Boyutunun Kalsinasyon Deneyleri



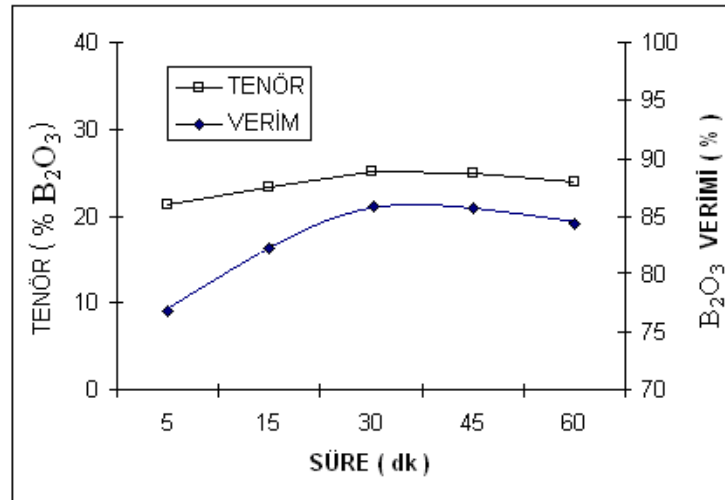
Şekil 6.27. -0.112+0.045 mm tane boyutlu numunenin 350 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.27.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 24,22 B₂O₃ % 89,82 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 26,18 B₂O₃ % 93,75 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 26,21 B₂O₃ % 94,39 verimle, 45 dakika sonunda ise % 26,12 B₂O₃ % 94,03 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 26,41 B₂O₃ % 93,90 verim ile kazanılmıştır. Daha önceki elek serilerinde yapılan deneylerde kalsine olan malzeme fırından çıkarıldıktan sonra kendi elek aralığında elendiğinde elek üstü atık elek altı ise kalsine konsantre olmaktadır. Ancak kalsine olan malzeme 0.045 mm'lik elekten geçirildiğinde elek üstü kalsine konsantre elek altı ise atık olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Çünkü deneyde kullanılan numunenin elek aralığı ufaldığından dolayı ince ebatlarda kalsinasyon yapılması güçleşmektedir. Bu nedenle -0.112+0.045 mm elek serisinde 350 °C yapılan deneylerdeki optimum değerleri veren süre 15 dakika fırında bekletilen malzeme olmuştur.



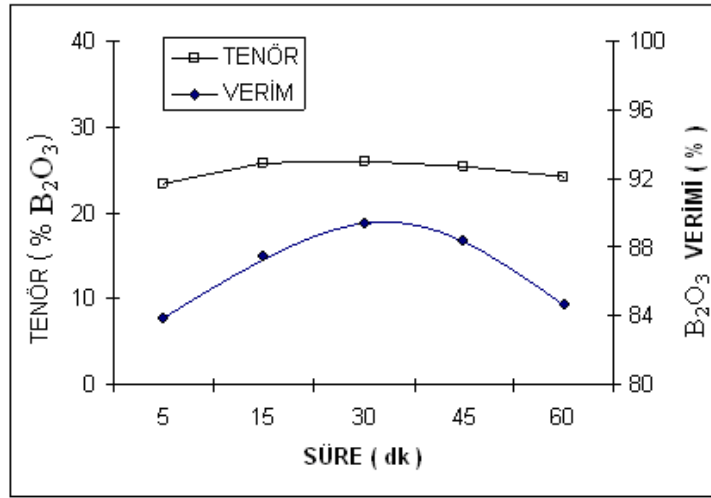
Şekil 6.28. -0.112+0.045 mm tane boyutlu numunenin 400 °C'deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.28.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 20,36 B₂O₃ % 72,60 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 22,19 B₂O₃ % 78,12 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 23,11 B₂O₃ % 80,88 verimle, 45 dakika sonunda ise % 24,76 B₂O₃ % 86,94 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 23,28 B₂O₃ % 81,19 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki optimum sonuç 45 dakikalık zaman dilimi içerisinde fırında kalsine olan malzeme olmuştur.



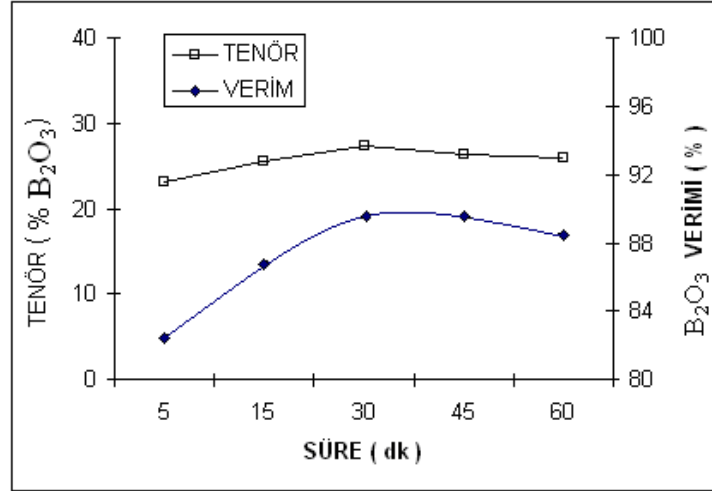
Şekil 6.29. -0.112+0.045 mm tane boyutlu numunenin 450 °C'deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.29.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 21,47 B₂O₃ % 76,79 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 23,46 B₂O₃ % 81,11 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 25,18 B₂O₃ % 87,06 verimle, 45 dakika sonunda ise % 25,07 B₂O₃ % 86,63 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 24,06 B₂O₃ % 84,40 verim ile kazanılmıştır. Bu deney grubunda ki optimum sonuç 30 dakikalık süre sonundaki malzeme ile sağlanmıştır.



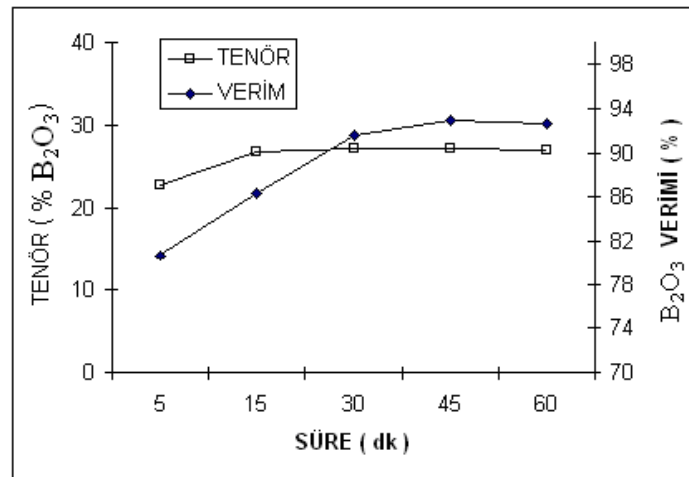
Şekil 6.30. -0.112+0.045 mm tane boyutlu numunenin 500 °C'deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.30.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 23,49 B₂O₃ % 83,88 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 25,82 B₂O₃ % 88,91 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 26,06 B₂O₃ % 89,80 verimle, 45 dakika sonunda ise % 25,45 B₂O₃ % 89,70 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 24,11 B₂O₃ % 84,69 verim ile kazanılmıştır. Deney sonrasında fırından çıkan malzemenin en iyi sonucu 30 dakika fırında bekleme süresi ile sağlanmıştır.



Şekil 6.31. -0.112+0.045 mm tane boyutlu numunenin 550 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.31.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 23,21 B₂O₃ % 82,36 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 25,67 B₂O₃ % 87,43 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 27,36 B₂O₃ % 90,08 verimle, 45 dakika sonunda ise % 26,45 B₂O₃ % 90,15 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 26,07 B₂O₃ % 88,54 verim ile kazanılmıştır. Bu deney sonrasındaki optimum sonuç 30 dakikalık bekleme zamanı ile ideal sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.32. -0.112+0.045 mm tane boyutlu numunenin 600 °C deki kalsinasyon deney sonuçları

Şekil 6.32.'de görüldüğü gibi söz konusu sıcaklıkta 5 dakikalık kalsinasyon çalışması sonucunda % 22,71 B₂O₃ % 80,64 verim ile, 15 dakikalık süre sonunda % 26,81 B₂O₃ % 90,12 verimle, 30 dakikalık kalsinasyon süresinde % 27,13 B₂O₃ % 91,57 verimle, 45 dakika sonunda ise % 27,11 B₂O₃ % 92,94 verim ile ve 60 dakikalık kalsinasyon sonucunda ise % 26,97 B₂O₃ % 92,66 verim ile kazanılmıştır. Bu deney sonrasındaki optimum sonuç 30 dakikalık bekleme zamanı ile elde edilmiştir.

Sonuç olarak -0.112+0.045 mm elek serisindeki optimum sıcaklık ve süreler 350 °C ile 15 dakikalık zaman diliminde Kalsine konsantre % 26,18 B₂O₃ ve % 93,75 kazanma verimi ile en uygun parametre olarak belirlenmiştir.

Yapılan kalsinasyon deneyleri sonucunda elde edilen optimum şartlar, kalsinasyon öncesi ve kalsinasyon sonrası değerler Çizelge 6.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Dekrepatasyon deney sonuçları

ELEK BOYUTLARI (mm)	KALSİNASYON ÖNCESİ		KALSİNASYON SONRASI					VERİM (%)	KALSİNASYON SONRASI ELDE EDİLEN OPTİMUM SONUÇ
	MİKTAR (%)	B ₂ O ₃ (%)	MİKTAR (%)			B ₂ O ₃ (%)			
			KONSANTRE	ATIK	AGIRLIK KAYBI	KONSANTRE	ATIK		
+3.15	100	35,80	50,35	25,84	23,81	50,14	2,19	70,52	500 °C 15 dk.
-3.15+2.00	100	35,23	53,30	24,07	22,63	55,68	4,73	84,23	500 °C 15 dk.
-2.00+0.315	100	39,09	45,03	33,14	21,83	58,24	6,76	67,09	500 °C 30 dk.
-0.315+0.112	100	27,99	30,60	52,94	16,46	42,18	15,36	46,11	550 °C 15 dk.
-0.112+0.045	100	23,59	84,48	6,11	9,41	26,18	11,12	93,75	350 °C 15 dk.

Yapılan kalsinasyon deneyleri sonuçlarında +3.15 mm boyutundaki numuneyi 500°C ve 15 dakika sonunda % 50,14 B₂O₃ % 70,52 verim ile kazanılmıştır. -3.15+2.00 mm elek aralığında ise 500°C ve 15 dakika sonunda % 55,68 B₂O₃ % 84,23 verim ile kazanılmıştır. -2.00+0.315 mm elek aralığında ise 500°C ve 30 dakika sonunda % 58,24 B₂O₃ % 67,09 verim ile kazanılmıştır. -0.315+0.112 mm elek aralığında ise 550°C ve 15 dakika sonunda % 42,18 B₂O₃ % 46,11 verim ile kazanılmıştır. -0.112+0.045 mm elek aralığında ise 350 °C ve 30 dakika sonunda % 26,18 B₂O₃ % 93,75 verim ile kazanılmıştır. Bu elek aralığındaki tenör miktarının çok az artmasının nedeni ise kalsinasyon sırasında killerin aralarına girmesinden dolayı B₂O₃ tenöründe düşme saptanmıştır.

Sonuç olarak 500 °C ve 15 dakika sonucunda % 55,68 B₂O₃ tenörlü konsantre % 84,23 verimle üretilmiştir.

6.2. Flotasyon Deneyleri

Daha önceden aynı bölgeden alınan numuneler üzerinde yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen ürünlerinden daha yüksek tenör ve verimli ürünler elde etmek amacıyla flotasyon deneyleri uygulanmıştır.

Kalsinasyon deneyleri sonrası elde edilen nihai sonuçlar ışığı altında bütün elek aralıkları 150 mikron altına getirilerek flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir[76]. Flotasyon deneylerinin optimum şartları daha önceki aynı numune ile yapılan çalışmalardan alınarak köpürtücü, toplayıcı ve bastırıcıların miktarları hesaplanarak iki aşamalı olarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Buna göre belirlenen arsenik ve kolemanit flotasyonlarının optimum sonuçları aşağıda verilmiştir.

Arsenik Flotasyonu İçin Gerekli Optimum Şartlar

- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200±50
- Doğal pH (8,88)
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı : Gazyağı
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 1000
- Köpürtücü Cinsi : Çamyacı
- Köpürtücü Miktarı (gr/ton) : 50
- Flotasyon Zamanı (dk) : 2

Arsenik flotasyonu için belirlenen optimum şartlar yukarıda verilmiştir. Kolemanit flotasyonunu gerçekleştirmeden önce numunedeki arsenik miktarını azaltmak amacıyla arsenik flotasyonu gerçekleştirilmiştir [76].

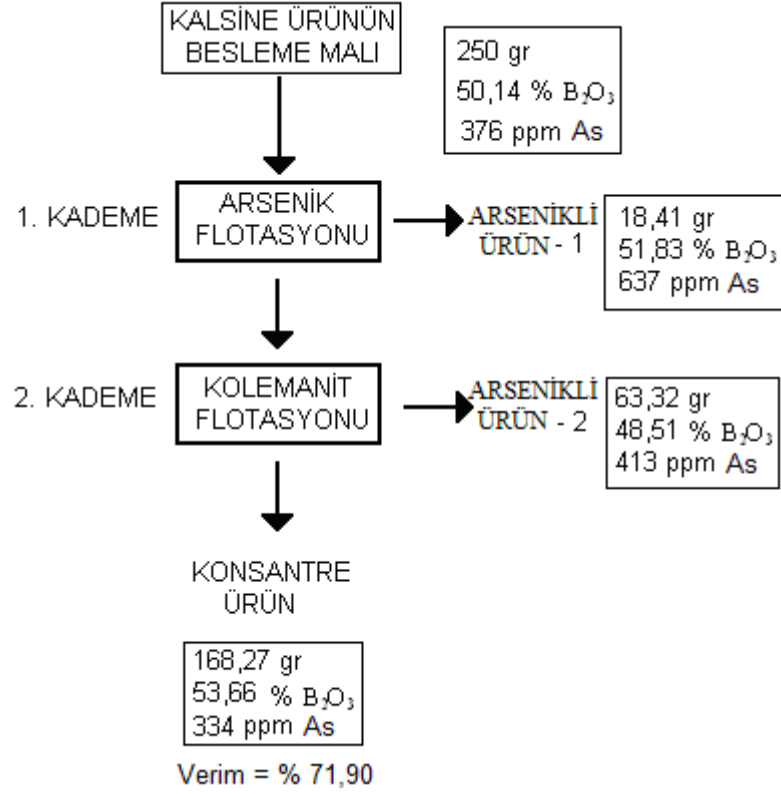
Kolemanit Flotasyonu İçin Optimum Şartlar

- Tane Boyutu (μm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1100±50
- Katı Oranı (%) : 20
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 3000
- Bastırıcı Cinsi : Nişasta
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 1000
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

Belirlenen optimum şartlar ile kolemanit flotasyonu yapılmıştır [76].

Arsenik flotasyonundan sonra (1. Kademe Flotasyon) yapılan kolemanit flotasyonunda her ne kadar tenör miktarlarında belirgin değişme olmamış gibi gözükse de arsenik miktarlarında azalma gözlemlenmiştir.

6.2.1. +3.15 mm. Elek Boyutunun Flotasyon Deneyleri

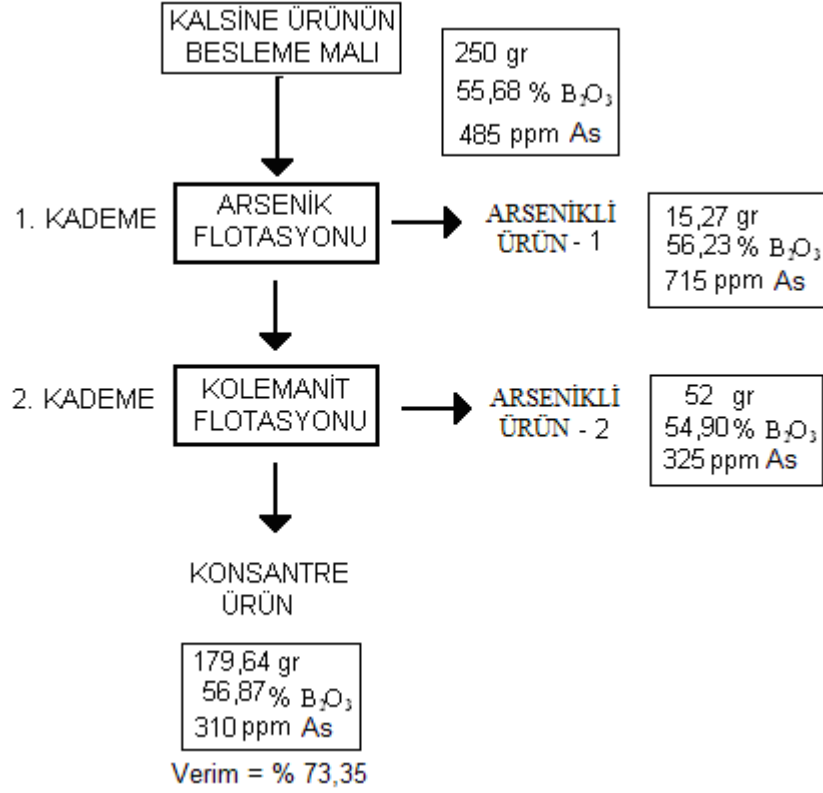


Şekil.6.33. + 3.15 mm. İle Yapılan Flotasyon Deneyi Sonuçları

Bu elek aralığına uygulanan flotasyon deneyi iki kademeli olup ilk aşamada arseniğin uzaklaştırılması planlanmıştır. Böylece ikinci kademe olarak adlandırılan kolemanit flotasyonunda daha az arsenikli malzeme elde edilmesi mümkün olmuştur. Akım şemasından da görüleceği gibi kalsine olan malzemedan sonra uygulanan flotasyon deneyinde giren malzemenin tenörü çıkan malzemelerin tenörlerine yakın olsada arsenik miktarının, azaldığı tespit edilmiştir.

Flotasyon hücresine % 50,14 B_2O_3 ve 376 ppm ile giren malzemenin arsenik flotasyonunda % 51,83 B_2O_3 ve 637 ppm ile kazanılırken, kolemanit flotasyonunda atık olarak % 48,51 B_2O_3 ve 413 ppm konsantre olarak ise % 53,66 B_2O_3 ve 334 ppm arsenikli malzeme % 71,90 verim ile kazanılmıştır.

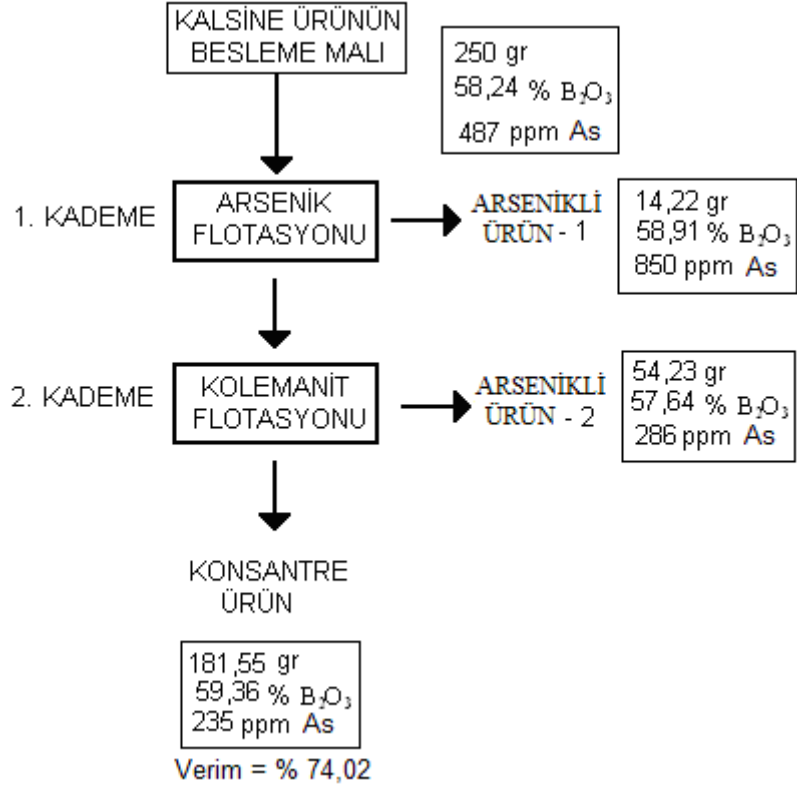
6.2.2. -3.15+2.00 mm. Elek Boyutunun Flotasyon Deneyleri



Şekil.6.34. -3.15+2.00 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları

Yapılan bu elek aralığındaki deneyde ise giren malzememizin tenörü % 55,68 B_2O_3 iken konsantre ürününün tenörü ise % 56,87 B_2O_3 , arsenik değerleri ise besleme malının 485 ppm iken konsantre ürünün 310 ppm olduğu gözlenmiştir. flotasyon verimi ise % 73,35 olmuştur. Her iki kademe de yapılan flotasyon işleminde tenör değerlerinin pek değişmemesine rağmen arsenik oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

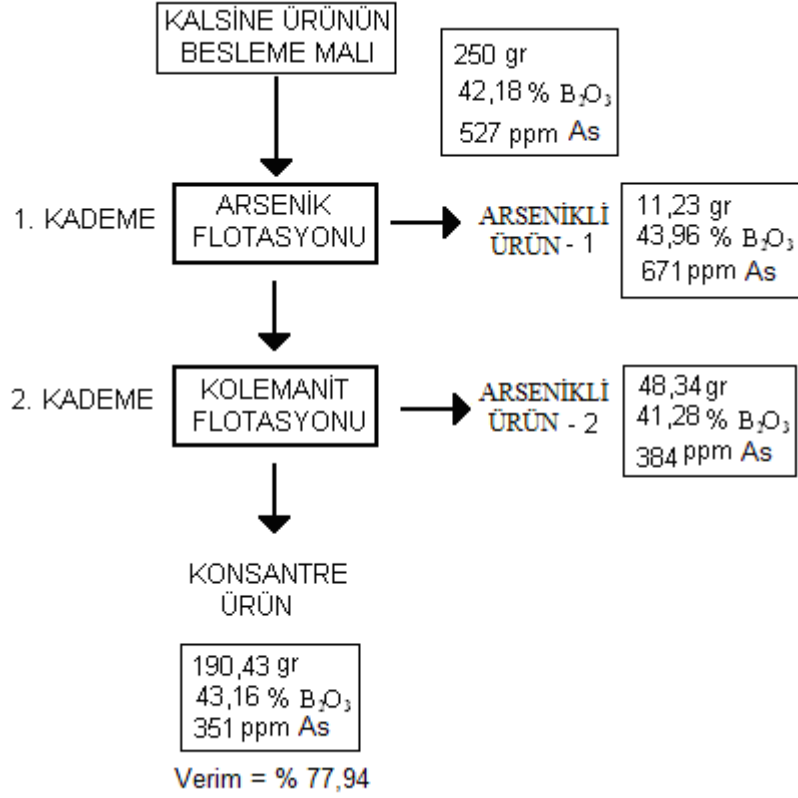
6.2.3. -2.00+0.315 mm. Elek Boyutunun Flotasyon Deneyleri



Şekil.6.35. -2.00+0.315 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları

Yapılan bu elek aralığındaki deneyde ise giren malzememizin tenörü % 58,24 B₂O₃ ve 487 ppm arsenik mevcut iken konsantre ürünün tenörü % 59,36 B₂O₃ ve 235 ppm arsenik içermektedir. Flotasyon verimi ise % 74,02 olmuştur. Her iki kademede de yapılan flotasyon işleminde tenör değerlerinin pek değişmemesine rağmen arsenik oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

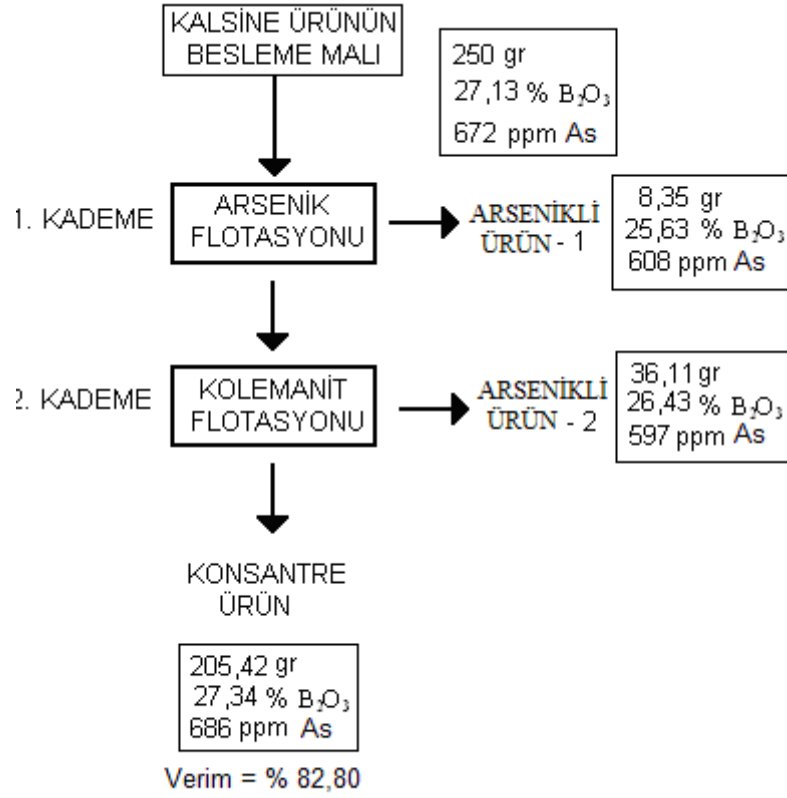
6.2.4. -0.315+0.112 mm. Elek Boyutunun Flotasyon Deneyleri



Şekil.6.36. -0.315+0.112 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları

Yapılan bu elek aralığındaki deneyde ise giren malzememizin tenörü % 42,18 B₂O₃ ve 527 ppm arsenik mevcut iken konsantre ürününün tenörü % 43,16 B₂O₃ ve 351 ppm arsenik içermektedir. Flotasyon verimi ise % 77,94 olmuştur. Her iki kademedede yapılan flotasyon işleminde tenör değerlerinin pek değişmemeğine rağmen arsenik oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

6.2.5. -0.112+0.045 mm. Elek Boyutunun Flotasyon Deneyleri



Şekil.6.37. -0.112+0.045 mm. Elek Aralığına Ait Flotasyon Deney Sonuçları

Bu elek aralığındaki deneyde ise giren malzememizin tenörü % 27,13 B₂O₃ ve 672 ppm arsenik mevcut iken konsantre ürününün tenörü % 27,34 B₂O₃ ve 686 ppm arsenik içermektedir. Flotasyon verimi ise % 82,80 olmuştur. Yapılan bu flotasyon deneyinde tenör miktarında artma ve arsenik miktarında azalma gözlemlenmemiştir.

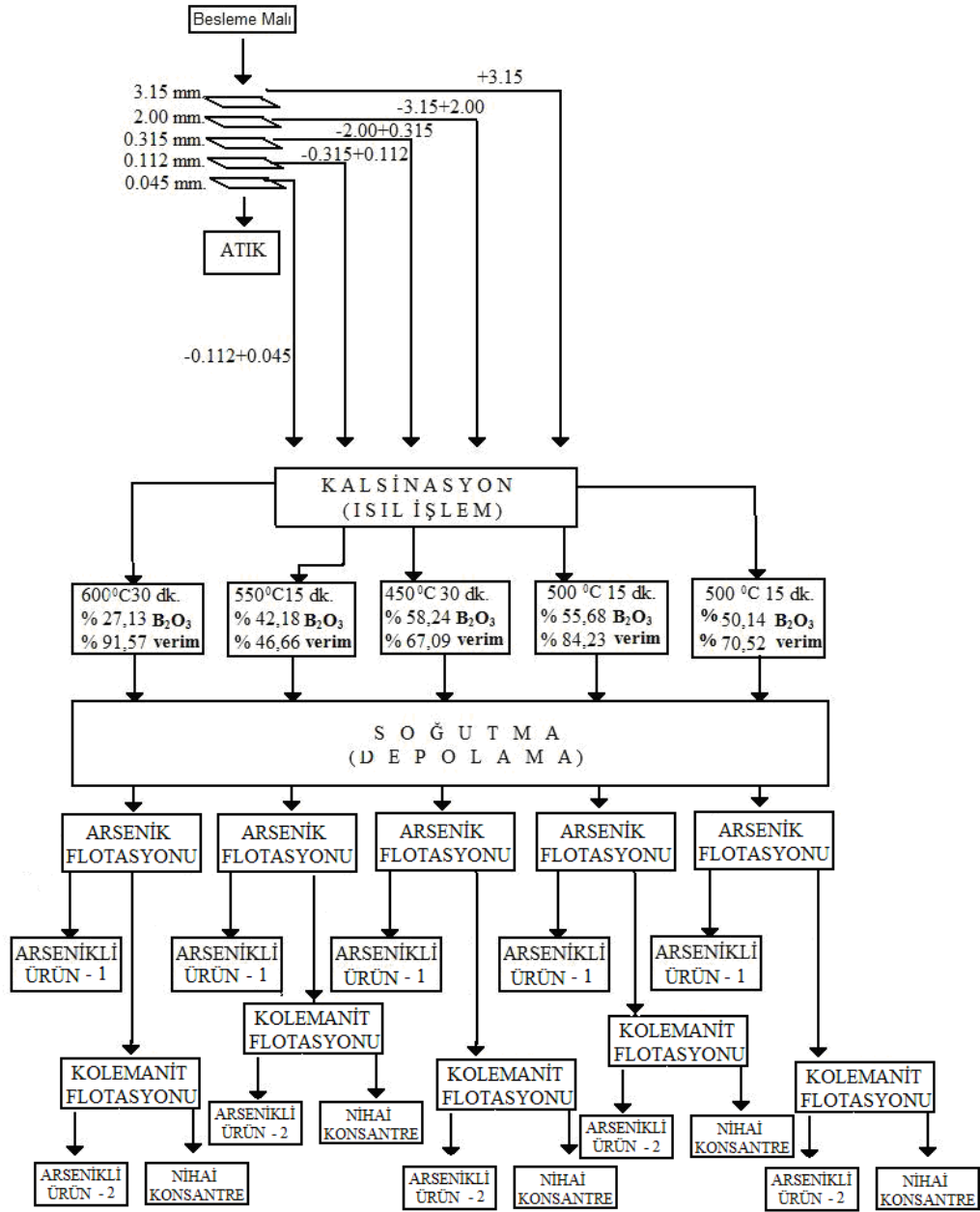
Yapılan flotasyon deneyleri sonucunda elde edilen tenör ve arsenik miktarları Çizelge 6.2. de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Flotasyon deney sonuçları

Elek Aralığı (mm)	Flotasyon Öncesi (% B₂O₃)	Flotasyon Sonrası (% B₂O₃)	Flotasyon Öncesi (ppm As)	Flotasyon Sonrası (ppm As)	Verim (%)
+3.15	50,14	53,66	376	334	71,90
-3.15+2.00	55,68	56,87	485	310	73,35
-2.00+0.315	58,24	59,36	487	235	74,02
-0.315+0.112	42,18	43,16	527	351	77,94
-0.112+0.045	27,13	27,34	672	686	82,80

Yapılan Flotasyon çalışmaları sonucun da Çizelge 6.2. de görüldüğü gibi verim bakımından -0.112+0.045 mm elek aralığında en iyi ürün üretilmesine rağmen arsenik uzaklaştırma ve yüksek tenörlü malzeme -3.15+2.00 mm ve -2.00+0.315 mm elek aralıklarında kazanılmıştır. Ancak kurulması planlanan tesisde sürekliliği sağlayabilmek için yapılan kalsinasyon sonunda elde edilen -3.15+2.00 mm elek aralığındaki malzemeye flotasyon yöntemi uygulandığında optimal deney grubu -3.15+2.00 mm' lik elek aralığı saptanmıştır. Flotasyon atığı olarak adlandırılan ürünler gerçekte atık olmayıp B₂O₃ tenörleri % 57.64 ile % 26,43 arasında değişmektedir. Üretilen min. % 38,00 B₂O₃ tenörü ve % 2500 ppm As içeren konsantrenin satılabilir özellikte olduğu görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar ışığında elde edilen verilerden önerilen tesis akım şeması Şekil 6.38. de verilmiştir.



Şekil.6.38. Pilot tesis için önerilen akım şeması

Önerilen tesis için gerekli olan akım şemasında atık barajından alınan malzeme 3.15; 2.00; 0.315; 0.112; 0.045 mm lik titreşimli elekler kullanılarak beslenmelidir. Elek boyutlarına göre sınıflandırılan ürün ısı işleme tabii tutularak kalsine ürün elde edilmektedir.. Kalsine olan ürün siloya nakledilerek aynı zamanda da soğutma sağlanarak satışa hazır hale getirilmiştir. Ancak içerisindeki arsenik miktarını uzaklaştırmak amacı ile arsenik flotasyonu yapılarak arsenikli malzeme stoka alınması da önerilebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bor minerallerinin teknolojide kullanıldığı yerler, ülke ekonomisine sağladığı katma değer ve dünya rezervlerinin büyük bir kısmının ülkemizde olması gibi nedenlerden dolayı, borun önemi günümüzde artık herkes tarafından bilinen bir olgudur. Dolayısıyla bu değerli kaynağın en uygun şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bor atıklarının çevreye verdiği zarar ve depolama maliyetleri Bor İşletmelerinin önemli problemlerinden biridir. Bu çalışma bir yönüyle bu problemi çözmeye çalışırken, aynı zamanda ülke ekonomisine de katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bor atıklarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan kalsinasyon yönteminin kuru bir zenginleştirme yöntemi olması, elde edilen ürünün daha sonra kullanılacak sektörlere uygun hale gelmesi, istenmeyen safsızlıkların giderilebilmesi nedeniyle önemli avantajları olduğu bilinmektedir. Bu konuda bir çok araştırmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma da -3 mm Emet Kolemanit Hisarcık Konsantratör tesisi atıklarından satılabilir bir ürün elde etmek amacıyla yapılan Kalsinasyon ve Flotasyon çalışmalarını kapsamaktadır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle atık numunenin fiziksel, kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmış, bu analiz sonuçlarına göre deney planlaması gerçekleştirilmiştir.

-3 mm Emet Kolemanit Hisarcık Konsantratör tesisi atıkları üzerinde yapılan kalsinasyon çalışmaları neticesinde ;

- + 3.15 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; 500 ° C de 15 dakika kalsinasyon süresi ile konsantre % 50,14 B₂O₃ tenör ve % 70,52 verim ile elde edilmiştir.
- -3.15+2.00 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; 500 ° C de 15 dakika kalsinasyon süresi ile konsantre % 55,68 B₂O₃ tenör ve % 84,23 verim ile elde edilmiştir.
- - 2.00+0.315 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; 450 ° C de 30 dakika kalsinasyon süresi ile konsantre % 58,24 B₂O₃ tenör ve % 67,09 verim ile elde edilmiştir.
- - 0.315+0.112 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; 550 ° C de 15 dakika kalsinasyon süresi ile konsantre % 42,18 B₂O₃ tenör ve % 46,66 verim ile elde edilmiştir.

- - 0.112+0.045 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; 600 ° C de 30 dakika kalsinasyon süresi ile konsantre % 27,13 B₂O₃ tenör ve % 91,57 verim ile elde edilmiştir.

Kalsinasyon deneyleri sonucunda; -3.15+2.00 mm elek aralığında yapılan dekrepitasyon neticesinde en iyi konsantre % 55,68 B₂O₃ tenör ve % 84,23 verim ile üretilmiştir.

Elde edilen konsantre üzerinde yapılan Flotasyon çalışmalarında ise;

- + 3.15 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; % 53,66 B₂O₃ tenör, 334 ppm As içeren konsantre % 71,90 verim ile elde edilmiştir.
- -3.15+2.00 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu; % 56,87 B₂O₃ tenör, 10 ppm As içeren konsantre % 73,35 verim ile elde edilmiştir.
- -2.00+0.315 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu % 59,36 B₂O₃ tenör, 35 ppm As içeren konsantre % 74,02 verim ile elde edilmiştir.
- -0.315+0.112 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu % 43,16 B₂O₃ tenör, 351 ppm As içeren konsantre % 77,94 verim ile elde edilmiştir.
- -0.112+0.045 mm elek fraksiyonunun optimum deney sonucu % 27,34 B₂O₃ tenör, 86 ppm As içeren konsantre % 82,80 verim ile elde edilmiştir.

Flotasyon deneyleri sonucunda; -3,15+2.00 mm ve -2.00+0.315 mm elek aralığında yapılan deneylerde % 56,87 B₂O₃ tenör, 310 ppm As içeren konsantre % 73,35 verim ve % 59,36 B₂O₃ tenör, 235 ppm As içeren konsantre ise % 74,02 verim ile elde edilmiştir. Ancak, kalsinasyon işlemlerinden sonra yapılacak olan Flotasyon aşamasında geçerli olabilecek akım şemasına göre en ideal elek aralığı -3.15+2.00 mm seçilmesinin uygun olabileceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Ediz, N. ve Özdağ H. 2001 “Bor Mineralleri ve Ekonomisi”. D.P.Ü. FBE Dergisi, Sayı 2, Kütahya s:133-151
- [2] Poslu, K. ve Arslan , İ.,H.,1995, Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,TMMOB MMO, Edt: Köse, Kızıl İzmir, Türkiye, s: 33-42
- [3] Savaş, M., 1994, “Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Gölet Atıklarının Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması” O.G.Ü. M.M.F. Yüksek Lisans Tezi Eskişehir 1994, 106 s.
- [4] Güyagüler, T., 2001 , Türkiye Bor Potansiyeli, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Edt: Köse, H., Arslan, V., Tanrıverdi M., Dokuz Eylül Ün. TMMOB Madan Müh. Odası Yayını , İzmir , Türkiye , s:18-27
- [5] Alp, M.S., Tanrıverdi, M., Kahraman, B., Batar T., 1995, Bor Minerallerinin ve Ürünlerinin Pazarlanma Koşulları Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 21-22 Nisan.
- [6] Üncü, Ü.R., 2001, Dünya Ham ve Rafine Bor Pazarına Bir Bakış, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [7] Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savaş, M., 1996, Beneficiation of Emet Tailing by Water Absorbion+Mechanical Attrition+Megnetic Separation , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoğlu, İzmir, Türkiye, s:143-149
- [8] DPT, 2001,Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Bor Tuzları, Ankara, Türkiye.
- [9] Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., 2001, Bor Minerallerinin Önemi, Potansiyeli, Üretimi ve Ekonomisi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [10] Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, 1982, Dünyada ve Türkiye’de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeler Bor Mineralleri, Ankara.
- [11] Yaşar, E., 1994, Bor Minerallerinin Elektrostatik ve Elektrokinetik Özellikleri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, Eylül.
- [12] Kılıç, A.M., 2004, Bor Madeninin Türkiye Açısından Önemi ve Gelecekteki Yeri, 2. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 23-25 Eylül.
- [13] Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997, Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [14] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, www.etimaden.gov.tr
- [15] EGİAD, Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [16] Arslan, H., 2002, Emet Bor Tesisinin Jeolojisi ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Lisans Tezi, DPÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, Haziran.
- [17] BOR LTD. www.boraxtr.com
- [18] www.kimyamuhendisi.com
- [19] Yılmaz İ., 2002, Türkiye’de Bor Üretimi ve Zenginleştirme Alternatifleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, Isparta, Türkiye, Ocak.
- [20] Yarar, B., 1971, Kolemanit mineralinin Flotasyon yolu ile değerlendirilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara, Türkiye.
- [21] Koca, M. 2007, “Emet Kolemanit Konsantratör -3 Mm Atıklarından Kalsinasyon Ve Briketleme İle Satılabilir Ürün Eldesinin Araştırılması” D.P.Ü. Yüksek Lisans Tezi 2007, 8 s.
- [22] ETİ HOLDİNG A.Ş. Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2002, Emet Bor İşletmesi Hisarcık Eski Atık Barajının Boşaltılması ve Barajdaki Malzemenin Değerlendirilmesi, Kütahya, Türkiye, Ağustos.
- [23] Yamık, A., Uçar, A., Demir, U., 2004, Emet Espey konsantratörü -25 mm bor atıklarının Hidrosiklon ile zenginleştirilmesi, DPÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, II. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye 23-25 Eylül.
- [24] Ayok, T., Tolun, R., Düşük Tenörlü Kolemanit Atıklarının Flotasyon Yöntemi ile Konsantrasyonu, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Yayını
- [25] Ceylan, T., 2003, Kestelek Bor Madenleri İşletmesi Cevher Hazırlama Tesisi -3 mm 1.Klasifikatör Çökeni Malzemenin Pervaneli Dağıtıcıda Zenginleştirme Çalışmaları, Lisans Tezi, DPÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, Eylül.
- [26] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri CİLT II, 2001, Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum, Çalışma Grubu Raporu Ankara, Türkiye.
- [27] Serpek, E., 2003, Bor Mucizesi II: Kullanım Alanları PİVOLKA
- [28] Yılmaz, A., 2002, Bor Madeni ve Türkiye İçin Önemi, TUBİTAK-Bilim ve Teknik Dergisi, Ankara, Türkiye, Mayıs
- [29] İpekoğlu Ü. ve Polat M., 1987, Bor Endüstrisine Genel Bakış, Madencilik Dergisi TMMOB Maden Mühendisleri Odası cilt:26 sayı:1 Ankara s:5-16

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [30] Kistler, R. B. , Helvacı, C., 1994 “Boron and Borates”, Industrial Minerals and Rock, 6th Edition, Society of Mining, Metallurgy and Exploration Inc., pp 171-186
- [31] <http://www.nnt-nanotechnology.com/tr/bor/bor-rezervleri/>
- [32] Helvacı, C., Türkiye Borat Yatakları, TMMOB, Jeoloji Maden Mühendisleri Odası
- [33] Uçar, A., 2003, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Tesisleri, DPÜ, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, Kütahya, Türkiye.
- [34] Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., 2002, Bor Atıkları ve Değerlendirme Stratejileri, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, Türkiye
- [35] Özdemir, M., Kıpçak, İ., Öztürk, N., 2003, Bor Endüstrisi Katı Atıklarından Boraksın Katı-Sıvı Özütleme İle Geri Kazanılması, Eskişehir, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Türkiye.
- [36] Terblanche, A.N., Grobler, W.A., Önal, G.ve Güney, A. 1999; “Geliştirilmiş Flotasyon Performanslı Turbo flotasyon Kolonu” Cevher ve Kömür Hazırlamada, S.Atak, G. Önal, F. Arslan, T. Perek, s: 167-175 .
- [37] Özkan, Ş.G., Veasey, T.J., 1994, The Effect of Slime Coatings on Colemanit Flotation, Progress in Mineral Processing Technology, Balkema, Rotterdam.
- [38] Aytekin, Y., 1995, Maden Mühendisliğine Giriş, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir,Türkiye.
- [39] Yargan, M. 2007, “Emet Espey Bor Tesisi İnce Gölet Atıklarının Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırılması” D.P.Ü. Yüksek Lisans Tezi 2007, 20 s.
- [40] Önal, G., 1980 , Cevher Hazırlama Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri ,İTÜ Yayını sayı: 1156 İstanbul 232 s.
- [41] 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 s: 282-287
- [42] Akar A., 1987, Endüstriyel Hammaddeler ve Zenginleştirme Yöntemleri , Ders Kitabı , İzmir, 210 s.
- [43] Özkan, Ş.G. ve Veasey T.J., 1996 , Effect of Simultaneous Ultrasonic Treatment on Colemanite Flotation, 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:277-281
- [44] Sönmez E., 1991, “Kırka Tinkal Cevheri ve Konsantresinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 108 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [45] Çebi, H., Özkan, Ş.G., Demircan, E. ve Mordoğan H., 1997, Kırka' da Üretilen Tinkal Kaba Konsantrenin İyileştirilmesi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Edt: Güyagüler, Ersayın, Bilgen s:311-318
- [46] Ediz, N., Bentli, İ., Tatar, İ. ve Ceylen, T. ,2004 , Kestelek Bor İşletmesi -3mm Klasifikatör Çökeni Ürünün Farklı Pervaneli Dağıtıcılarda Zenginleştirilmesi , 2. Uluslararası Bor Sempozyumu , edt: Özdağ, H., Akdaş, H., Bozkurt, V., İphar, M., Eskişehir, Türkiye, s:93-98
- [47] Alp, İ. ve Özdağ H., 2000 , Investigation of the Processing of Colemanite Tailings by Ultrasonic Sound Waves , 8th International Mineral Processing Symposium , edt. Özbayoğlu , Antalya , Türkiye , 693-696
- [48] Emrulloğlu, F.Ö., Yüzer, H.,1990, Etibank Bigadiç Kolemanit Cevheri -3mm Fraksiyonunun Laboratuar Çapta Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Akdeniz Ün. Isparta Müh. Fak. Dergisi, edt Yamık , A. , sayı 5 s: 159-169
- [49] Kaytaz ,Y., 1991 , “Bor Cevherinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler” Endüstriyel Hammaddeler ve Bor Teknolojisi Semineri , İ.T.Ü. , İstanbul
- [50] Doğan, M.Z., Kaytaz, Y., Önal, G., Perek, K.T., 1997, Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem, Elektrostatik Ayırma ve Flotasyon ile Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması” 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [51] Akdağ M., Batar T., İpekoğlu Ü.ve Polat M., 1996 , Processing of Tinkal and Colemanite Ores by Decrepitation Method and Comparison with Wet Method in Terms of Production Cost , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:3899-39386
- [52] Kocakuşak, S., Akçay, k., Ayok, T., Köroğlu. H.J., Koral M., İşbilir, F., Savaşçı, T. ve Tolun, R., 1996, Stragewise Dehydration a New Concept on Anhydrous Borax Production, 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:383-387
- [53] Kocakuşak, S., Koral M., Köroğlu. H.J., Savaşçı, T. ve Tolun, R., 1996, Effect of Temperature on Anhydrous Borax Compaction , 6th International Mineral Processing Symposium , edt. Kemal, Arslan, Akar, Canbazoglu, İzmir, Türkiye , s:377-381
- [54] Çelik, M.S., Bater, T., Akın, Y. ve Arslan, F., 1998, “ Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi”, Minerals And Processing Vol.15, No.1., s:53-56
- [55] Aytekin, Y. ve Badruk, M., 1992, Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yolu ile Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, 4.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, C.2., Edt: Özbayoğlu,O., Antalya, Türkiye ,s:549-562
- [56] Akçin, H., Uludağ, T., Şentürk, B., Ergül, T., Kayandan, İ., Demirdağ, C., Yılmaz, O., Yalçinoğlu, Y. ve Mergen, A., 2006, Tüvenan Tinkaldan Kalsine Tinkal Üretimi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2-4 Kasım Ankara, Türkiye s: 315-320

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [57] Kayandan, İ., Pehlevan, V., Çağlayan ve Türedi, S., 2004, “Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi”, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Edt: Özdağ H., Akdaş H., Bozkurt V., İphar M., Eskişehir, Türkiye, s:59-64
- [58] Emrulloğlu, Ö.F., KARA, M., Çelik, S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine Kolemanit Atıklarının Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi , s:629-638
- [59] Kocakuşak, S., Köroğlu , İ., Ayok, T., Tolun R., 1992, “Kalsine İnce Boraks Hidratların Kompaktlanması” 4th International Mineral Processing Symposium Rroceedings V2 Eds: Özbayoğlu B., Antalya,Türkiye s:911-923
- [60] Girgin, S. , Yirgin, S., Acarkan, N. ve Sirkeci, A.A., 2000 , “Kolemanit Kilden Ayrılmasında Isıl İşlemin Etkileri” 10th International Mineral Processing Symposium , 8.International Mineral Processing Symposium , edt Özbayoğlu, G., Antalya , Türkiye , s:538-547
- [61] Badruk, M. ve İpekoğlu, Ü., 1999, Tinkal Cevherinin Kalsinasyon Klasifikasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, İzmir s:469-475
- [62] Şener, S. ve Özbayoğlu, G., 1992, Determination of Cacination Parameters of Ulexite and Possibility of Separation from Colemanite , 4.International Mineral Processing Symposium , edt Özbayoğlu, G., Antalya , Türkiye , s:538-547
- [63] Kaytaz Y., Önal, G. ve Günay, A., 1986, “Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi”, 1. International Mineral Processing Symposium , İzmir, Türkiye s:238-249
- [64] Çelik, M.S., Elma, İ., Müdüroğlu, M., Ultrasonik Ortamın Şlam Kaplı Kolemanitin Flotasyona Etkisi, İTÜ, Cevher ve Kömür Hazırlama. İstanbul, Türkiye
- [65] Özkan Ş.G., Alp M.S., Veasey T.J., 1993, “Emet Kolemanit Cevheri Üzerindeki Flotasyon Çalışmaları” Türkiye 13.Madencilik Kongresi, Türkiye
- [66] Bulut, G., Ören, E., Acarkan, N., Bakan, S., 2004, Tinkal Atığına Uygulanan Flotasyon Çalışmaları, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, Türkiye.
- [67] Gül, A., Kaytaz, Y., Önal, G., 2005, Beneficiation of Colemanite Tailings by Attrition and Flotation, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye.
- [68] Hançer, M., Kaytaz, Y., Çelik, M.S., 1993, Doygun Çözeltilerde Boraks Flotasyonunun Anyonik ve Katyonik Reaktiflerle İncelenmesi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi.
- [69] Koca, S., Koca, H., Savaş, M., 2003, Flotation of Colemanite from Realgar, Osmangazi Üniversitesi Eskişehir, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [70] Özkan, Ş.G., Acar, A., 2003, Investigation of Impact of Water type on Borate Ore Flotation, Mining Engineering Dep.Engineering Faculty, IU. Institute of Science and Technology, İstanbul, Türkiye.
- [71] Koca, S., Savaş, M., 2003, Contact Angle Measurements at the Colemanite and Realgar Surface, Maden Mühendisliği Bölümü Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- [72] Yarar, B., 1985, The Surface Chemical Mechanism of Colemanite-Calcite Separation by Flotation, Economic Geology and Production, Barker, J.M. ve Lefond, S.j., Newyork.
- [73] Uçar, A., 2004, Kolloid ve Yüzey Kimyası, DPÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Cevher Hazırlama, Ders Notları, Kütahya, Türkiye.
- [74] www.zeta-meter.com
- [75] Çelik, M.S., Hançer, M., Miller, J.D., 2002, Flotation Chemistry of Boron Minerals, ITU Mining Faculty Minerals and Cool Processing.
- [76] Ayaz, S. 2007, "Emet Hisarcık Bor Tesisi İnce Gölet Atıklarının Flotasyonla Kazanılması" D.P.Ü. Yüksek Lisans Tezi 2007, Kütahya.
- [77] Aytekin, Y., C., Lübiç, A., Yamık, "Kırka Tinkal Cevherlerinin Flotasyonla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması" II. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Makaleleri, S.267-280, İzmir,1998.

EKLER

Ek 1 . Kolemanitte B₂O₃ Analizi :

1. 0-3 mm ebadına getirilen kolemanit cevheri numunesi 105⁰ C de etüvde 2 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numune diskli öğütücüden geçirilerek pudra haline getirilir.

2. Pudra halindeki bu numuneden tartım anındaki nemi tayin etmek için 4+- 1 gr numune alınır.

3. Bu numuneden 250 mililitrelik erlen için 1+- 0.2 gr tartılır.

4. Erlenin içine 60-70 ml saf su eklenmesiyle bulamaç yapılır.

5. Tekrar erlenin içine 10+-0,5 ml derişik HCl asit ilave edilir.

6. Erlenin üzerine bir huni yerleştirildikten sonra, kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk kaynatılır.

7. Kaynama bittikten sonra huni yıkanarak alınır.

8. Birkaç damla metil kırmızısı damlatılır. Renk sarıya dönünceye kadar azar azar sodyum karbonat-sodyum bikarbonat karışımı eklenerek +3 eğerlikli (Al, Ti, Fe) çöktürülür.

9. Ortam nötre yakın bazik olmalıdır. Karbonat fazla eklenmiş ise asitlendirilip tekrar ayarlanır.

10. Birkaç dakika yeniden kaynatılır ve soğutulur.

11. Süzülür ve üç defa sıcak su ile yıkanır.

12. Berrak çözelti hafif asitlendirilip, CO₂ yi ortamdan atmak için kaynatılır ve soğutulur.

13. Soğuyan çözeltiye, ayarlı faktörü belirlenmiş 0,5 Normal NaOH ve 4-5 gr mannitol ilave edilerek üzerine fenolftalein eklenir.

14. Faktörlenmiş 0,5 Normal NaOH ile titre edilir.

15. Titrasyon sonundaki sarfiyat dikkate alınarak aşağıdaki formülle B₂O₃ yüzdesi hesaplanır.

$$\% B_2O_3 = 0,017405 * S * F / T * 100$$

$$0,017405 = \text{Eşdeğer miligram}$$

S = 0,5 Normal NaOH sarfiyatı

F = 0,5 Normal NaOH faktörü

T = Numune tartımı

Not:

1. B₂O₃ analizlerinde 0,1-0,2 gr kör düşülür. 0,1 gr 25 mm-100 mm elek boyutundaki numuneden, 0,2 gr 0,3-3,25 mm elek boyutundaki numuneden düşülür.

2. Numuneler karışmaması için kullanılan her kap ve erlen numaralandırılır.

3. Yapılan bütün kimyasal işlemler sırasında ellerin ve çevre şartlarının kuru ve temiz olmasına dikkat edilir, acele etmeden itina ile yapılır.

4. Bütün işlemler kaynar saf su ile yapılır.

Faktör Hazırlama

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 mannit 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. Tüm F' lerin ortalaması alınır ve çıkan sonuç 17,41 ile çarpılarak F değeri bulunur.

% 0,1'lik Metil Kırmızısı Hazırlanışı

1gr tartım alınır. 750 ml etil alkolde iyice çözülür. Sonra adi süzgeç kağıdından süzülür. Kağıt alkolle yavaş yavaş yıkanır. Saf su ile 1lt'ye tamamlanır.

0,1'lik Fenolftalein Hazırlanışı

1gr tartım alınır. 750 ml etil alkolde çözülür. Saf su ile 1lt'ye tamamlanır.

0,5N NaOH Hazırlanışı

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. Daha sonra su banyosu yaptırılır ve 0,5N NaOH hazır hale gelir.

Ek 2 . Kolemanitte Arsenik (As) Tayini (Gutzcit Yöntemiyle)

Pudra haline getirilmiş kolemanit cevherinden, 250 ml' lik bir erlen içerisine yaklaşık 0.4-0.6 gr arasında tartım alınır. Üzerine 4-5 gr NaHCO₃+Na₂CO₃ karışımı eklenerek erlenin yarısına kadar saf su koyulup üzeri huniyle kapatılarak 2 saat süreyle kaynatılır. Çözelti 500 ml'lik balona aktararak soğutulur ve içerisindeki arsenik miktarına göre iyice karıştırılarak 250 ml'lik bir erlen içerisine 5-10 ml alınır. Üzerine d= 1.12'lik HCl'den 25 ml, %15'lik KI'dan

5 ml, %15'lik NiCl₂'den 2 ml, %15'lik SnCl₂'den 5-6 damla ilave edilir. Erlenin ağzı yıkanır ve 4 gr granül çinko eklenip, ağzına önceden hazırlanan aparat ve tapası yerleştirilir. Hidrojen çıkışı bittikten sonra tapa çıkarılır ve Cıva Bromürlü (HgBr) süzgeç kâğıdındaki renk skalası (ml'de Arsenik miktarı belli kağıt) ile karşılaştırılarak hesaba geçilir. Örneğin 1 ml Arsenik çözeltisi 0.002 mgr Arsenik içerir. Analiz sonundaki renk 5 ml'ye eşdeğer olursa ve analiz için balondan 5 ml çekmiş isek;

$$\frac{0.002 \times 2 \times 5}{T} \text{ mgr Arsenik}$$

$$\text{ppm Arsenik} = \frac{0.000002 \times \text{Toplam Cözelti Miktar} \times \text{Okunan Deger}}{\text{Çekilen Miktar} \times \text{Tartım}}$$

Not: Birkaç analizden sonra Kurşun Asetatlı Pamuk ve Süzgeç Kâğıdı değiştirilir.

EK-3 Deney Sonuç Tabloları

Ek Çizelge 1. +3.15 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	53.12	65.32	81.91	111.81	115.88
	Tenör (%)	37.39	42.13	35.28	45.67	48.39
ATIK	Ağırlık (gr)	188.11	165.91	139.47	103.21	96.95
	Tenör (%)	11.42	19.36	13.48	7.83	6.28
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	8.77	18.77	28.62	34.98	37.17
VERİM	(% B ₂ O ₃)	22.19	30.75	32.29	57.05	62.65

Ek Çizelge 2. +3.15 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	67.34	88.26	95.18	97.38	100.36
	Tenör (%)	44.23	48.66	48.27	48.22	49.16
ATIK	Ağırlık (gr)	167.03	124.21	111.73	109.81	104.46
	Tenör (%)	9.23	3.52	3.41	3.88	3.86
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	15.63	37.53	43.09	42.81	45.18
VERİM	(% B ₂ O ₃)	33.28	47.99	51.33	52.47	55.13

Ek Çizelge 3. +3.15 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	79.23	96.96	95.48	93.69	102.93
	Tenör (%)	43.82	49.72	48.24	48.28	49.94
ATIK	Ağırlık (gr)	141.9	108.35	101.55	101.51	91.28
	Tenör (%)	6.8	4.38	4.13	4.02	3.64
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	28.87	44.69	52.97	54.80	55.79
VERİM	(% B ₂ O ₃)	38.79	53.86	51.46	50.54	57.43

Ek Çizelge 4. +3.15 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	130.09	125.87	125.31	119.37	120.91
	Tenör (%)	45.13	50.14	48.62	47.16	48.25
ATIK	Ağırlık (gr)	76.18	64.59	65.16	68.99	66.22
	Tenör (%)	3.21	2.19	3.92	5.63	5.51
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	43.73	59.54	59.53	61.64	62.87
VERİM	(% B ₂ O ₃)	65.60	70.52	68.07	62.90	65.18

Ek Çizelge 5. +3.15 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	124.26	101.82	99.5	97.2	100.13
	Tenör (%)	45.84	52.13	49.28	48.26	46.13
ATIK	Ağırlık (gr)	78.86	87.42	89.13	91.21	86.13
	Tenör (%)	4.86	2.87	4.23	6.98	5.82
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	46.88	60.76	61.37	61.59	63.74
VERİM	(% B ₂ O ₃)	63.64	59.31	54.79	52.41	51.61

Ek Çizelge 6. +3.15 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	117.35	86.57	88.38	86.9	83.35
	Tenör (%)	45.26	45.97	45.82	44.76	44.79
ATIK	Ağırlık (gr)	98.87	97.63	95.74	95.51	96.78
	Tenör (%)	9.14	4.56	5.12	5.01	4.86
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	33.78	65.8	65.88	67.59	69.87
VERİM	(% B ₂ O ₃)	59.34	44.47	45.25	43.46	41.71

Ek Çizelge 7. -3.15+2.00 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	53.09	55.41	81.43	111.81	112.11
	Tenör (%)	38.16	42.24	40.76	38.17	37.14
ATIK	Ağırlık (gr)	186.17	173.22	136.95	100.43	97.07
	Tenör (%)	8.24	17.36	13.45	9.26	8.12
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	10.74	21.37	31.62	37.76	40.82
VERİM	(% B ₂ O ₃)	23.00	26.57	37.68	48.46	47.28

Ek Çizelge 8. -3.15+2.00 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	113.23	124.41	108.42	103.29	97.18
	Tenör (%)	45.17	50.66	51.74	51.88	52.16
ATIK	Ağırlık (gr)	117.23	84.12	93.41	94.73	99.46
	Tenör (%)	8.41	7.63	7.54	7.23	7.04
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	19.54	41.47	48.17	51.98	53.36
VERİM	(% B ₂ O ₃)	58.07	71.56	63.69	60.84	57.55

Ek Çizelge 9. -3.15+2.00 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	133.72	106.22	99.8	97.11	89.82
	Tenör (%)	44.24	51.18	50.67	50.06	50.13
ATIK	Ağırlık (gr)	80.41	89.24	93.51	93.01	99.62
	Tenör (%)	9.14	4.46	4.60	4.15	4.1
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	35.87	54.54	56.69	59.88	60.56
VERİM	(% B ₂ O ₃)	67.17	61.72	57.42	55.20	51.12

Ek Çizelge 10. -3.15+2.00 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	127.77	133.24	131.57	126.28	126.93
	Tenör (%)	47.63	55.68	52.83	50.16	50.02
ATIK	Ağırlık (gr)	72.26	60.18	61.47	65.39	62.43
	Tenör (%)	6.24	4.73	4.98	5.21	5.88
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	49.97	56.58	56.96	58.33	60.64
VERİM	(% B ₂ O ₃)	69.10	84.23	78.92	71.92	72.09

Ek Çizelge 11. -3.15+2.00 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	122.85	112.81	112.11	112.61	111.27
	Tenör (%)	47.36	51.88	48.23	46.17	46.23
ATIK	Ağırlık (gr)	73.12	70.29	68.16	67.41	67.36
	Tenör (%)	7.12	6.03	6.96	7.41	8.24
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	54.03	66.9	69.73	69.98	71.37
VERİM	(% B ₂ O ₃)	66.06	66.45	61.39	59.03	58.40

Ek Çizelge 12. -3.15+2.00 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	120.46	93.71	87.8	85.14	81.52
	Tenör (%)	48.27	49.71	49.36	48.12	48.23
ATIK	Ağırlık (gr)	76.17	85.41	91.14	92.27	92.64
	Tenör (%)	8.12	4.45	6.13	6.28	7.13
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	53.37	70.88	71.06	72.59	75.84
VERİM	(% B ₂ O ₃)	66.02	52.89	49.21	46.52	44.64

Ek Çizelge 13. -2.00+0.315mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	66.53	75.34	85.46	89.58	89.16
	Tenör (%)	41.19	42.76	45.23	38.45	37.14
ATIK	Ağırlık (gr)	168.14	152.12	135.13	123.87	120.1
	Tenör (%)	16.41	11.18	7.14	6.48	6.23
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	15.33	22.54	29.41	36.55	40.74
VERİM	(% B ₂ O ₃)	28.04	32.97	39.55	35.25	33.88

Ek Çizelge 14. -2.00+0.315mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	102.3	114.36	114.54	110.08	109.66
	Tenör (%)	42.84	53.27	53.16	52.78	52.16
ATIK	Ağırlık (gr)	120.14	86.87	84.42	83.06	83.21
	Tenör (%)	8.28	6.15	6.01	5.98	6.23
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	27.56	48.77	51.04	56.86	57.13
VERİM	(% B ₂ O ₃)	44.85	62.34	62.31	59.45	58.53

Ek Çizelge 15. -2.00+0.315mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	116.59	119.48	123.58	121.82	120.36
	Tenör (%)	45.38	53.24	51.18	50.27	50.03
ATIK	Ağırlık (gr)	101.87	80.23	74.62	75.44	73.81
	Tenör (%)	7.44	5.18	4.96	4.21	4.18
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	31.54	50.29	51.8	52.74	55.83
VERİM	(% B ₂ O ₃)	54.14	65.09	64.72	62.66	61.62

Ek Çizelge 16. -2.00+0.315mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	116.6	113.78	112.58	107.24	106.13
	Tenör (%)	47.24	56.73	58.24	57.63	57.89
ATIK	Ağırlık (gr)	83.16	82.45	82.84	87.13	87.01
	Tenör (%)	8.21	6.14	6.76	7.12	7.24
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	50.24	53.77	54.58	55.63	56.86
VERİM	(% B ₂ O ₃)	56.36	66.05	67.09	63.24	62.87

Ek Çizelge 17. -2.00+0.315mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	124.01	107.51	111.33	109.81	107.67
	Tenör (%)	47.57	51.13	49.66	48.78	48.23
ATIK	Ağırlık (gr)	73.26	77.17	71.63	68.46	67.45
	Tenör (%)	8.41	8.36	7.13	7.11	8.42
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	52.73	65.32	67.04	71.73	74.88
VERİM	(% B ₂ O ₃)	60.36	56.25	56.57	54.81	53.14

Ek Çizelge 18. -2.00+0.315 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	121.76	109.01	101.72	98.77	97.89
	Tenör (%)	50.18	52.76	52.41	51.18	50.09
ATIK	Ağırlık (gr)	71.67	69.15	73.42	76.29	76.88
	Tenör (%)	9.08	6.53	6.41	6.68	6.87
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	56.57	71.84	74.86	74.94	75.23
VERİM	(% B ₂ O ₃)	62.52	58.85	54.55	51.73	50.17

Ek Çizelge 19. -0.315+0.112 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	69.13	63.46	60.98	60.33	59.87
	Tenör (%)	29.46	32.58	34.57	35.23	35.16
ATIK	Ağırlık (gr)	171.12	159.29	149.65	142.06	137.26
	Tenör (%)	12.13	15.12	14.18	12.11	14.18
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	9.75	27.25	39.37	47.61	52.87
VERİM	(% B ₂ O ₃)	29.10	29.55	30.13	30.37	30.08

Ek Çizelge 20. -0.315+0.112 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	68.26	64.13	61.46	58.13	57.98
	Tenör (%)	32.18	42.85	42.61	42.66	43.71
ATIK	Ağırlık (gr)	152.86	153.16	152.68	156.54	154.91
	Tenör (%)	10.86	14.65	17.18	16.22	18.13
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	28.88	32.71	35.86	35.33	37.11
VERİM	(% B2O3)	31.39	39.27	37.42	35.44	36.22

Ek Çizelge 21. -0.315+0.112 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	73.28	70.45	68.11	64.61	63.98
	Tenör (%)	35.41	43.17	42.86	42.8	41.17
ATIK	Ağırlık (gr)	147.7	142.11	143.22	146.25	145.18
	Tenör (%)	12.16	14.18	14.78	15.19	15.82
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	29.02	37.44	38.67	39.14	40.84
VERİM	(% B2O3)	37.08	43.46	41.72	39.52	37.64

Ek Çizelge 22. -0.315+0.112 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	77.06	74.49	74.21	68.81	66.74
	Tenör (%)	36.18	41.89	40.34	39.27	39.1
ATIK	Ağırlık (gr)	142.12	136.32	135.84	140.97	141.95
	Tenör (%)	11.27	16.73	16.81	15.27	14.12
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	30.82	39.19	39.95	40.22	41.31
VERİM	(% B2O3)	39.84	44.59	42.78	38.62	37.29

Ek Çizelge 23. -0.315+0.112 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	79.57	76.49	75.26	75.03	72.67
	Tenör (%)	34.28	42.18	41.27	42.82	42.76
ATIK	Ağırlık (gr)	140.07	132.34	128.15	128.03	128.57
	Tenör (%)	10.13	15.36	14.45	14.81	13.15
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	30.36	41.17	46.59	46.94	48.76
VERİM	(% B2O3)	38.98	46.11	44.39	45.91	44.41

Ek Çizelge 24. -0.315+0.112 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	69.07	67.46	67.18	67.02	66.49
	Tenör (%)	34.76	42.26	42.83	41.06	40.82
ATIK	Ağırlık (gr)	149.65	138.27	137.69	135.26	135.54
	Tenör (%)	9.17	13.81	14.13	14.18	14.01
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	31.28	44.27	45.13	47.72	47.97
VERİM	(% B2O3)	34.31	40.74	41.12	39.33	38.79

Ek Çizelge 25. -0.112+0.045 mm boyutunda 350 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	218.7	211.19	212.38	212.31	209.69
	Tenör (%)	24.22	26.18	26.21	26.12	26.41
ATIK	Ağırlık (gr)	17.49	15.27	14.36	13.41	16.03
	Tenör (%)	10.18	11.12	13.18	14.36	13.41
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	13.81	23.54	23.26	24.28	24.28
VERİM	(% B2O3)	89.82	93.75	94.39	94.03	93.90

Ek Çizelge 26. -0.112+0.045 mm boyutunda 400 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	210.29	207.63	206.39	207.08	205.67
	Tenör (%)	20.36	22.19	23.11	24.76	23.28
ATIK	Ağırlık (gr)	15.86	11.37	9.46	8.33	7.96
	Tenör (%)	14.13	17.61	17.27	18.34	19.41
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	23.85	31	34.15	34.59	36.37
VERİM	(% B2O3)	72.60	78.12	80.88	86.94	81.19

Ek Çizelge 27. -0.112+0.045 mm boyutunda 450 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	210.93	203.9	203.91	203.8	206.89
	Tenör (%)	21.47	23.46	25.18	25.07	24.06
ATIK	Ağırlık (gr)	15.21	10.37	9.13	9.06	4.27
	Tenör (%)	14.18	15.16	16.34	17.49	18.67
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	23.86	35.73	36.96	37.14	38.84
VERİM	(% B2O3)	76.79	81.11	87.06	86.63	84.40

Ek Çizelge 28. -0.112+0.045 mm boyutunda 500 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	210.6	203.08	203.22	207.85	207.17
	Tenör (%)	23.49	25.82	26.06	25.45	24.11
ATIK	Ağırlık (gr)	13.27	9.44	8.54	3.64	3.23
	Tenör (%)	15.84	17.23	18.31	18.26	19.12
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	26.13	37.48	38.24	38.51	39.6
VERİM	(% B2O3)	83.88	88.91	89.80	89.70	84.69

Ek Çizelge 29. -0.112+0.045 mm boyutunda 550 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	209.27	200.86	194.17	201.01	200.29
	Tenör (%)	23.21	25.67	27.36	26.45	26.07
ATIK	Ağırlık (gr)	12.39	8.27	8.01	4.47	3.97
	Tenör (%)	14.86	16.89	17.04	17.66	17.52
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	28.34	40.87	47.82	44.52	45.74
VERİM	(% B2O3)	82.36	87.43	90.08	90.15	88.54

Ek Çizelge 30. -0.112+0.045 mm boyutunda 600 °C sıcaklığa bağlı olarak değişen kalsinasyon deneyi sonuçları

SÜRE (dk)		5	15	30	45	60
KALSİNE KONSANTRE	Ağırlık (gr)	209.42	198.24	199.06	202.19	202.61
	Tenör (%)	22.71	26.81	27.13	27.11	26.97
ATIK	Ağırlık (gr)	12.76	9.21	7.13	3.87	3.22
	Tenör (%)	14.93	16.71	15.82	16.98	16.86
AĞIRLIK KAYBI	(gr)	27.82	42.55	43.81	43.94	44.17
VERİM	(% B2O3)	80.64	90.12	91.57	92.94	92.66

Ek Şekil 2. Emet-Kolemanit İşletmesi Borik Asit Fabrikası Teknolojik akım şeması

