

EMET BÖLGESİ DÜŞÜK TENÖRLÜ
KOLEMANİT STOKLARININ
DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
Ramazan BÜTÜNER
Doktora Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran - 2011

EMET BÖLGESİNDEN TENÖRLÜ KOLEMANİT STOKLARININ
DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ramazan BÜTÜNER

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

Danışman : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Haziran - 2011

KABUL ve ONAY SAYFASI

Ramazan BÜTÜNER'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı İZMİR BÖLGESEL
DÜĞÜK TENÖRLÜ KOLEMANİT STOKLARININ DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI ile ilgili bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri
uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

/ /2011

Üye : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Üye : Prof. Dr. Ender SÖNMEZ

Üye : Doç. Dr. Abdullah SEYRANKAYA

Üye : Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

Üye : Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

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

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

EMET BÖLGESİ DÜKÜK TENÖRLÜ KOLEMANİT STOKLARININ DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAKTIRILMASI

Ramazan BÜTÜNER

Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, 2011

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada, Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde yaklaşık 15 yıldan beri stoklarda beklemekte olan ve hiçbir şekilde değerlendirilemeyen 100.000 ton üzerindeki düşük tenörlü kolemanit stoklarının zenginleştirilerek satılabilir hale getirilmesi ve borik asit üretiminde değerlendirilebilirliği araştırılmaktadır. Espey bölgesinde bulunan ± 10 mm ve -3 mm düşük tenörlü kolemanit stokları ile Hisarcık bölgesinde bulunan $-25+3$ mm düşük tenörlü kolemanit stoklarının öncelikle kimyasal, fiziksel, minerolojik ve eşsal karakterizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Yak yöntemlerde oluşan atık ve atık barajı problemlerini en aza indirebilecek kuru zenginleştirme yöntemleri olan dekrepitasyon, mikrodalga ve kuru manyetik zenginleştirme yöntemleri uygulanmaktadır.

Kullanılan numunelerin tenörleri, Espey -3 mm'de % 35,64 B_2O_3 , Espey -10 mm'de % 28,87 B_2O_3 ve Hisarcık $-25+3$ mm'de % 29,57 B_2O_3 arasında değişmektedir. İçeriklerinde problem teşkil eden Arsenik ile Fe_2O_3 bulunmaktadır. B_2O_3 'ü kazanmak amacıyla dekrepitasyon, mikrodalga ve kuru manyetik ayırma yöntemleri kullanılarak deneyler yapılmaktadır. Yapılan dekrepitasyon çalışmalarında, Espey -3 mm'de, % 53,82 B_2O_3 tenörlü konsantre % 90,05 verimle, Espey -10 mm'de % 51,24 B_2O_3 tenörlü konsantre % 83,21 verimle, Hisarcık $+25-3$ mm'de ise % 53,03 B_2O_3 tenörlü konsantre % 89,68 verimle üretilmiştir. Mikrodalga çalışmalarında ise, Espey -3 mm'de, % 52,78 B_2O_3 tenörlü konsantre % 85,72 verimle, Espey -10 mm'de % 50,12 B_2O_3 tenörlü konsantre % 86,50 verimle, Hisarcık $+25-3$ mm'de ise % 49,98 B_2O_3 tenörlü konsantre % 86,37 verimle elde edilmiştir. Kuru manyetik ayırma çalışmalarında ise istenilen sonuç alınamamıştır. Elde edilen dekrepite ürünler ile borik asit üretimi yapılmış, uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Dekrepitasyon, Kolemanit, Mikrodalga.

INVESTIGATION ON THE BENEFICATION OF LOW GRADE COLEMANITE STOCKS IN EMET REGION, EMET

Ramazan BÜTÜNER

Ph. D. thesis, 2011

Thesis Supervisor : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

SUMMARY

In this study, the beneficiation of low-grade colemanite stocks of more than 100,000 tons which have been waiting for longer than nearly 15 years and can not be evaluated in any way in Emet Boron Works in order to get salable product, and availability of these ore in the production of boric acid were investigated. Chemical, physical, mineralogical and thermal characterization of low-grade colemanite stocks, in the sizes of - 10 mm and -3 mm, located in Espey region and in the size range of -25 +3 mm in Hisarcık region were primarily conducted. As a result, the studies were conducted on dry enrichment methods of decrepitation, microwave and dry magnetic separation to minimize the problems of the waste and waste dam coming out by the wet methods.

Grades of the samples used in this study vary as 35.64% B_2O_3 for -3 mm size of Espey, 28.87% B_2O_3 for -10 mm size of Espey and 29.57% B_2O_3 for -25 +3 mm size of Hisarcık. They contain arsenic and Fe_2O_3 in their contents that may be a problem with the sales. With the aim of covering B_2O_3 from this samples, experiments were conducted by using the methods of decrepitation, microwave and dry magnetic separation. In the decrepitation studies, grade of % 53,82 B_2O_3 was reached for -3 mm of Espey with efficiency of % 90,05, while grades of % 51,24 and % 53,03 B_2O_3 were reached for -10 mm of Espey and +25-3 mm of Hisarcık with efficiencies of % 83,21 and % 89,68 respectively. In the microwave experiments, a concentrate of % 52,78 B_2O_3 grade was obtained with the efficiency of, % 85,72 for -3 mm of Espey while the grades of % 50,12 B_2O_3 and % 49,98 B_2O_3 were obtained with the efficiencies of % 86,50 and % 86,37 for -10 mm of Espey and +25-3 mm of Hisarcık respectively. Conversely, expected results couldn't be achieved in dry magnetic separation experiments. Boric acid was produced by the decrepitated products obtained and proper results were achieved through the processes.

Keywords : Decrepitation, Colemanite, Microwave.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yoğ un uğ raklar sonucunda ortaya çıkan bu tez çalışmasē boyunca maddi ve manevi her türlü desteğ i benden esirgemeyen, üstün bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmanēn bakareyla sonuçlanmasēnē sağı layan değerli danış manēn sayēn Prof. Dr. Ahmet AYDINōa, Tez İz leme Komite üyeleri sayēn Prof. Dr. Ender SÖNMEZ ve sayēn Doç. Dr. Mustafa ÇINAR hocalarēna en iç ten kük ranlarēmē sunarēm.

Ayrēca, çalış malarēm sürecince bana her türlü kolaylē ē ve desteğ i sağı layan Emet Bor İz letme Müdürlerim sayēn Fethi DEMİR ve sayēn Emin TÜRKōe, İz letme Müdür Yardēncēn sayēn Dr. Mehmet SAVAŞōa, Planlama Müdürüm sayēn Cem ATÇAKANōa, laboratuvar bakımühendisi Muradiye DEREKÖYōe, kimyager Ayke UTLUōya, laboratuvar teknisyeni Talip ASENōe ve tüm laboratuvar çalışanlarēna, Etüt ve Kontrol Bakımühendisliğ inde çalışan tüm mesai arkadaşlarēna, Eti Maden İz letmeleri Genel Müdürlüğ ü Teknoloji Dairesi Başkanlēğ ēnda çalışan Emine Özlem YAVUKLU ÇİNDANōa, Fazlē Cabbar METİNōe, Bilal KENTÜRKōe ve Emrah ÇETİNōe ayrē ayrē teş ekkürü bir borç bilirim. İmini buraya yazamadēğ ēn ve bu çalış mamda en ufak katkıē bulunan herkese teşekkür ederim.

Son olarak, beni bu doktora çalış mamē yapmam için her zaman tevkik eden ve desteğ ini hiçbir zaman esirgemeyen biricik ekim kük ran BÜTÜNERōe ve canēm oğ ullarēm Kerem ile Emirōe, her zaman eğ itimimde desteğ ini eksik etmeyen annem ile rahmetli babama kük ranlarēmē bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
KİMLİKLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Bor elementi	3
2.2. Bor mineralleri	5
2.2.1. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	6
2.2.2. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	6
2.2.3. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	6
2.2.4. Propertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	6
2.2.5. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	6
2.2.6. Pandermit (Priseit) ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	7
2.2.7. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	7
2.3. Kolemanit minerali	7
2.3.1. Kolemanitin kimyasal bilekimi ve özellikleri	7
2.3.2. Ürünler ve ürünlerin kullanıldıkları alanlar	8
2.4. Bor Ürünlerinin başlıca kullanıldığı alanlar	8
2.4.1. Cam sanayi	11
2.4.2. Cam elyaf	11
2.4.3. Borosilikat camlar	11
2.4.4. Optik cam elyaf	12
2.4.5. Seramik sanayi (emaye, frit ve seramik)	12
2.4.6. Temizleme ve beyazlatma sanayi	12
2.4.7. Yanmay önleyici (geciktirici) maddeler	13
2.4.8. Tarım	13
2.4.9. Metalurji	14
2.4.10. Nükleer uygulamalar	14
2.4.11. Enerji depolama	14
2.4.12. Otomobil hava yastıkları antifriz	15

KÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.4.13. Artık temizleme	15
2.4.14. Borlu katēyakālar ve hücre yakālarē(fuel cells)	15
2.4.15. Füze ve uçuk yakālarē.....	15
2.4.16. Saĵ lāk	15
2.4.17. Dĵ er kullanēm alanlarē.....	15
2.5. Borun önemi ve gelecekteki yeri	16
2.6. Türkiye'deki ve dünyadaki bor yataklarēve rezervi	18
2.6.1. Dünyada durum	18
2.6.2. Türkiye'de durum	21
2.6.2.1. Bor yataklarēm Türkiye'de bulunuk ekilleri ve rezervleri	21
2.6.2.2. Emet borat yataklarē é é é é é é é	21
2.6.2.3. Kāka borat yataklarēé é é é é é é é	22
2.6.2.4. Bigadiç borat yataklarēé é é é é é é é	23
2.6.2.5. Kestelek kolemanit yataklarēé é é é é é é é	23
2.7. Bor üretim yöntemleri ve ürünler	23
2.7.1. Cevher hazālama ve zenginleştirme	24
2.7.2. Bor bilekikleri üretimi	27
2.7.2.1. Türkiye'de boraks üretimi	27
2.7.2.2. Türkiye'de borik asit üretimi	27
2.8. Emet Bor Kletme Müdürlüĵ ü	28
2.8.1. Tarihi ve kuruluşu	28
2.8.2. Emet Bor Kletme Müdürlüĵ ünde bulunan üretim tesisleri	29
2.8.2.1. Espey Açık Ocak é é	29
2.8.2.2. Espey Konsantratör Tesisi	30
2.8.2.3. Hisarcık Açık Ocak é é	32
2.8.2.4. Hisarcık Konsantratör Tesisi	32
2.8.2.5. Borik Asit Fabrikasē.....	36
3. BOR CEVHERLERİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	39
3.1. Fiziksel zenginleştirme yöntemleri	39
3.1.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme (Tavuklama)	39
3.1.2. Akāndēarak sēñlama ve boyuta göre sēñlandēma ile zenginleştirme	40
3.1.3. Manyetik ayāma ile zenginleştirme	40
3.1.3.1. Yak manyetik ayāma	41
3.1.3.2. Kuru manyetik ayāma	41
3.2. Elektrostatik ayāma ile zenginleştirme	44
3.3. Isđ ıklem (Dekrepitasyon) ve boyuta göre sēñlandēma ile zenginleştirme	44
3.4. Mikrodalga yöntemi ile zenginleştirme	47
3.4.1. Mikrodalga fēñlarē tarihçesi	50
3.4.2. Mikrodalga fēñlarē kullanēm alanlarē.....	51

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.3. Mikrodalga ısıtmanın avantaj ve dezavantajları.....	52
3.4.4. Mikrodalga fırınların çalışma prensipleri	53
3.4.5. Sıcaklık ölçümü	56
3.4.6. Sanayide kullanılan mikrodalga ekipmanları.....	57
3.4.7. Mikrodalga ile bor mineralleri üzerine yapılan çalışmalar	58
3.5. Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme	59
3.5.1. Flotasyonun avantaj ve dezavantajları.....	61
3.5.1.1. Avantajları	61
3.5.1.2. Dezavantajları	61
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	62
4.1. Malzeme ve yöntem	62
4.1.1. Malzeme	62
4.1.1.1. Espey düşük tenörlü -3 mm numunesine ait karakterizasyon çalışmaları.....	64
4.1.1.2. Espey düşük tenörlü -10 mm numunesine ait karakterizasyon çalışmaları.....	68
4.1.1.3. Hisarcık düşük tenörlü -25+3 mm numunesine ait karakterizasyon çalışmaları.....	72
4.2.2. Yöntem	76
4.2.2.1. Dekrepitasyon çalışmaları.....	76
4.2.2.2. Mikrodalga çalışmaları.....	77
4.2.2.3. Manyetik separatör çalışmaları.....	77
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	78
5.1. Dekrepitasyon deneyleri	79
5.1.1. Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri	79
5.1.1.1. Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar	87
5.1.1.2. Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan 0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar	88
5.1.2. Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesi ile yapılan dekrepitasyon deneyleri.....	88
5.1.2.1. Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar	96
5.1.2.2. Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm. numune ile yapılan çalışmalar	96
5.1.3. Hisarcık -25 + 3 mm düşük tenörlü stok numunesi ile yapılan dekrepitasyon deneyleri	97

KÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1.3.1. Hisarcık -25 + 3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar	105
5.1.3.2. Hisarcık -25 + 3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar	106
5.2. Mikrodalga çalışmaları	107
5.2.1. Espey -3 mm mikrodalga deneysel çalışmalar	108
5.2.1.1. Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar	116
5.2.1.2. Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan 0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar	117
5.2.2. Espey -10 mm mikrodalga deneysel çalışmalar	117
5.2.2.1. Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar é é é	125
5.2.2.2. Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan 0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar	126
5.2.3. Hisarcık -25+3 mm mikrodalga deneysel çalışmalar	126
5.2.3.1. -25 + 3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar	134
5.2.3.2. Hisarcık -25 + 3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar	135
5.3. Manyetik separatör çalışmaları	136
5.3.1. Espey -3 mm düşük tenörlü stoğu manyetik separatör çalışmaları	136
5.3.2. Espey -10 mm düşük tenörlü stoğu manyetik separatör çalışmaları	137
5.3.3. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stoğu manyetik separatör çalışmaları	138
5.4. Optimum sonuçlarla elde edilen konsantre ürünlerin borik asit yapımında kullanımı ve etkileri	139
6. SONUÇ VE ÖNERİLER:	142
KAYNAKLAR DİZİNİ	149
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	
1. Kolemanit B ₂ O ₃ analizi	
2. Kolemanitte Arsenik (As) Tayini (Gutzeit yöntemiyle)	

İÇERİKLER DİZİNİ

<u>İçerik</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor bileşiklerinin endüstrideki kullanış oranları.....	9
2.2. Dünya bor rezervlerinin oransal dağılımı.....	19
2.3. Ham bor ürünleri üretimi	26
2.4. Bor rafine ürün üretimi temel aşamaları	26
2.5. Espey konsantratör tesisi aşamaları ..é é	31
2.6. Hisarcık Konsantratör Tesisi aşamaları.....	34
2.7. Borik asit tesisi aşamaları é é é é é é é é é	38
3.1. Rulo tipi kuru manyetik ayırma.....	43
3.2. Bir mikrodalganın görünümü é	48
3.3. Frekans spektrumunun görünümü é é é é ..é	49
3.4. Frekans spektrumunun diğer bir görünümü é é	49
3.5. Bir mikrodalga ısıtma sisteminin basit diyagramı é é é é é é é é é é ..	54
3.6. Bir mikrodalga fırın yapısı ..é é é é é é é é é é é é é é ..é é ..	54
3.7. Magnetronun kesit şekli é ..é é é é é é é é é é é é é é é é é é ..	56
3.8. Döner tüplü mikrodalga fırını ..é é é é é é é é é é é é é é é é é ..	57
3.9. Kontinu tip bantlı mikrodalga fırını ..é é é é é é é é é é é é é é ..	58
4.1. Emet Bor İşletme Müdürlüğü yer belirleme haritası.....	63
4.2. Espey -3 mm küçük tenörlü stok numunesinin XRD sonuçları.....	65
4.3. Espey -3 mm numunesinin kümülatif EA ve EÜ grafiği i ..é é é	66
4.4. Espey -3 mm numunesinin kümülatif EA ve tenör dağılımı.....	66
4.5. Kristal kolemanite ait DTA ve TG analizi	67
4.6. Espey -3 mm küçük tenörlü stok numunesine ait DTA ve TG analizi	67
4.7. Espey -10 mm numunesinin XRD sonuçları.....	69
4.8. Espey -10 mm numunesinin kümülatif EA ve EÜ grafiği i é é é	70
4.9. Espey -10 mm numunesinin kümülatif EA ve tenör dağılımı.....	71
4.10. Espey -10 mm küçük tenörlü stok numunesine ait DTA ve TG analizi	71
4.11. Hisarcık -25+3 mm küçük tenörlü numunenin XRD sonuçları.....	73
4.12. Hisarcık -25+3 mm numunesinin kümülatif EA ve EÜ grafiği i é é é	74
4.13. Hisarcık -25+3 mm numunesinin kümülatif EA ve tenör dağılımı é ..é	74
4.14. Hisarcık -25+3 mm küçük tenörlü stok numunesine ait DTA ve TG analizi	75

İÇEKİLER DİZİNİ (devam)

<u>İçerik</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Deneyisel çalışmalarında uygulanan akın keması.....	78
5.2. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 10 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	81
5.3. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 20 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	81
5.4. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 30 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	82
5.5. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 40 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	83
5.6. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 50 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	83
5.7. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 60 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	84
5.8. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik sıcaklık ve sürelerde yapılan dekrepitasyon çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği i	85
5.9. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 10 dakikalık sürede elde edilen optimum tenör ve verim grafiği i	90
5.10. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 20 dakikalık sürede elde edilen optimum tenör ve verim grafiği i	90
5.11. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 30 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	91
5.12. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 40 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	92
5.13. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 50 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	92
5.14. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 60 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	93
5.15. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik sıcaklık ve sürelerde yapılan dekrepitasyon çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği i	94
5.16. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 10 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	99

İÇEKİLER DİZİNİ (devam)

<u>İçerik</u>	<u>Sayfa</u>
5.17. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 20 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	99
5.18. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 30 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	100
5.19. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 40 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	101
5.20. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 50 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	101
5.21. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli sıcaklıklarda 60 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği i	102
5.22. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun deş ikik sıcaklık ve sürelerde yapılan dekrepitasyon çalışmalarē sonucunda elde optimum tenör ve verim grafiği i	103
5.23. Mikrodalga akēm kemasē	108
5.24. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 600 w gücünde deş ikik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmalarē sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	109
5.25. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 900 w gücünde deş ikik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmalarē sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	110
5.26. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 1200 w gücünde deş ikik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmalarē sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	111
5.27. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve watt'a göre deş iken verim deş erleri	111
5.28. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre deş iken tenor deş erleri	112
5.29. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli süre ve güce göre deş iken % ağırlık grafiği i	113
5.30. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun deş ikik güç ve sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarē sonucunda elde edilen optimum tenör ve verim grafiği i	114
5.31. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 600 w gücünde deş ikik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmalarē sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	119

İÇEKİLER DİZİNİ (devam)

<u>İçerik</u>	<u>Sayfa</u>
5.32. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 900 w gücünde deşik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmaları sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	119
5.33. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 1200 w gücünde deşik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmaları sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	120
5.34. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre deşik verim değerleri	121
5.35. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre deşik tenör değerleri	121
5.36. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli süre ve güce göre deşik % ağırlık grafiği i	122
5.37. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun deşik güç (watt) ve sürelerde yapılan mikrodalga çalışmaları sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	123
5.38. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 600 w gücünde deşik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmaları sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	127
5.39. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 900 w gücünde deşik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmaları sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	128
5.40. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 1200 w gücünde deşik sürelerde yapılan mikro dalga çalışmaları sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği i	129
5.41. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre elde edilen verim değerleri	129
5.42. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre deşik tenör değerleri	130
5.43. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre deşik % ağırlık grafiği i	131
5.44. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun deşik güç ve sürelerde yapılan mikrodalga çalışmaları sonucunda elde edilen optimum tenör ve verim grafiği i	132
6.1. Dekrepitasyon (fırın) için önerilen akın keması	147
6.2. Dekrepitasyon (mikrodalga) için önerilen akın keması	148

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri	4
2.2. Bakırca bor mineralleri	5
2.3. Kolemanit minerali, ürünleri ve kullanıldığı alanlar ..	8
2.4. Bor cevher ve ürünlerinin kullanıldığı alanlar ..	9
2.5. Bor bileşiklerinin kullanıldığı alanlar ..	10
2.6. Türkiye borat yataklarının özelliği ..	20
2.7. Türkiye bor rezervleri ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmeler ..	20
2.8. Hisarcık konsantratör tesisi proje kodları ..	35
4.1. Emet bölgesinin jeolojisi ..	63
4.2. Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin kimyasal bilekimi ..	64
4.3. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun tane boyutuna göre tenör dağılımı ..	65
4.4. Espey -10 mm numunesinin kimyasal bilekimi ..	69
4.5. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun tane boyutuna göre tenör dağılımı ..	70
4.6. Hisarcık -25+3 mm numunesinin kimyasal bilekimi ..	72
4.7. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun tane boyutuna göre tenör dağılımı ..	73
4.8. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu ile yapılan 10 dakikalık ön dekrepatasyon deney çalışmalarında elde edilen numunenin tenör dağılımı ..	76
5.1. Espey -3 mm numunesinin dekrepatasyonu sonucu değışik süre ve sıcaklığa göre tenör ve verim değışerleri ..	80
5.2. Espey -3 mm düşük tenörlü numunenin optimum sonucunda yapılan komple analiz değışerleri ..	86
5.3. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan dekrepatasyon çalışması sonucu elde edilen değışerler ..	87
5.4. Espey -3 mm numunesi 0,50 mm'dik kışmında optimum sonuca göre yapılan dekrepatasyon çalışması ..	88
5.5. Espey -10 mm numunesinin dekrepatasyonu sonucu süre ve sıcaklığa göre değışiken tenör ve verim değışerleri ..	89
5.6. Espey -10 mm düşük tenörlü numunenin optimum sonucunda yapılan komple analiz değışerleri ..	95

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.7. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan dekrepitasyon çalışması sonucu elde edilen değerler éé é é é é é	96
5.8. Espey -10 mm numunesi 0,50 mm'lik kışmında optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalışması é é é é é é é é é é é é é é é é .	97
5.9. Hisarcık -25+3 mm numunesinin dekripitasyonu sonucu dakika ve sıcaklığa göre değ iken tenör ve verim değ erleri é é é é é é é é é é é é é é ...	98
5.10. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü numunenin optimum sonucunda yapılan komple analiz değ erleri é	104
5.11. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan dekrepitasyon çalışması sonucu elde edilen değ erler é é	105
5.12. Hisarcık -25+3 mm numunesi 0,50 mm'lik kışmında optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalışması é é é é é é é é é é é é é é é é .	106
5.13. Dekrepitasyon çalışmaları sonucunda olunan nihai sonuçlar é é é é é é ..	106
5.14. Espey -3 mm numunesinin mikrodalga çalışmaları sonucu süre ve güce göre değ iken tenör ve verim değ erleri é é é é é é é é é é é é é é é é .	109
5.15. Espey -3 mm düşük tenörlü numunenin mikrodalga çalışmaları nda elde edilen optimum sonuç değ erleri é	115
5.16. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan mikrodalga çalışması sonucu elde edilen değ erler é é é é é é é é é	116
5.17. Espey -3 mm numunesi -0,50 mm'lik kışmında optimum sonuca göre yapılan mikrodalga çalışması é .	117
5.18. Espey -10 mm numunesinin mikrodalga çalışmaları sonucu süre ve güce göre değ iken tenör ve verim değ erleri é é é é é é é é é é é é é é é é	118
5.19. Espey -10 mm düşük tenörlü numunenin mikrodalga çalışmaları nda elde edilen optimum sonuç değ erleri é ..	124
5.20. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan mikrodalga çalışması sonucu elde edilen değ erler é é é é é é é é é	125
5.21. Espey -10 mm numunesi 0,50 mm'lik kışmında optimum sonuca göre yapılan mikrodalga çalışması é .	126
5.22. Hisarcık -25+3 mm numunesinin mikrodalga çalışmaları sonucu süre ve güce göre değ iken tenör ve verim değ erleri é é é é é é é é é é é é é é é é ..	127
5.23. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü numunenin mikrodalga çalışmaları nda elde edilen optimum sonuç değ erleri é ..	133
5.24. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan mikrodalga çalışması sonucu elde edilen değ erler é é é ...	134

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.25. Hisarcık -25+3 mm numunesi 0,500 mm'dik kışmında optimum sonuca göre yapıdan mikrodalga çalışması é .	135
5.26. Mikrodalga çalışmaları sonucunda olunan nihai sonuçlar é é é é é é é é ..	135
5.27. Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu na ait manyetik separatör sonuçları é	137
5.28. Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu na ait manyetik separatör sonuçları é ..	138
5.29. Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu na ait manyetik separatör Sonuçları é .	139
5.30. Optimum sonuçlara göre elde edilen numunelere ait H ₃ BO ₃ (g/lt) konsantrasyon oranı é	140

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Watt	Güç
Hz	Frekans birimi, Hertz
KHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
THz	Terahertz
mm	Milimetre
°C	Santigrad derece
ppm	Milyonda bir
µm	Mikronmetre
λ	Dalga boyu
c	Işık hızı
f	Frekans
%	Yüzde

Kısaltmalar

Açıklama

XRD	X Işık Difraksiyon spektroskopisi
XRF	X Işık Floresans spektroskopisi
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
TG	Termo Gravimetrik Analiz
VPU	Ayarlı Güç Ünitesi

1. GİRİŞ

Ülkelerin endüstriyel ve ekonomik gelişmelerinde önemli yer tutan doğal kaynaklar tarih boyunca güncelliğini hiç yitirmeden, insanlığın ulaşmasına büyük çapta konu olmuştur. Doğal kaynakların en üst düzeyde değerlendirilebilen ülkeler ileri bir gelişme aşamasına gelmişlerdir. Sadece hammadde üreticisi olarak kalan ülkeler ise bu alanda yeterince gelişmemişlerdir [1].

Türkiye’de genel olarak bilinen ve maden denilince kömürden sonra ilk akla gelen bor madenleridir. Türkiye’nin bor madenlerinden bakka, dünya çapında söz sahibi olduğu ikinci bir maden yoktur [1].

Türkiye sahip olduğu bor minerallerinin rezervlerinin büyüklüğü, nitelikleri ve çeşitliliği açısından Dünyada birinci sırada bulunmaktadır [2, 3, 4]. Dünya bor rezervlerinin yaklaşık % 72’sine sahip olan Türkiye, 2007 yılı sonu itibarıyla bor piyasasında da birinci sıraya yükselmiştir [2, 4]. Ayrıca, Tüm dünya ülkeleri üleksit ve kolemanit mineralleri bakımından Türkiye’ye bağımlıdır. 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 [2, 3, 5]. Bor modern teknolojide çok çeşitli ve yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Geliken teknolojiler, bor kullanılmaya ve bora bağımlılık artmaktadır. Bu nedenle borun stratejik mineral olma özelliği giderek daha da artmaktadır [3, 6].

Dünyada geliken teknoloji adeta bor tüketiminin bir tekniği olmakta ve gün geçtikçe geliken yeni kullanım alanları boru dünya ekonomisinde biraz daha vazgeçilmez yapılmaktadır. [3, 7].

Son yıllarda, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Türkiye’de ve dünyada bor ürün ve teknolojilerinin geniş bir şekilde kullanımına yeni bor ürünlerinin üretimini ve geliştirilmesini teminen değişik alanlarda kullanımların araştırmaları için gerekli bilimsel ortamı sağlamaktadır. Ayrıca, Bor ve ürünlerini kullanan ve/veya bu alanda araştırma yapan kamu ve özel kuruluşlar ile işbirliği yaparak bilimsel araştırmaları yapmak, yaptırmak, koordine etmek ve bu araştırmalara katkı sağlamak amacıyla Bor Enstitüsü kurulmuştur. Bunun neticesinde Ülkemizde de bor teknolojisi gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde bulunan bor madenlerinin aranması, işletilmesi ve pazarlanması tamamen Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne yapılmaktadır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü konsantre bor ürünleri satışını azaltarak, katma değeri daha yüksek olan öğütülmüş kolemanit, rafine bor ürünlerinin üretim kapasitesini

ve satılabilirliğini artırmayı hedef haline getirmiş olup, Ar-Ge faaliyetleri ile yeni üretim metotları ve bor teknolojileri geliştirerek, yeni rafine bor ürünlerine yatırım yapmak suretiyle ürün çeşitliliğini artırma çalışmalarını yapmaktadır [2].

Ülkemizde işletilmekte olan baklıca bor minerallerinden Tinkal Eskişehir-Kırka, Kolemanit Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek, Üleksit ise Balıkesir-Bigadiç'te bulunmaktadır [2, 3, 7]. Çalışmanın yapıldığı Emet bölgesi Kolemanit yataklarının toplam rezervi B_2O_3 bazında 472,6 milyon ton olup, ortalama % 26-29 B_2O_3 tenörüne sahiptir. Hisarcık konsantratörü tüvenan cevher işleme kapasitesi 900.000 ton/yıl, konsantre cevher üretim kapasitesi 450.000 ton/yıldır. Espey konsantratörü tüvenan cevher işleme kapasitesi 600.000 ton/yıl, konsantre cevher üretim kapasitesi 215.000 ton/yıldır [3, 8, 9].

Türkiye'deki tüm tesislerde bor konsantresi üretimi su ile yıkama yoluyla killi malzemenin uzaklaştırılmasından sonra boyuta göre sınıflandırma esasına dayanmakta ve önemli oranlarda kaba ve ince artıklar birikimi olmaktadır. Bu artıklar stoklama ve çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca, artıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da büyük önem arz etmektedir [3, 10].

Ülkemiz için büyük önem taşıyan bor minerallerinin optimum şekilde değerlendirilmesi açısından, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet, Bigadiç ve Kestelek İşletme Müdürlüklerinde bulunan düşük tenörlü kolemanit stoklarının gerek çevre açısından, gerekse ekonomik açıdan bir an önce değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde yaklaşık 15 yıldan beri stoklarda beklemekte olan ve değerlendirilemeyen 100.000 ton üzerindeki düşük tenörlü kolemanit stoklarının zenginleştirilerek satılabilir hale getirilmesi, ya da borik asit üretiminde kullanılabilir hale getirilmesidir. Bu nedenle çalışmada Espey bölgesinde bulunan -3 mm, -10 mm ve Hisarcık bölgesinde bulunan ve -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stokları zenginleştirilerek satılabilir ürün haline getirilecek ve borik asit üretiminde kullanılabilirliği araştırılacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Bor Elementi

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81, özgül ağırlığı 2,84, ergime noktası 2190 °C, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur. Metalle ametal arasında bir yarıiletken özelliğe sahip bir elementtir. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir [1, 2].

51. yaygın element olarak yer kabuğunda boratlar ve bora silikatlar halinde bulunan bor elementi periyodik cetvelde III A grubunun metal olmayan tek elementidir. Birçok mineralin bilekiminde yer almasına rağmen oksijene ilgisi nedeni ile doğada serbest olarak değil, oksijene bağlı lanmet bileşikler halinde bulunur [3, 6, 11]. Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Borun element olarak kullanılması daha az yaygın olup yenidir. 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 yapıda monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmaştan sonra en sert elementtir [12].

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal denebilecekler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Bor elementinin yer kabuğundaki genel dağılımı çok az olmasına rağmen, belli ortamlardaki bor konsantrasyonlarının çok fazla orandaki artışları ekonomik bor yataklarının oluşumunu sağlamaktadır. Bor elementinin fiziksel özellikleri çizelge 2.1'de gösterilmektedir [2, 3].

Çizelge 2.1 Bor elementinin fiziksel özellikleri [2]

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)	$5 \times 10^{-7} \times 106$
Knoop sertliği	2100-2580 HK
Mohs sertliği (elmas-15)	11
Vickers sertliği	5000 HV

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Canlıların bu elementin varlığında evrim geçirdiği düşünülmektedir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,01 ila 1,5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları borun oksijen ile birleşim bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bölgelerinde bulunmaktadır [3].

Borun saf elementi ilk kez 1808 yılında Fransız kimyager J.L. Gay-Lussac ve Baron L.J. Thenard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir. Tarihte ilk olarak 4000 yıl önce Babiller Uzak Doğu'dan boraks ithal etmek ve bunu altın işlemeye kullanmışlardır. Mısırlılar da boru, mumyalamada, tıpta ve metalurji uygulamalarında kullandıkları bildirilmektedir. İlk boraks kaynağı olan Tibet Göllerinde olduğu inandırılmaktadır. Boraks, koyunlarda saklanan torbalarda Himalayalar'dan Hindistan'a getirilmiştir. Eski Yunanlılar ve Romalılar boratları temizlik maddesi olarak kullanmış, ilaç olarak ilk kez Arap doktorları tarafından M.S. 875 yılında kullanılmıştır. Borik Asit 1700'lü yılların başında borakstan yapılmış, 1800'lü yılların başında ise elementel bor elde edilmiştir [3].

Bor, biri amorf ve altısı kristalin polimorf olmak üzere, çekitli allotropik formlarda bulunur. Alfa ve beta rombohedral formlar en çok çalışılan kristalin polimorflardır. Alfa rombohedral yapı 1200 °C'nin üzerinde bozulur ve 1500 °C'de beta rombohedral form olur. Amorf form yaklaşık 1000 °C'nin üzerinde beta rombohedrala dönüşür ve her türlü saf bor ergime noktasının üzerinde ısıtılıp tekrar kristalleştirildiğinde beta rombohedral forma dönüşür [1, 3, 13].

Borun elektrik iletkenliği oda sēaclıđında çok dēkēk olmasēna rağmen ēēēēēēēēēē sēratle artar. Bu metallere has bir özellik değildir. Diğer metalik özelliklerinin de çok az olmasēndan dolayē bir ametaldir. Ergimik iken soğutulduğunda çok sert ve kēēēgan bir madde halini alē.

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane bēyēklēđēne bađlıēdē. Mikron ebadēndaki amorf bor kolaylıēkla ve bazen kēddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Bor yēksek sēaclıēta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazē diğer ērēnleri oluēturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sēaclıēa bađlıē olarak yavak veya patlayēēēolabilir ve ana ērēn olarak borik asit olukur [1, 3].

Bor, yanēē fakat tutukma sēaclıđēnē yēksek olmasēndan dolayē yanma sonucunda kolaylıēkla aktarabilecek katēērēn vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon aēđı a ēkarmamasē gibi bir özellik e sahip olduğundan katēyakē hēcresi olarak da kullanēılmaktadır [3, 12].

2.2 Bor Mineralleri

Bor mineralleri yapēdarēnda bulunan Ca, Na ve Mg elementlerine gēre sēnēēlandēēē. Sodyum kēkenli olanlara tinkal (boraks), kalsiyum kēkenli olanlara kolemanit ve sodyum-kalsiyum kēkenli olanlara ēleksit denilir. Ticari önem takēyan bor mineralleri genellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum bazlıēboratlardē [2, 3, 6].

Çizelge 2.2 Baklıēa bor mineralleri [2, 13, 14]

Adē	Formēlē	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)	z. Ađērlēk (g/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	
ēleksit	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	50,8	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		
Gēl sularē		1,5-2,0		

2.2.1 Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Tabiatta genellikle renksiz ve saydam olarak bulunur. Ancak içindeki bazē maddeler nedeniyle pembe, sarānsē gri renklerde de bulunabilir. Sertliĝ i 2-2,5 ve özgül aĝ 1,7 g/cm^3 ’dür. B_2O_3 içeriĝ i % 36,5’dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylākla tinkalkonite dōnūkebilir. Kille ara katkı tīnkalkonit ve ūleksit ile birlikte bulunur. Ŭlkemizde Eskiķehir-Kāka yataklarāndan ūretilmektedir [2, 13].

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

Tabiatta renksiz, saydam uzunlamasāna iĝ ne ķeklinde kūme kristaller halinde bulunur. Sertliĝ i 3, özgül aĝ 1,95 g/cm^3 ve B_2O_3 içeriĝ i % 51’dir. Soĝ uk suda az cōzūnūr. Kāka 'da Na-borat kūtlesinin alt ķsēm larāndadā. Dūnya 'da ise Arjantin ve ABD 'de bulunur [1, 2, 3, 13].

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

Tabiatta masif, karnābahar ķeklinde, lifsi ve sūtun ķeklinde bulunur. Saf olanē beyaz rengin tonlarāndadā. İpek parlaklāĝ ānda olanlarē da vardā. Genelde kolemanit, hidroborasit ve propertit ile birlikte tekekkūl etmiķtir. B_2O_3 içeriĝ i % 43’tūr. Ŭlkemizde Kāka, Bigadiķ ve Emet yōrelerinde, Dūnya’da ise Arjantin’ de bulunmaktadā [1, 3, 13].

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

Kirli beyaz, aķık sarānsē renklerde olup ānsal ve lifsi ķekilli kristaller ķeklinde bulunur. Kristal boyutlarē 5 mm ile 5 cm arasānda deĝ iķir. B_2O_3 içeriĝ i % 49,6’dā. Kestelek yataklarānda ūleksit ikincil mineral olarak gōzlenir. Ancak, Emet’te tekdūze tabakalē birincil olarak ve Doĝ anlar, İķ dekōy bōlgesinde kalān tabakalē olarak oluķmuktur [1, 3, 13].

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

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliĝ i 4-4,5 ve özgül aĝ 2,42 g/cm^3 ’dūr. B_2O_3 içeriĝ i % 50,8’dir. Suda yavak, HCl asitte hēzla cōzūnūr. Bor bileķikleri iķinde en yaygān olanā. Tūrkiye’de Emet, Bigadiķ ve Kestelek yataklarānda, dūnyada A.B.D.’de bulunur [1, 3, 13].

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 tekekkül etmiş olup, kireçtaşına benzer. Ülkemizde Sultançayır ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B_2O_3 içeriği % 49,8'dir [1, 2, 13].

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

Bir merkezden aksial ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele 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 kahverimsi renklerde (arsenik içeriğine göre) kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, Kırdeköy yörelerinde ve Kestelek'te bulunmaktadır [1, 2, 3, 13, 14].

2.3. Kolemanit Minerali

2.3.1 Kolemanitin kimyasal bileşimi ve özellikleri

Kolemanit, borlar içinde en yaygın mineral olduğundan bazı bor yatakları genellikle ticari anlamda, kolemanit yatakları olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu mineral, çok küçük yarıçaplı kristal kafeslerinden, 50 cm. çapındaki küresel ve kekilli nodüllere kadar değişen birçok formlarda ve sürekli tabakalar halinde bulunmaktadır, nodülleri oluşturan bireysel kristaller renksiz ya da parlak, koyu mavi ve lacivert renktedir.

Kristal yapısı: Monoklinal sistemde kristalleşmiş kristaller halinde

Renk : Renksizden beyaza değişen renkler

Çizgi rengi : Beyaz

Özgül ağırlığı : $2,37 \text{ g/cm}^3$

Sertliği : 4-4,5

Kristal yapısında : % 50,81 B_2O_3 , % 27,2 CaO , % 21,9 H_2O bulunmaktadır.

Kimyasal formülü : $2\text{CaO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Kolemanit, suda çok az HCl asitte kolay erir, ısıtıldığında ise ufalanır. Değerli mineraller olarak gözlenen kolemanit genelde aksial, bazen de küresel (yumru) doku göstermekte olup, gang minerallerine nazaran daha iri boyuttadır.

Kolemanit, Kırka, Bigadiç ve Kestelek yataklarında üleksitin bozulmasından ve myolitin dehidrasyonundan da oluşmaktadır. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, dünyada A.B.D.'de bulunur [1, 2, 3, 13].

2.3.2 Ürünler ve ürünlerin kullanıldıkları alanlar

Çizelge 2.3'de ürünler ve kullanım alanları genel olarak verilmektedir.

Çizelge 2.3 Kolemanit minerali, ürünleri ve kullanıldığı alanlar [2, 13]

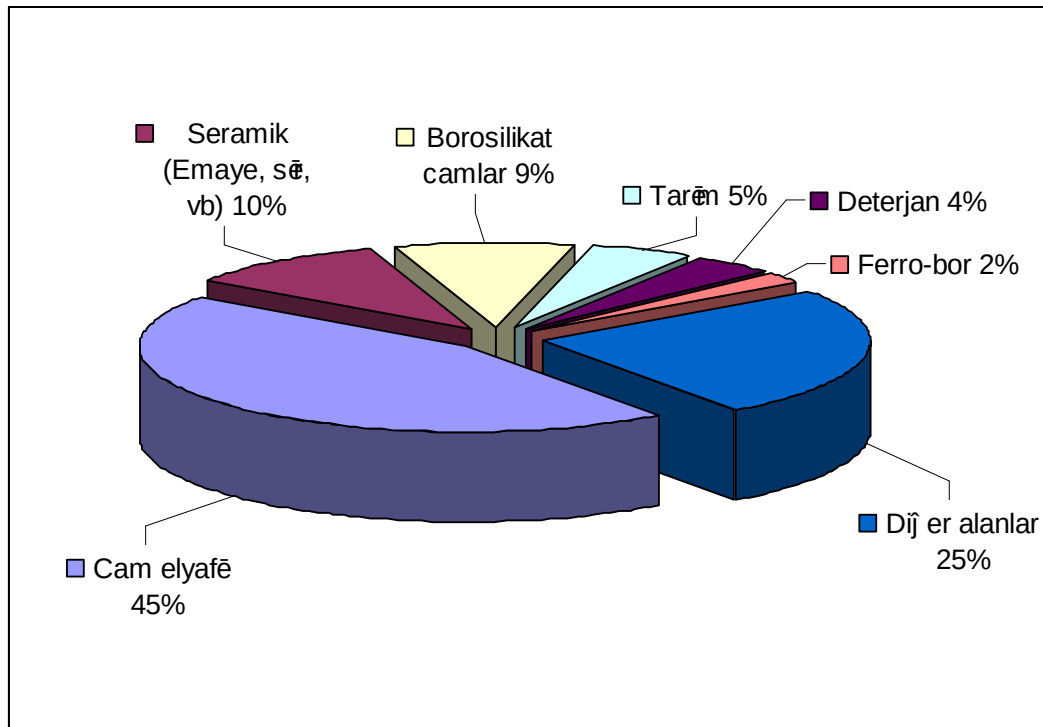
Mineral	Ürünler	Kullanıldığı Alanlar
Konsantre Kolemanit ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Borik Asit ve Boroksit	Selüloz İzolasyon Tekstil - Fiberglas Borosilikat cam Ateke dayanıklı maddeler Metalurji Sabun ve deterjan çektirleri Kimyasal bileşikler Seramik - Emaye Kozmetik (şampuan)

2.4 Bor Ürünlerinin Başlıca Kullanım Alanları

Bor ürünleri çok yaygın ve geniş bir alanda kullanılmaktadır. Kullanılan bazı alanlarda stratejik öneme sahiptir. Bor ürünlerinin kullanım alanları teknolojik gelişmelere paralel olarak giderek artmakta ve çeşitlenmektedir. Şekil 2.1'de bor minerallerinin endüstride kullanım alanlarına göre oranları Çizelge 2.4'te ise bor bileşiklerinin kullanım alanları verilmektedir [13, 15].

Çizelge 2.4. Bor cevher ve ürünlerinin kullanm alanlar[13].

Kalsiyum Borat Cevherleri	Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri	Sodyum Borat Cevherleri	Borlu Göl Sular	Boraks Penta ve Dekahidrat, Susuz Boraks	Susuz Borik Asit	Sodyum Perborat	Borik Asit
• Cam • Metalurji • Nükleer • Tekstil • Türlü • Fiberglas	• Selülozik • İzolasyon • Fiberglas • Metalurji • Nükleer • Cam	• Rafine boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat, susuz boraks		• Gübre • Fiberglas • Metalurji • Cam • Alet artıçlar • Cam • Yapı artıçlar • Kozmetik ve ilaç • Tarım • Fotoğraf • Tekstil boyalar • Dericilik • Yün koruyucu • Emaye, frit, s	• Antiseptik • Kozmetik • Yangın söndürücü • Deri • Böcek mücadelesi • Metalurji • Naylon ve tekstil san. • Sabun ve deterjanlar • Sı kaplama • Fotoğraf	• Deterjan ve alet artıçlar • Dezenfektan • Tekstil boyalar • Cam ve boyalar	• Cam • Ziraî mücadele • Böcek mücadelesi • Fotoğraf • Sabun ve deterjan • Naylon • Tekstil boyalar • Balmumu yumuk atıcı • Alet aç koruyucu • Sı kaplama • Antiseptik • Kozmetik • Yangın söndürücü • Sı kaplama • Metalurji • Nükleer • Sabun ve deterjan • Tekstil • Fiberglas



Şekil 2.1 Bor bileşiklerinin endüstrideki kullanım oranları[4]

Çizelge 2.5 Bor bileşiklerinin kullanım alanları[2, 13]

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf bor ve kristalin bor	Askeri piroteknik, nükleer silahlar ve nükleer güç reaktörlerinde muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık için kompozitler, spor malzemeleri için kompozitler
Bor Halidleri	Kaç sanayii, katalistler, elektronik parçalar, bor flamentler ve fiber optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık kimyasalları yapıştırıcılar, tekstil, finishingò bileşikleri, deterjan ve temizlik malzemeleri, yangın geciktiricileri, gübreler ve zirai araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama solüsyonları fluoborat tuzlar, sodyum bor hidrürler
Trimetil Borat	Kaplama solüsyonları fluoborat tuzlar, sodyum bor hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler	Özel kimyasalları saflandırma, kağıt hamurunu beyazlatma, metal yüzeylerin temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalist, polimer stabilizatörleri, yangın geciktiricileri
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil kalite cam elyafı bor alaşımları curuf yapıcı
Sodyum Bor Cevheri (Üleksit ve Probertit)	Yalıtım cam elyafı borosilikat cam
Borik Asit	Antiseptikler, bor alaşımları nükleer, yangın geciktirici, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, gübre, katalist, cam, cam elyafı emaye, seramik
Susuz Boraks	Gübre, cam, cam elyafı metalurjik curuf yapıcı emaye, seramik, yangın geciktirici
Sodyum Perborat	Deterjan ve beyazlatıcı tekstil
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjan, zirai ilaçlama, fotoğrafçılık, tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın geciktirici, gübre

2.4.1 Cam sanayii

Normal cam üretiminde 1000 k $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ m kuma 15 ile 50 k $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ m aras $\ddot{e}$ bor eklenebilir. Borosilikat veya pyrex gibi özel camlara borikasit ve boraks birlikte kat $\ddot{e}$ lir. Camlar $\ddot{e}$ n $\ddot{o}$ zellikle $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ genlekme katsay $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ n $\ddot{e}$ d $\ddot{u}$ k $\ddot{u}$ ren bor katk $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ ateke dayan $\ddot{a}$ kl $\ddot{e}$ camlarda % 12-15 B $_2$ O $_3$ $\ddot{u}$ i bulur. Bor, pencere cam $\ddot{e}$ k $\ddot{u}$ ke cam $\ddot{e}$ v.b. sanayilerde ender hallerde kullan $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. $\ddot{O}$ zel camlarda ise borik asit vazge $\ddot{c}$ ilemeyen bir madde olup, rafine sulu/susuz boraks, borik asit veya kolemanit/boraks gibi do $\ddot{g}$ al haliyle kullan $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. $\mathcal{C}$ ok $\ddot{o}$ zel durumlarda potasyum pentaborat ve bor oksitler kullan $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. Bor, ergimik haldeki cam ara mamul $\ddot{u}$ ne kat $\ddot{e}$ ld $\ddot{e}$ $\ddot{e}$ nda onun viskozitesini artt $\ddot{e}$ r $\ddot{e}$ p, y $\ddot{u}$ zey sertli $\ddot{g}$ ini ve dayan $\ddot{a}$ kl $\ddot{e}$ $\ddot{e}$ n $\ddot{e}$ y $\ddot{u}$ kselett $\ddot{i}$ inden $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ ya kark $\ddot{e}$ izolasyonunun gerekli g $\ddot{o}$ r $\ddot{u}$ ld $\ddot{u}$ $\ddot{u}$ cam $\ddot{u}$ r $\ddot{u}$ nlerine kat $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. A.B.D.'de kullan $\ddot{e}$ lan bor oksitin % 9'u B.Avrupa'da, % 31'i cam v.b. sanayilerde ger $\mathcal{C}$ eklemektedir [2, 13].

2.4.2 Cam elyaf $\ddot{e}$

Kullan $\ddot{e}$ lan bor oksidin A.B.D.'de % 24' $\ddot{u}$, B.Avrupa'da % 14' $\ddot{u}$ yal $\ddot{a}$ $\ddot{e}$ cam elyaf $\ddot{e}$ na harcanmaktad $\ddot{e}$ r. Ergimik cama % 7 borik oksit verecek k $\ddot{e}$ kilde boraks pentahidrat veya $\ddot{u}$ leksitprobertit kat $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. Maliyetine ba $\ddot{g}$ l $\ddot{e}$ olarak sulu veya susuz tipleri kullan $\ddot{e}$ lmakta, baz $\ddot{e}$ hallerde de borik asitten yararlan $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. K $\ddot{u}$ stenilen yal $\ddot{a}$ $\ddot{e}$ $\ddot{d}$ ek derecesine g $\ddot{o}$ re $\mathcal{C}$ ekitli spesifikasyonlar tan $\ddot{e}$ mlan $\ddot{e}$ r: R-1, R-7 v.b. gibi. Roll, loft veya s $\ddot{u}$ nger halinde imal edilmektedir. Binalarda asbestin yerine kullan $\ddot{e}$ lmaya baklanm $\ddot{a}$ t $\ddot{e}$ r. Bakl $\ddot{e}$ ca imalat $\mathcal{C}$ $\ddot{d}$ ar Owens-Corning Fiberglass, Johns-Manville, Certain Teed, PPG Industries (A.B.D.) $\ddot{u}$ de bulunmaktad $\ddot{e}$ r.

Hafifli $\ddot{g}$ i, fiyat $\ddot{e}$ n $\ddot{e}$ n d $\ddot{u}$ k $\ddot{u}$ kl $\ddot{u}$ $\ddot{u}$, gerilmeye olan direnci ve kimyasal etkilere dayan $\ddot{a}$ kl $\ddot{e}$ $\ddot{e}$ nedeniyle plastiklerde, sinai elyaf v.b. de, lastik ve ka $\ddot{g}$ $\ddot{a}$ ta yer edinm $\ddot{i}$ k olan cam elyaf, kullan $\ddot{e}$ ld $\ddot{e}$ $\ddot{e}$ malzemelere sertlik ve dayan $\ddot{a}$ kl $\ddot{e}$ $\ddot{d}$ ek kazand $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r. B $\ddot{o}$ ylece sertlekmi $\ddot{k}$ plastikler otomotiv, u $\mathcal{C}$ ak sanayilerinde, $\mathcal{C}$ elik ve di $\ddot{g}$ er metalleri ikame etmeye baklam $\ddot{a}$ t $\ddot{e}$ r. Ayr $\ddot{e}$ ca, spor malzemelerinde de (kayaklar, tenis raketleri v.b.) kullan $\ddot{e}$ lmaktad $\ddot{e}$ r [1, 2, 3, 13].

2.4.3 Borosilikat camlar

Cam $\ddot{e}$ n $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ ya dayanmas $\ddot{e}$ n $\ddot{e}$ cam imalat $\ddot{e}$ s $\ddot{e}$ ras $\ddot{e}$ nda $\mathcal{C}$ abuk ergimesini ve devitrifikasyonun (kristallenme) $\ddot{o}$ nlenmesini sa $\ddot{g}$ layan bor; yans $\ddot{a}$ ma, k $\ddot{e}$ ma, parlama gibi $\ddot{o}$ zelliklerini de artt $\ddot{e}$ rmaktad $\ddot{e}$ r. Bor, cam $\ddot{e}$ asite ve $\mathcal{C}$ izilmeye kark $\ddot{e}$ korur. Cam eri $\ddot{g}$ inin % 0,5 ile % 0,23' $\ddot{u}$ boroksitten olukmaktad $\ddot{e}$ r. $\ddot{O}$ rne $\ddot{g}$ in Pyrex'de % 13,5 B $_2$ O $_3$ vard $\ddot{e}$ r. Genellikle cama boraks, kolemanit, borik asit halinde karma olarak ilave edilmektedir. Otolar, f $\ddot{e}$ $\ddot{e}$ nl $\ddot{e}$ r, $\mathcal{C}$ amak $\ddot{e}$ makinalar $\ddot{e}$ $\mathcal{C}$ anak/ $\mathcal{C}$ $\ddot{o}$ ml $\ddot{e}$ k v.b. de bu t $\ddot{u}$ r camlar tercih edilmektedir. A.B.D.'de bu t $\ddot{u}$ r cam $\ddot{u}$ reten

100'e yak n firma vard r. Biri de Corning Glass Works'dur. General Electric, Andron Hocking  nemliler aras nda yer almaktadır [1, 2].

2.4.4 Optik cam elyaf 

Optik cam elyaf    k fotonlar n n etkin bi imde transferini sa lamaktadır. K giliz Felecon'un  retti i yeni bir elyaf saniyede 140 milyon bayt 27 km. uza a ta eyabilmektedir. Bu lifler % 6 borik asit ihtiya etmektedir. Phillips'in Hollanda'daki fabrikas nda bu lifler  retilmektedir [1, 2].

2.4.5 Seramik sanayii (emaye, frit ve s r)

Boraks, seramik ekyalarda s r gibi kullan dan bir katkı maddesidir. Nitekim boraks da silis gibi, ergimed n sonra bazlarla cams  bilek kler olu turmak  zere birle ir. Boraks s rlar n ak kanl    n  ve olgunlakma     n  d k rerek parlakl    n  arttır r, yap ma kolayl     sa lar ve   mlek ilikteki renklerin tonunu belirler. K stenilen  kleme ve kullanma  zelliklerini sa lamak i in borat miktarlar  di er bile im maddeleri ile dengelenir. Emayelerin vizkozitesini ve doyunlakma     n  azaltan borik oksit % 20'ye kadar kullan abilmektedir.  zellikle emayeye kat dan hammaddelerin % 17-32'si borik oksit olup, sulu boraks tercih edilir. Baz hallerde borik oksit veya susuz boraks da kullan r. Metalle kaplanan emaye onun paslanmas n   nler ve g r n k ne g zellik katar.  elik, al minyum, bak r, alt n ve g m k emaye ile kaplanabilir. Emaye asite kark dayan kl     arttır r. Mutfak aletlerinin  o u emaye kaplamal d r. Banyolar, kimya sanayi te hizat  su tanklar  silahlar v.b. de kaplan r. 1997 y  nda Bat 'n n seramik end strisinin borat t ketimi 69.000 ton civar nda ger eklemi tir. Serami i  izilmeye kark  dayan kl k dan bor, % 3-24 miktar nda kolemanit halinde s rlara kat r [1, 2, 13, 14].

2.4.6 Temizleme ve beyazlatma sanayii

Sabun, deterjanlara mikrop  ld r c  (jermisit) ve su yumu at c  etkisi nedeniyle % 10 boraks dekahidrat ve beyazlat c  etkisini art rmak i in toz deterjanlara % 10-20 oran nda sodyum perborat kat lmaktadır [1, 2, 13, 14].

 amakov y kamada kullan dan deterjanlara kat dan sodyum perborat ($\text{NaBO}_2\text{H}_2\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) aktif bir oksijen kayna    oldu undan etkili bir a  art c d r. Perboratlar n  amakov y kamada klorlu temizleyicilerin yerini almas  s cak veya so uk su kullan m na ba l d r.   nk  perboratlar ancak 55  C'nin  st nde aktif hale ge erler. Ancak, ABD de kullan dan aktivat r (tetracetylenediamine) kullan n  ile bu sorun giderilmeye  al nm  r [1, 2, 13, 14].

1997 yēde deterjan sanayiindeki bor tüketimi; Batē Avrupaāda 242.000 ton ve Kuzey Amerikaāda ise 21.000 tonōdur. Batē Avrupaāda tüketilen borun % 35ā, Batē Avrupaāda ise % 5ā deterjan sanayiinde kullanēlmaktadır. Dünya perborat talebinin % 86ōsē Batē Avrupa tarafından tüketilmektedir [1, 2, 13, 14].

2.4.7 Yanmayē önleyici (geciktirici) maddeler

Borik asit ve boratlar selülozik maddelere, atekē karē dayanēklēdek saē larlar. Tutukma sēcaklē ēna gelmeden selülozdaki su moleküllerini uzaklaētır ve olukan kömürün yüzeyini kaplayarak daha ileri bir yanmayē engellerler.

Ateke dayanēklē madde olarak selülozik yalān maddelerinin kullanēnē borik asit artmasēna yol açmātır. A.B.D.'de kullanēmakla birlikte, son yēlarda çok fazla yaygēnlakmamātır.

Bor bilekikleri plastiklerde yanmayē önleyici olarak giderek artan oranlarda kullanēlmaktadır. Bu amaç için kullanēan bor bilekiklerinin bakānda çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum fluoborat gelir [4, 13, 16].

2.4.8 Tarān

Bor mineralleri, bitki örtüsünün gelişmesini artēmak veya önlemek maksadēyla kullanēlmaktadır. Bor, deē ikken ölçülerde, birçok bitkinin temel besin maddesidir. Bor eksikliē i görülen bitkiler arasēnda yumru köklü bitkiler (özellikle keker pancarē) kaba yoncalar, alfaalfalar, meyva aē açlarē üzüm, zeytin, kahve, tütün ve pamuk sayēlmaktadır. Bu gibi hallerde susuz boraks ve boraks pentahidrat içeren karēek bir gübre kullanēlmaktadır. Bu da, suda çok eriyebilen sodyum pentaborat ($\text{NaB}_5\text{O}_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) veya disodyum oktaboratē ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$) mahsulün üzerine püskürtülmesi suretiyle uygulanmaktadır [13].

Bor, sodyum klorat ve bromosol gibi bilekiklerle birlikte otlarē temizlenmesi veya topraē ēn sterilleştirilmesi gereken durumlarda da kullanēan maddelerin bir kēsmēnē tekkil etmektedir. Bu maddeler, cins ayēdetmeme özellikleri sebebiyle bütün bitki örtüsünün devamlē olarak yok edilmesinin gerekli olduē u durumlarda, kerestelerin depolandē ē alanlarda, petrol rafinelerinde ve demiryolu hatlarēnda kullanēr [1, 2, 3].

2.4.9 Metalurji

A.B.D. Flinkote Company'nin aldığı bir patentte BOF yöntemi ile çelik üretiminde kireç ergimesinin çabuklaştırılması ve cüruf kontrolünde flor yerine bor kullanılması daha avantajlı olacağı tescil edilmiştir. Kanada, Batı Almanya, Japonya ve ülkemizde çelik üretiminde florit yerine kolemanit kullanılmaktadır.

Boratlar yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sive oluşturma özelliği nedeniyle demir dökme metal sanayiinde koruyucu bir cüruf oluşturu ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Bor bileşikleri, elektrolit kaplama sanayiinde, elektrolit elde edilmesinde sarf edilmektedir. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise; kalay kurkum, bakır, nikel gibi demir dökme metaller için elektrolit olarak kullanılmaktadır. Alakânlarda, özellikle çeliğin sertliğini artırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu konuda ferrobor oldukça önem kazanmaktadır. Çelik üretiminde 50 ppm bor ilavesi çeliğin sertleştirilebilir niteliğini geliştirmektedir [1, 2, 3, 13].

2.4.10 Nükleer uygulamalar

Atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında (B_{10}) bor kullanılır.

Atom reaktörlerinde borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alakânları kullanılır. Paslanmaz borlu çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yaklaşık her bir bor atomu bir nötron absorbe etmektedir .

Ayrıca, nükleer atıkların depolanması için kolemanit kullanılmaktadır [13].

2.4.11 Enerji depolama

Termal storage pillerindeki, sodyum sülfat ve su ile yaklaşık % 3 ağırlıktaki boraks dekahidratın kimyasal karışımı gündüzün güneş enerjisini depolayıp, gece ısıtma amacıyla kullanılabilmektedir. Ayrıca, binalarda tavan malzemesine konulduğu takdirde güneş ısıları emerek, evlerin ısıtılmasına yardımcı olabilmektedir.

Ayrıca, bor, demir ve nadir toprak elementleri kombinasyonu (METGLAS) % 70 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu güçlü manyetik ürün; bilgisayar disk sürücüler, otomobillerde direk akın-motorları ve ev ekipmanlarıyla portatif güç aletlerinde kullanılmaktadır [1, 3, 13].

2.4.12 Otomobil hava yastıkları antifriz

Bor hava yastıkları hemen kıkırmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Çarpma anında, elementel bor ile potasyum nitrat toz karışımı elektronik sensör ile harekete geçirilir. Sistemin harekete geçirilmesi ve hava yastıkları harekete geçirilmesi için geçen toplam zaman 40 milisaniyedir. Ayrıca otomobillerde antifriz olarak ve hidrolik sistemlerde de kullanılmaktadır [13, 14].

2.4.13 Artık temizleme

Sodyum borohidrat, artık sulardaki cıva, kurşun, gümüş gibi ağır metallerin sulardan temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır [1, 2, 13, 14].

2.4.14 Borlu katı yakıtlar ve hücre yakıtları (fuel cells)

Son günlerde sodyum borohidritinin kullanıldığı sodyum borohidrattan enerji üreten hücre yakıtıyla ilgili çalışmalar hız kazanmaktadır. Sodyum borohidratın kimyasal bağlarında hidrojen mevcut olup, katalist hidrojeni açığa çıkarmakta veya elektrik üretmektedir. Bu üretim de temel prensip ise su ile boraksın reaksiyonudur. Bu reaksiyondan üretilen hidrojen direk içten yanmalı motorlara beslenebilir veya hücre yakıtlarında kullanılabilirler [1, 2, 13, 14].

2.4.15 Füze ve uçuk yakıtları

Bor kimyasalları özellikle füze yakıtı olarak kullanılmaktadır. Sodyum tetraborat, özel uygulamalarda yakıt katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [13].

2.4.16 Sağlık

BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesine yardımcı ve sağlıklı hücrelere zararların minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir. İnsan vücudunda normalde bulunan bor, bazı ülkelerde tabletler şeklinde üretilmeye başlanmıştır [1, 2, 3, 13, 14].

2.4.17 Diğer kullanım alanları

Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere boraks, antifriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır. Silisyum üretiminde bor triklorür, polimer sanayiinde, esterleme ve alkilleme işlemlerinde ve etil benzen üretiminde bor trifluorür katalizör olarak kullanılmaktadır. Ahşap, malzeme korunması için sodyum oktaborat kullanılır. % 30'luk sodyum oktaborat çözeltisi ile muamele görmüş tahta malzeme yavaş yavaş kurutulursa

bozulmadan ve küllenmeden uzun süre kullanılabilir. Bor karbür ve bor nitrür; döküm çeperlerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı (refrakter) malzeme püskürtme memelerinde de akmaya dayanıklı (abrasif) malzeme olarak kullanılan önemli bileşiklerdir. Tekstil sanayiinde, nikastalı yapıtaşları viskozitlerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıtaşları çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde; boru ve tel çekmede akıcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılmaktadır [1, 2, 3, 13, 14].

Borun ilerleyen senelerde önemli miktarlarda kullanılacağı bir sektörde çimento endüstrisidir. Farine bor eklenerek üretilen çimento klinkeri ve çimentonun önemli avantajları vardır. Borlu çimentonun özellikleri arasında klinkerin öfütülme enerjisinde % 50'ye varan bir azalma, basınç dayanımının artması ve klinkerin pıkmı sıcaklığına düşmesi sayılabilir. Yapılan bir araştırmada % 1 kolemanit katkısı ile klinker sıcaklığına 100 °C düşürülebildiği gözlenmiştir [1, 2, 13, 17, 18].

Fiber optik, kozmetik, kauçuk ve plastik sanayii

Fotoğrafçılık, patlayıcı maddeler (havai fişek vb.)

Hidrolik yağlar, petrol boyaları yanmayan ve erimeyen boyalar, tekstil boyaları

Zırpara ve akıcılar, kompozit malzemeler

Manyetik cihazlar, ileri teknoloji araştırmaları (moleküler biyoloji vb.)

Mumyalama ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır.

2.5. Borun önemi ve gelecekteki yeri

Bor ve borlu yakıtlar, 1950'li yılların başında ABD Savunma Programında geleceğin yakıtı olarak adlandırılmak ve nükleer silahlanma döneminde 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 [3, 7, 13, 14, 19].

Bor madeninin önemi, ülkeleri bu konuda çıkarlarına düşünmeye ve planlı davranmaya sevk etmektedir. Bor hakkında sürdürülen araştırmaların, bor bileşiklerinin yüksek teknoloji ürünlerdeki yeni kullanım alanlarına keşfetmesi, bu madeni gelecekte, petrol gibi üzerinde uluslararası mücadelenin yakındır bir ürün konumuna getirecektir [7, 11, 13, 19].

Bor madeninin kullanım miktarındaki asıl önemli artış, borun yakıt takviyesi olarak kullanılmasyla sağlanabilecektir. Birçok pil, akümülatör vs. enerji üretim aygıtında yakıt olarak kullanılan hidrojenin elde edilme, nakil ve depolama yöntemleri bu aygıtların

verimliliğinin artması karşındaki en önemli sorunlardır. Çünkü hidrojen çok düşük sıcaklıklarda saklamakta (-252 °C), gaz halindeyken çok yer kaplamakta, patlayıcı bir gaz olması sebebiyle saklama ve depolama işlemleri sırasında tehlike arz etmektedir. Bu sebeple, bor bileşiklerinin hidrojen saklama kapasiteleri, bu bileşiklerin yakıt taşıyıcısı olarak yeni bir öneme kavuşabileceğine işaret etmektedir [7, 11, 19].

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 sağlamamaktadır. Katma değer in yurt içinde kalması için Ar-Ge'ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi gerekir [3, 7, 11, 19].

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 yatakları 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 [11].

Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan ülkemiz, bor minerali ve ticari boratlar üretiminde önemli bir yerdedir. Ancak, sahip olduğu cevheri en iyi şekilde değerlendirebilmek için ürün çekidini 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 bakılmalıdır. Ayrıca bor uç ürünlerini üretebilmek için Türkiye pazar araştırması, fizibilite, maliyet düşürmeye yönelik proses geliştirme gibi çalışmalar hızla tamamlanmalıdır [3, 7, 11, 19].

Yak n bir gelecekte k  anda motorlu ara larda kullan dan petrol n (benzin, mazot) alternatifi  bor  madeni olaca   n  bilim adamlar ifade etmektedir. D nya bor rezervlerinin %72 si T rkiye dedir. T rkiye, y zy   n zda petrol kadar  nemli ve hatta petrolden bile daha  nemli olaca    varsay dan bor madeninin d nyadaki en b y k rezervine sahip  lkesidir. T rkiye nin bor madenlerinin rezerv  mr  412 y  iken, d nyan n ikinci b y k rezerv  lkesi Rusya n n bor rezervleri 85 ve ABD ise 76 y l k  mre sahiptir [3, 11, 19].

D nya rezervleri ve bu rezervlerin t ketim art k h zlar  g z  n nde bulunduruldu  unda 50-80 y  sonra  lkemiz bor yataklar n  d nyadaki tek bor kayna    olma ihtimali y ksektir. Ancak,  lkemiz bu konunun avantajlar n  tam anlam yla de  erlendirememekte, gerek rafine (ticari boyutta  retilen) bor  r nleri, gerekse bor u   r nleri (ham ve rafine  r nlerinden  retilen bor  r nleri) ihracat ndan potansiyelin alt ndan gelir elde etmektedir [3, 6, 11, 12, 19].

T rkiye en b y k rezerv sahibi olarak bor d nya piyasas n  ve fiyatlar n  belirleyecek konumda olma imk n na sahiptir. Ancak, d nyadaki  rnekler, maden zengini geli mekte olan  lkelerin, bu madenlerden yeterince yararlanamad   n  ham madene sahip  lkelerden ziyade, bu madenle ilgili teknolojiye sahip olan geli mik  lkelerin piyasalar  kontrol etti  ini g stermektedir [3, 7, 11, 12, 19].

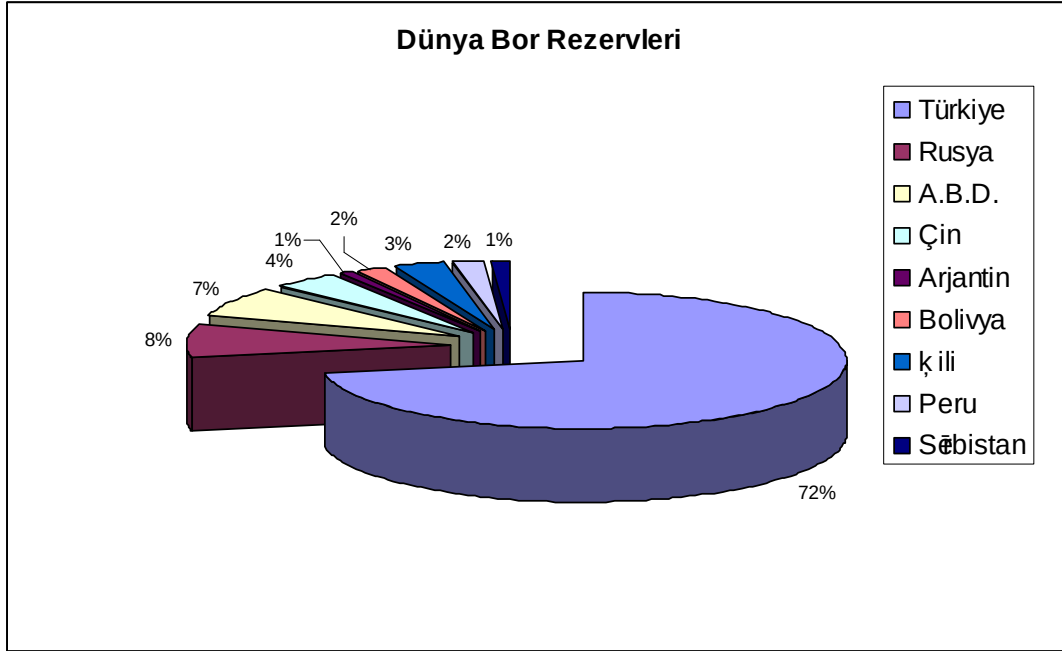
2.6. T rkiye deki ve D nyadaki Bor Yataklar  ve Rezervi

2.6.1. D nyada durum

Ekonomik boyuttaki bor yataklar  borun oksijen ile ba  lanm k bilekikleri halinde daha  ok T rkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan,  in, Bolivya, Peru ve  ili nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan baz  b lgelerinde bulunmaktadır [6].  ekil 2.2 de D nya da bor bulunan  lkelerin rezervlerinin oransal da     n verilmektedir.

ABD deki bor yataklar   lkenin bat  ndaki Kaliforniya ve Nevada eyaletleri s n lar  i erisinde bulunmaktadır. Yataklar buharlakma yoluyla olu mudur. Rusya daki bor yataklar  Hazar Denizi ile Ural Nehri aras nda kalan b lgede yo  unlu maktadır. Yataklar ikinci ve    nc  zaman kaya lar n n bindirme ile  rtt     250 km² lik alan  kaplayan Permiyan Tuz Domu ndaki k  k bir zon boyunca olu mudur. Arjantin bor yataklar  genellikle Tinkalayu B lgesinde yo  unlu m  t  ve  retim b y k bir k   bu yataklardan sa  lanmaktadır. Boraks Pliosen tortullar i erisinde olup 30 m kal nl    nda, 100 m  ap nda  ok ince kristalli bir mercek  ekliindedir [20].  ili  leksit i eren bor yataklar na sahiptir. En  nemli yatak olan Salor de Ascotan da  leksit y zeyin hemen alt ndad  ve d zensiz k tleler halinde olu mudur. Tabakalar baz  yerlerde 1 m kal nl   a ulakmalar na ra  men ortalama 30 cm kal nl    ndad .

Peru'da yataklar Arequipa Bölgesi'nin doğusundaki büyük bir küvet olan Laguna de Salinas'da bulunmaktadır [3, 21].



Şekil 2.2 Dünya bor rezervlerinin oransal dağılımı [4].

Ülkemiz dünya rezervlerinin % 72'sine sahip olmasının yanı sıra mineral çeşitliliği ve cevher tenörü bakımından da doğal üstünlüğe sahiptir [3]. Bor rezervleri ile ilgili yayınlanmış bilgiler arasında önemli farklılıklar olmakla birlikte, Amerikan Maden Bürosu ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından verilen bilgiler dikkate alındığında, toplam dünya görünür rezervinin B_2O_3 bazında 1.200 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Dünya toplam bor rezervinin % 64,4'ü Kolemanit, % 31,8'ini Tinkal ve % 3,7'sini Üleksit minerali oluşturmaktadır [3, 4, 13].

Türkiye'deki borat yatakları ana özellikleriyle çizelge 2.6'da da, bor rezervleri ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmeler ise çizelge 2.7'de verilmektedir.

Çizelge 2.6. Türkiye borat yataklarının özelliği [22]

Yer	Yak	Borat zonu kalınlığı (m)	Genel bilgiler
Eskişehir-Kırka	Pliyosen	170	Tavan çörtlü kireçtaşı taban Miyosen Kireçtaşı boratlar, kil, marn, tuf ile almanit. Boraks, az kolemanit, uleksit
Kütahya-Emet	Miyosen	175	Tavan çörtlü kireçtaşı taban karmışlı seri boratlar, kil, marn ve tuf ile almanit (iki veya daha çok kayın sıralanmasında karışıklı değil, aralıklı olarak sağ ve solda yerleşmiş olan). Kolemanit.
Balıkesir-Bigadiç	Üst Miyosen	100	Tavan kireçtaşı marn, taban kristal tuf, boratla kil, marn ve tuf ile almanit (1.zon). Tavan taban kristal tuf, boratlıkil marn, tuf (2.zon). Kolemanit, uleksit.
Bursa-Kestelek	Pliyosen	100	Tavan Pleistosen çakıllar, taban konglomera kireçtaşı boratlıkil, marn tuf, kireçtaşı ile almanit. Kolemanit, az uleksit, probertit.

Çizelge 2.7 Türkiye bor rezervleri ve Eti Maden işletmeleri Genel Müdürlüğüne bağlı işletmeler [4]

Üretim Yeri	Cevher	Rezerv (10 ⁶ ton)	Rezerv (B ₂ O ₃ bazında 10 ⁶ ton)	Tenör (% B ₂ O ₃)
Kırka Bor İşletmesi	Tinkal	741	206,0	26-28
Bigadiç Bor İşletmesi	Üleksit+ Kolemanit	618	184,1	28-30
Emet Bor İşletmesi	Kolemanit	1.679	472,6	26-29
Kestelek Bor İşletmesi	Kolemanit	5,85	1,8	29-31
Toplam		3.043,75	864,5	

2.6.2. Türkiye'de durum

2.6.2.1 Bor yataklarının Türkiye'de bulunum şekilleri ve rezervleri

Türkiye'de Kamu İktisadi Tekebbüsü (KİT)ne ait olan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü aracılığı ile bor madenleri, Burhaniye'den Savaktepe'ye, Susurluk'tan Dursunbey'e, Bigadiç'ten Sultançayır'ına, Bursa Kestelek'ten Sındırgı'ya, Kütahya Emet'ten, Eskişehir Kâka'ya kadar 1 milyon 700 bin hektarlık bir bor maden rezervleri alanı kamusal olarak işletilmektedir. Bu alandaki bor rezervleri yaklaşık 3 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin ülkesi Türkiye'dir. Türkiye bor madenlerinin ihracatının % 5'ini hammadde halinde % 95'ini işlenmiş olarak satmaktadır [4, 23].

Yüksek tenörlü bor cevheri çok kolay ve ekonomik olarak çıkarılmakta ve işletilmektedir. Öyle ki; artık barajlardaki mevcut sulu artıkların 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 [3, 24].

Genellikle ileri teknoloji gerektiren yöntemler ile dünyada ticari olarak üretilen ve değerli kullanan alanlar olan özel bor kimyasalları mevcuttur. 250 civarında sektörde nihai ürün olarak kullanılan bu ürünlerden en yaygın kullanan alanlara sahip olanlar şüphesiz borik asit, elementer bor, çinko borat, ferro bor, borazan, bor karbür, bor hidrit, bor karbit ve bor nitrid olarak sıralanabilir [3, 6, 24].

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün son yıllarda yaptığı çalışmalarla Türkiye'nin bor rezervleri görünür, muhtemel ve mümkün olarak B_2O_3 bazında 864,5 milyon tona ulaşmaktadır. Türkiye'nin ekonomik değeri ifade eden borat yatakları hakkında bilgi aşağıda verilmektedir.

2.6.2.2. Emet borat yatakları

Kütahya'da yaklaşık 100 km batısında yer alan Emet yöresinde Etibank tarafından işletilen Hisarcık, Espey ocakları vardır. Bölgenin toplam rezervi Kızıldere-Doğanlar havzası ile yaklaşık B_2O_3 bazında 472,6 milyon ton ve tenörü % 26-29 B_2O_3 kadardır. Bölgedeki neojen, eski metamorfik ve magmatik kayalarla çevrilmik kuzey-güney doğrultusunda uzanan ve taban üzerine uyumsuz oturan göl tortularından oluşur. Burada, taban kireç taşıyla kaplı 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 takē ile baklar. Daha sonra ortamē yine tektonik olarak duyarlē olamadē ēē kanēlayan çakē takē ve kumtakē birikimleri görülür. Boratlē seri içinde tüfleri ve gri-yekil killerin varlē ē tektonik hareketlerin durduēunu, volkanizmanē bakladē ēē belirtir. Kestelekēten farklı olarak volkanizmadan sonra tektonik hareketlerin tekrar bakladē ēē belirleyen çakē taklarē ve kumtaklarē gözlenmez. Bunlarē yerine daha duyarlē ortamlarda olukan kireçtaklarēalmēēē.

Hisarcēk ocaklarēnda boratlēseri 30-40 m kalēnlēktadē. Birkaç kat katmandan olukan ve kalēnlēklarē 1-1,5 m kadar olan boratlarē ana cevher minerali kolemanittir. Toplam borat kalēnlē ē 20 mōye ulakē. Kolemanit killer içinde irili ufaklē (10-50 cm) yumrular ēeklinde bulunur. Kolemanitle birlikte az miktarlarda üleksit ve kalsit de gözlenmiştir. Bunlarē yanēda kolemanitin değeriini düküren arsenik mineralleri (realgar, orpiment), kolemanit yumrularēē dēka yakē kēēnlarēnda, bütün yumruyu çevreleyen bir zar ēeklinde bulunur. Hamamköy ve Espeyōde tek mineral kolemanittir. Killer içinde gömülü yumrular ēeklinde bulunurlar. Hamamköy ēde boratlēserinin kalēnlē ē 20 mōdir. Kolemanit bantlarē ise yaklakē 7 mōye ulakē. Espeyōde killer ara katkēē toplam kalēnlē ē 20 mōye ulakan 4 kolemanit katmanē vardē [3, 24].

2.6.2.3 Kēka borat yataklarē

Eskişehir ili sēēlarē içeriindedir. Yataklar neojen tortularē arasēnda yer almaktadır. Miosenōde mevcut göl ortamlarēna volkanik faaliyetler neticesinde fay zonlarēndan gelen hidrotermal çözeltilerin; ortamē fiziko-kimyasal kokullarē altēnda çökelererek boratlarē oluşturmaktadır. Boratlar kil, tuf ve marn ile ara katlē olup, kireçtakēborat merceklerinin altēnda ve üstünde bulunur. Yataē ē sondajlarla kesilen kalēnlēklarē 2-150 m arasēnda değ imekte olup, aritmetik ortalamasē 70 metredir. Yataktaki bakēca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu minerallere ilaveten yatakta tinkalkonit, tünelit ($\text{SrB}_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kurnakovit, inyoit, meyerhofferit ve hidroborasit mineralleri de olukmuktur. Boraks konsantrasyonunun en yüksek olduēu yer, yataē ē merkezi olan Sarēkayaōdē. Boraks, 1 mm - 1 cm iriliēinde sübhedral ve anhedral kristaller halindedir. Yataē ē kenar kesimlerinde ana mineraller üleksittir ve genellikle lifli, masif yapıdadē. Kolemanit, yataē ē alt ve üst kēēnlarēnda yumrular ve "geod"lar halinde bulunur. Yatakta birbirine tedricen geçik gösteren ve boraks kristalleri ile killerin yer değ iktirmesine göre sēēlandēdan 3 tip cevhere rastlanmaktadır; bantlē cevher, bilekik cevher (yekilimsi, sarēnsē ve kahverenginin değ iik tonlarēnda), camsē cevher (saydam, beyaz renkte olup tuz görünümündedir). Kēka boraks yataē ē dūnyanē en büyük tinkal rezervine sahip olup,

toplam rezerv B_2O_3 bazında 206 milyon ton dolayındadır. Yatağın ortalama B_2O_3 tenörü % 26-28'dir [2, 4, 13].

2.6.2.4 Bigadiç borat yatakları

Yataklar, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bigadiç borat havzası yaklaka neojen tektonik bir gölün kapladığı bir alandır. Yataklarda; marn, borat, kil ve tuf ardışık dizilmislerdir. Boratlar 1-3 m kalınlıkta tabakalar halinde killere arasında yer alır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür. Bu özellik cevherin önemini artırmaktadır. Bigadiç yatağında B_2O_3 bazında 14 milyon ton üleksit, 170 milyon ton kolemanit olmak üzere toplam B_2O_3 bazında 184 milyon ton % 28-30 B_2O_3 tenörlü rezerv bulunmaktadır.

Bigadiç'te halen üç adet açık ocakta tüvenen kolemanit ve üleksit cevherleri üretilmektedir [2, 13, 25].

2.6.2.5 Kestelek kolemanit yatakları

Bursa ilinin Mustafa Kemal Pazar 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 ayrılmak üzere boratlı katman vardır. Bu katmanlarda boratlar kolemanit yumrular biçimindedir. Yumruların büyüklükleri bir kaç cm'den 80-100 cm'e kadar değişir [2, 13].

Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, propertit, meyerhofferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür. Yatağın ortalama % 29-31 B_2O_3 tenörlü toplam B_2O_3 bazında 1,8 milyon ton rezervi vardır [2, 3, 13].

2.7 Bor Üretim Yöntemleri ve Ürünler

Bor mineralleri doğada masif olarak diğer mineral ve kayalarla birlikte veya çözelti olarak sulara bulunmaktadır. Dolayısıyla üretim yöntemleri de bulundukları yer ve derinliğe göre değişmektedir. Karada masif olarak bulunan bor bileşikleri; cevherin bulunduğu derinliğe ve fiziksel yapısına bağlı olarak açık ocak veya kapalı ocak yöntemi veya çözelti madenciliği yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Sulara bulunan borlar ise özellikle çözelti madenciliği yöntemi ile üretilmektedir [2, 13].

Dünyada en fazla bor minerali açık ocak yöntemi ile üretilmektedir. Cevher ve örtü tabakası fiziksel özelliklerine göre delme-patlatma ile gevketilir. Cevherin üzerindeki örtü tabakası alındıktan sonra, cevher çıkarılır. Bu işlemler sırasında ekskavatör ve loderler kullanılır [2, 13].

Türkiye, Amerika, Arjantin, İtalya, Çin ve Rusya'da açık ocak yöntemi ile üretim yapmakta olan ocaklar mevcuttur. Ayrıca, Güney Amerika ve Çin'de üst kayalar alınmasından sonra el ile selektif madencilik yapılmaktadır [13].

Açık ocak yöntemine göre daha pahalı olan yeraltı madenciliği ise Türkiye'de artarak yapılmaktadır, Amerika (Billie Madeni, Death Valley) ve Çin (Lioning)'de yapılmaktadır [2, 13].

Diğer bir yöntem olan çözelti madenciliği ise; Amerika Searles Lake, Kaliforniya ve Çin-Qinghai Basını'da ticari bor üretimi yapılmaktadır [2, 13].

400 m. derinlikteki, Kolemanit formasyonları 20.000 ppm'lik bor, Forth Cady tarafından üretilmektedir. % 5'lik hidroklorik asit enjekte edilip 8 saat bekletildikten sonra yüzeye pompalanmaktadır. Daha sonra kireç eklenerek % 43 B₂O₃ kolemanit üretilmektedir [13].

Halen üretilen ve ekonomik değeri en yüksek olan ham bor ürünleri kolemanit, tinkal ve üleksittir.

Halen üretilen rafine bor ürünleri ise; Borik Asit, Boraks Pentahidrat, Boraks Dekahidrat, Etibor 48, Sodyum Perborat Tetrahidrat, Sodyum Perborat Monohidrat, Susuz Boraks'dır.

Kısa vadede üretilmesi planlanan bor ürünleri (özel bor kimyasalları) ise; susuz borik asit, disodyum oktaborat tetrahidrat ve çinko borat'dır [4].

2.7.1 Cevher hazırlama ve zenginleştirme

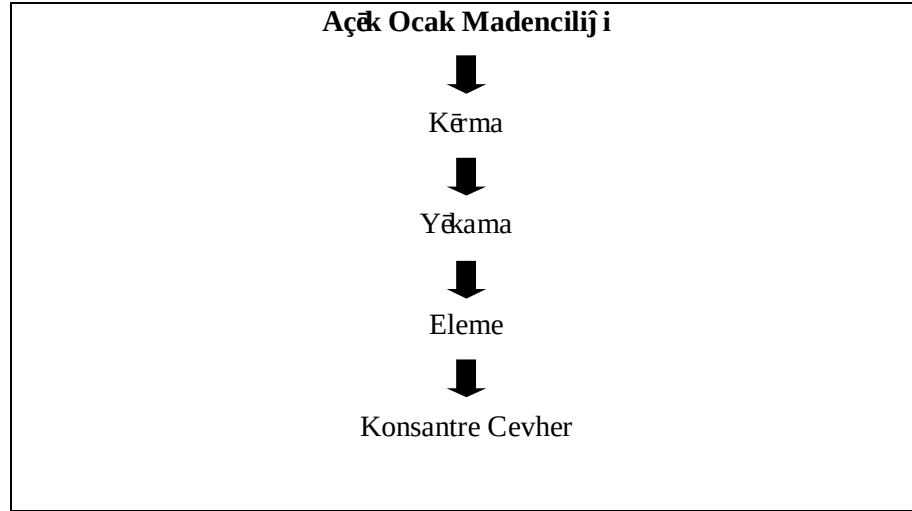
Bor mineralleri yataklarının derinliğine göre açık işletme veya yer altı madencilik yöntemlerine göre üretilir. Türkiye'de bulunan bor minerallerinin tamamı açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Tüvenan cevher genellikle kuma-eleme ve yıkama işlemlerine tabi tutularak zenginleştirilir.

Türkiye'de rezerv açısından en çok olan iki ana cevherden, borun bir sodyum tuzu olan tinkal (Na₂O.2B₂O₃.10H₂O) ile kolemanitten (2CaO.3B₂O₃.5H₂O) üretim yöntemleri; hem

rezervin bol olmasē hem de gerekli teknolojik bilgilerin geliřtirilmik bulunmasē nedeniyle ön planda gelmektedir. Türkiye'de önemli tinkal yataklarē Kēka'da ve önemli kolemanit yataklarē ise Emet ve Bigadiç civarēnda bulunmaktadē. Bor mineralleri, bileřikleri ve tūrevleri üretimi Eti Maden İřletmeleri Genel Müdürlüē üne baē lē5 iřletme tarafēndan yapılmaktadē. Bigadiç'te bulunan kolemanit ve üleksit cevheri üretimi büyük ölçüde açēk ocaklardan yapılmaktadē. Bigadiç'teki mevcut zenginleřtirme tesisinin kapasitesi 400.000 ton/yē tüvenan cevheridir. Tesiste yapıdan zenginleřtirme; cevheri su ile yēkayarak kil minerallerinden ayēma ve ardēndan da sēnēflandēma iřleminden ibaret olup, üç ayrē boyutta konsantre ürün elde edilmektedir. Tesise beslenen ortalama tüvenan cevher tenörü % 30-32 B₂O₃ olup, elde edilen kaba konsantre tenörü % 42 B₂O₃, ince konsantre tenörü % 36 B₂O₃ ve ara ürün tenörü % 29 B₂O₃ civarēnda gerēeklemektedir. Artēk ince ürün ise % 16 B₂O₃ içermektedir. Tüvenanēn üleksit olmasē halinde ise % 30 B₂O₃'lük cevherden elde edilen kaba konsantrenin tenörü % 38 B₂O₃, ince konsantre tenörü ise % 26 B₂O₃ olarak gerēeklemektedir [2, 3].

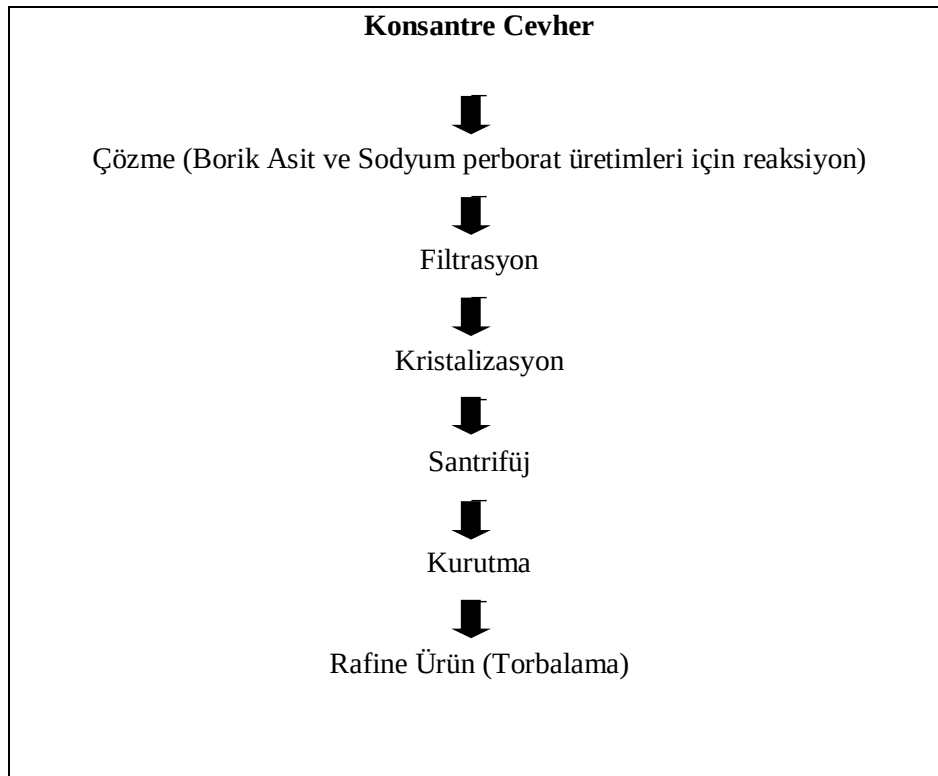
Emet bölgesinde yapıdan kolemanit üretimi iki adet açēk işletme tarafēndan gerēeklemektedir. Açēk işletmede basamak genikliē i 12 m, basamak yüksekliē i 10 m, genel kev açēē 42° ve basamak kev açēē 80° olarak seēilmiktir. Üretilen tüvenan cevheri zenginleştirmek amacē ile açēk işletmenin bulunduē u Hisarcēk ve Espey bölgesine kurulan konsantratörlerde yapıdan baklēca işlemler kēma, eleme ve yēkamadan olumaktadē. Hisarcēk'daki açēk işletmeden elde edilen tüvenan tenörü yaklakēk % 28 B₂O₃ olup, Konsantratör Tesisi çēkēk tenörü % 42 dolayēnda gerēeklemektedir. Daha zengin olan Espey konsantre kolemanitinin ortalama tenörü % 44 B₂O₃, ince konsantre tenörü % 42 olarak gerēeklemektedir [2].

Kēka bölgesinde bulunan doēal boraks (Tinkal) açēk işletme yöntemiyle kazanılmaktadē. Üzerindeki örtü tabakasē delme, patlatma ve ekskavatörlerle kaldērdan cevher yine delme ve patlatma ile gevkētildikten sonra kamyonlarla konsantratör tesisine nakledilir. Ortalama % 25-26 B₂O₃ tenörlü tinkal cevheri koklu ve çeneli kēēēdar vasēasēyla 25 mm boyutuna indirilir ve stoklandēktan sonra yēkama ünitesine gönderilir. Akēndērmalē yēkama hücrelerinden geēerken killerden arēndērdan tinkal daha sonra elekler, hidrosiklonlar ve klasifikatörler vasēasēyla sēnēflandērdē ve en son santrifüjde % 8 nem oranēna indirgenerek yaklakēk % 32,5 B₂O₃ tenöründe konsantre tinkal elde edilir [2]. Genellikle açēk ocak madencilē i ile yapıdan ham bor ürünleri üretimi ayrēntēē olarak kēkil 2.3ō deki akamalarla ifade edilir.



Şekil 2.3 Ham bor ürünleri üretimi

Rafine ürün üretimi için ise temel olarak Şekil 2.4'deki işlemler uygulanır.



Şekil 2.4 Bor rafine ürün üretimi temel akış şeması

2.7.2 Bor bilekikleri üretimi

Borun çok sayda bileki i olmakla beraber teknik olarak büyük miktarlarda üretilen ve uluslararası pazarda söz sahibi olan dört ana bileki i vardır. Sanayide kullanmak üzere veya laboratuvar araştırmaları için di er bor bilekikleri ise genellikle bu 4 ana bilekikten üretilir.

Bu bilekikler şunlardır;

1. Borik Asit (H_3BO_3)
2. Boraks Dekahidrat ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)
3. Boraks Pentahidrat ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$)
4. Susuz Boraks ($Na_2B_4O_7$)

Bunlara ek olarak Sodyum Perborat ($NaBO_2 \cdot H_2O_2 \cdot 3H_2O$) ve susuz borik asitten (B_2O_3) de söz edilebilir. Türkiye’de halen borik asit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, sodyum perborat üretilmektedir [26, 27, 28].

2.7.2.1 Türkiye’de boraks üretimi

Türkiye’de boraks üretimi 1970 yadına kadar kolemanitten, soda ve bikarbonat kullanarak yapılmıştır. Bu yöntem ekonomik olmadığı için 1970’de bırakarak tınkalden üretime geçilmiştir [3]. Kırka Bor Türevleri Tesisi 1984 yadında deneme çalışmalarına başlamıştır. Bu tesis, Kırka Konsantratör Tesisinden temin edilecek yada 405.000 ton konsantreyi ıkleyerek 160.000 ton/yıl boraks pentahidrat, 17.000 ton/yıl boraks dekahidrat ve 60.000 ton/yıl susuz boraks üretecek kapasitededir.

2.7.2.2 Türkiye’de borik asit üretimi

a) Kolemanitten borik asit üretimi

De i ik boyutlu kolemanit konsantresi kama ve ö jütme ıklemine tabi tutulur. Ö jütölmük kolemanit reaktör içinde sülfürikasit ile reaksiyona girer. Reaksiyon sonucu olunan çözelti filtrelerde süzölür, kristalizatörlerde kristal hale getirilir. Elde edilen kristal Borikasit önce santrifüj ünitesinde, sonra kurutucularda kurutulur. Elde edilen Borikasit istenilen miktarlarda satıa sunulmak üzere ürün stok ambarlarında depolanır. Borik Asit üretimi Reaksiyon, I. Filtrasyon, II. Filtrasyon, Cilalama Filtreleri, Kristalizasyon, Kurutma ve paketleme akamaları sonucunda satıa hazır hale gelmektedir [28, 29, 30].

b) Tinkalôden borik asit üretimi

Tinkalden sodyum sülfat yan ürünlü borik asit üretimi üzerine TÜBİTAK, Marmara Araştırma Enstitüsü Kimya Bölümünde bir proses geliştirilmiştir. Bu prosesin özelliklerinden biri, reaksiyon sonucu soğutulup 35°C'de kristallendirilen borik asidin yâkanarak tekrar santrifüjlenmesiyle yüksek saflıkta ürün elde edilmesidir. Prosesin bir özelliği de ana suya NaOH veya Na₂CO₃ eklenerek sodyum sülfatın kristalizasyonu sağlanır. Bu sırada borik asitin çökmemesi için ortamda Na₂O/B₂O₃ mol oranı 0,2 yani sodyum pentaborat kompozisyonunda olmalıdır. Böylece borik asit çözeltide tutulmakta ve sadece sodyum sülfat kristallendirilmektedir. Geliştirilen bu prosesin son derece rahat ıkedili bulunmaktır.

2.8 Emet Bor İktetme Müdürlüğü

2.8.1 Tarihi ve kuruluşu

Emet Bor İktetme Müdürlüğü, Kütahya ilinin Güneybatısındaki Emet ilçesinde kurulmuş olup, Kütahya ili merkezine 100 km. uzaklıktadır.

İktetmenin kuruluş gayesi; ülkemizin yeraltı zenginlikleri içerisinde önemli bir yeri olan bor cevherini aramak, ıketmek, zenginlektirmek ve gerektiğinde bunlardan kimyasal ıdemlerle bor bileşiklerini üretmektir.

Türkiye'nin bor mineralleri rezervinin önemli bir bölümünü oluşturan Kütahya-Emet zuhuru 1956 yılında M.T.A. jeologu Dr. Gawlik tarafından bulunmuştur. 12.08.1958 tarihinde bölgedeki Bortuzu sahaları M.T.A. tarafından Etibank'a devredilmiştir.

Emet Bor İktetme Müdürlüğü; 1958 yılında Etibank Emet Kolemanit Maden İktetmesi kıantiye kıeflii olarak kurulmuş ve daha sonra geçici Müdürler Kurulunun 10.06.1961 tarih ve 1910/9 sayılı kararı ile Müessese haline getirilmesine karar verilmiş, Sanayi Bakanlığının 01.02.1962 tarihli onayı müteakip, Türkiye Ticaret Sicili Gazetesinin 24.02.1962 tarih ve 1500 sayılı nüshasında yayınlanarak Emet Kolemanit İktetmesi Müessesesi Müdürlüğü haline gelmiştir.

İktetme, 08.4.1997 tarih ve 4778 sayılı Yönetim Kurulu Kararı ile 8 Trilyon TL. olan nominal sermayesi Eti Bor A.ş. Genel Müdürlüğüne devredilmiştir. İktetme Müdürlüğü, Bakanlar Kurulunun 09.01.2004 tarih ve 2004/6731 sayılı kararı ile 31.01.2004 tarihi itibarıyla Eti Maden İktetmeleri Genel Müdürlüğüne bağlanarak Emet Bor İktetme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. M.T.A. tarafından Etibank'a devredilen sahalar; güneyde

Hisarcık 4 km. mesafedeki Hamamköy ile kuzeyde Emet'e 4 km. mesafedeki Espey bölgesini içine almaktadır.

Espey bölgesinin 1 km. kuzeybatısında yer alan Killik mevkiinde 1957 yılında özel sektöre madencilik faaliyetlerine başlanmak ve 1979 yılındaki devletleştirmeye kadar sürdürülmüştür. Espey Bölgesinde Etibank tarafından yapılan sondajlı aramalar sonucunda 1969 yılında Nisan ayında yeraltı üretim metodu ile madencilik faaliyetlerine başlanmıştır. 1979 yılında özel sektörden devir alınan Yeni Espey Ocağı ile birlikte kapalı işletme olarak sürdürülen üretim faaliyetleri 1990 yılında açık işletmeye dönüktürülmüştür.

1970 yılında hazırlanan proje ile Rudis (Yugoslavya) firmasına anahtar teslimi olarak verilen Hisarcık Konsantratör tesisinde 18.01.1973 tarihinde deneme çalışmalarına başlanılmıştır [31].

1987 yılına kadar kaba olarak satılan Espey kolemanit cevheri 1987 yılından itibaren Hisarcık Konsantratörüne alınarak zenginleştirilmiştir. 1987 yılından itibaren Hisarcıkta bulunan Mobil yıkama tesisi Espey'e alınarak Espey tüvenan cevheri burada işlenmeye başlanmıştır. 1997 yılında yapılan baklanan, Espey konsantratör tesisi devreye alınarak Espey cevheri burada zenginleştirilerek satışa hazır hale getirilmektedir.

1997 Yılında yapılan baklanan ve 27/02/2004 tarihinde resmi açılışı yapılan Borik Asit Fabrikası yıllık 120.000 ton üretim kapasitesine sahiptir. 10/05/2011 tarihinde ise 100.000 ton/yıl kapasiteye sahip II. Borik Asit Fabrikası üretime başlamıştır. Üretim için gerekli olan Sülfürik Asit Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü'nden temin edilmektedir. Üretilen Borik Asit'in % 90-95'lik kısmı yurt dışına geri kalan kısmı yurt içi piyasalara satılmaktadır.

2.8.2 Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde bulunan üretim tesisleri

Bu bölümde Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde bulunan üretim tesislerinden kısaca bahsedilecektir.

2.8.2.1 Espey açık ocak

Tüvenan cevher basamak üzerleri dekapaj işini yapan müteahhit tarafından temizlendikten sonra üretim faaliyetlerine başlamıştır. Tüvenan cevher üretimi 0., 1., 2. ve 3. zonlarda Mayıs- Eylül ayları arasında yapılmaktadır. Delme patlatma yöntemiyle gevketilen cevherler, ekskavatörler aracılığıyla kamyonlara yüklenmektedir. Cevherler arsenikli ve normal cevher olmak üzere uygun yerlerde stoklanmaktadır.

2.8.2.2 Espey konsantratör tesisi

Espey konsantratörü kâma, yâkama, sâñflandâma ve triyaj yöntemleriyle çalâkan fiziksel bir zenginleştirme tesisidir. Cevher ikleme ünitesi akâjâda belirtilen kâñlardan olmaktadır.

Kâma eleme :

Stoklara alânmâk tüvenan cevher, konsantratör silosuna beslenmektedir. Silo altındaki paletli besleyici aracđđyla 75 mm açâklâ a sahip kalibreli elej e beslenen i 500 mm boyutlu tüvenan cevher ikinci bir elemenden geçirilerek i 75 mm ve i 500+75 mm boyutlarâna ayrđmaktadır. +75 mm tane boyutuna sahip tüvenan cevher, çeneli kâccâda i 100 mm tane boyutuna kâğarak, bant konveyör ile tromel yâkayccâya beslenmektedir. i 75 mm boyutuna sahip tüvenan cevher bir bant vasâsâ ile 25 mm aralâklâ kalibreli elej e beslenerek, - 75+25 mm ve i 25 mm olmak üzere iki kâma ayrđmaktadır. i 25 mm elek altê kil, artâk stoğuna verilmektedir. -75+25 mm tüvenan cevher ise bir bant konveyör ile kütüklü yâkayccâya beslenmektedir.

Yâkama ve sâñflandâma :

- Kütüklü yâkayccâ devresi

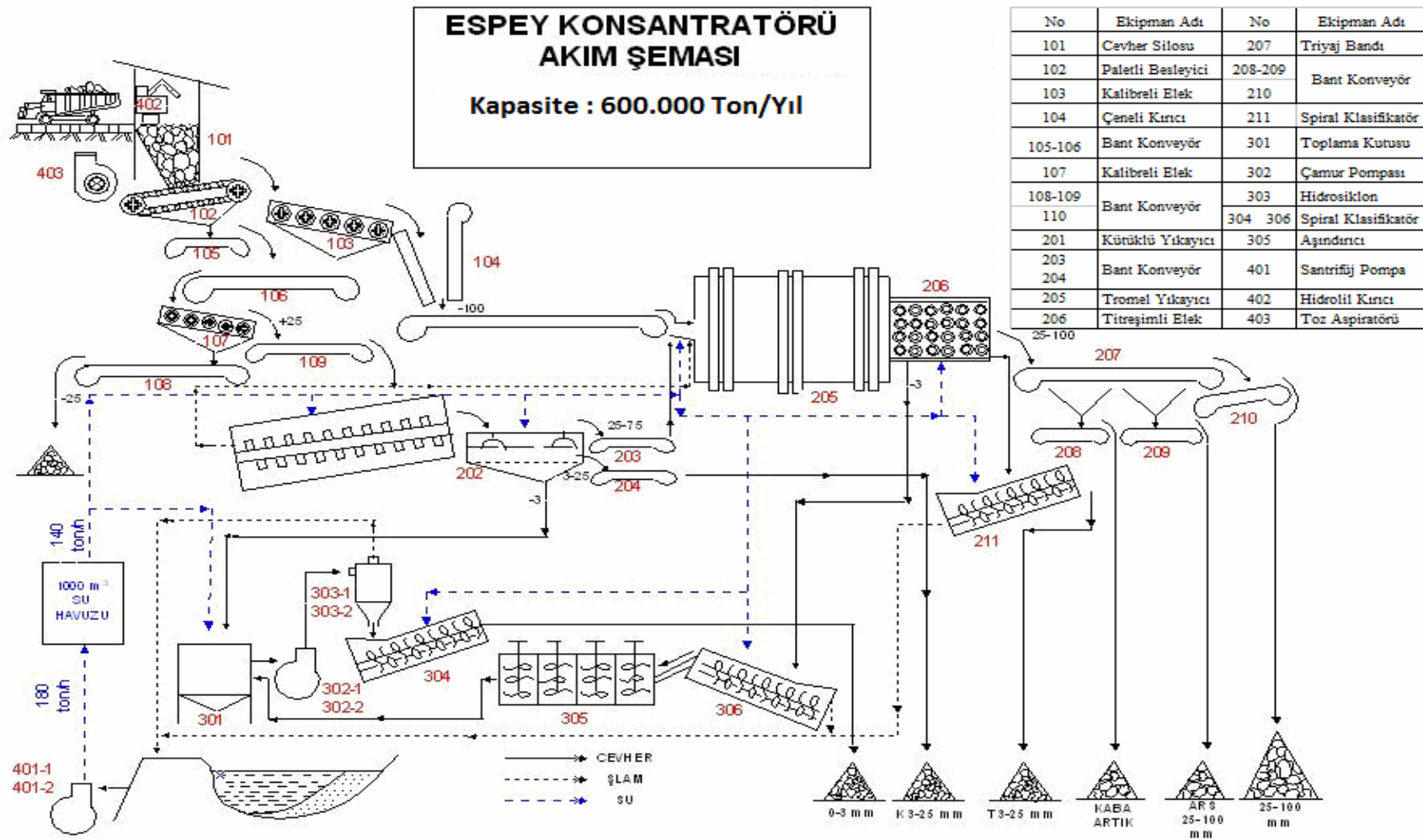
-75+25 mm boyutuna sahip tüvenan cevher, kütüklü yâkayccâda yâkanmaktadır. Kütüklü yâkayccâdan çâkan cevher, elek açâklâ e 3 mm ve 25 mm olan çift katlê titrekimli elekte sâñflandâđarak, 0-3 mm, 3-25 mm, ve 25- 75 mm olmak üzere üç kâma ayrđmaktadır.

- Tromel yâkayccâ devresi

Çeneli kâccâdan gelen i 100 mm boyutlu tüvenan cevher ile kütüklü yâkayccâdan gelen -75+25 mm boyutuna sahip cevherler tromel yâkayccâda yâkanmaktadır. Yâkanmâk i 100 mm boyutundaki cevher; tromel yâkayccâ önündeki elek açâklâlarê 3 mm ve 25 mm olan çift katlê titrekimli elekte -3 mm, -25+3 mm, ve -100+25 mm olmak üzere üç sâñfa ayrđmaktadır.

- Triyaj iklemi

-100+25 mm tane boyutuna sahip yâkanmâk cevher, triyaj ünitesinde ayâklanarak son zenginleştirme iklemi yapđmaktadır. Cevher içindeki kil, kalker ve kalsit gibi gang mineralleri kaba artâk olarak tanâmlanmâk olup, konsantre cevher içersinde bulunmasê istenilmeyen minerallerdir. Ayrâca, bünyesinde arsenik bulunan cevherler, renk farkê nedeniyle kolemanit cevherinden kolaylâkla ayrđabilmektedir. Şekil 2.5âde ayrântlê akân kemasê gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Espey konsantratör tesisi akım şeması

2.8.2.3 Hisarcık açık ocak

Tüvenan cevher basamak üzerlerinde bulunan ortalama 100 m kalınlığındaki örtü tabakası temizlendikten sonra üretim faaliyetlerine başlanmaktadır. Tüvenan cevher üretimi Tavan, Taban, 0., 1., 2. ve 3. zonlarda yapılmaktadır.

Delme patlatma yöntemiyle gevketilen cevherler, ekskavatörler aracılığıyla kamyonlara yüklenmektedir. Cevherler arsenikli ve normal cevher olmak üzere uygun yerlerde stoklanmaktadır.

2.8.2.4 Hisarcık konsantratör tesisi

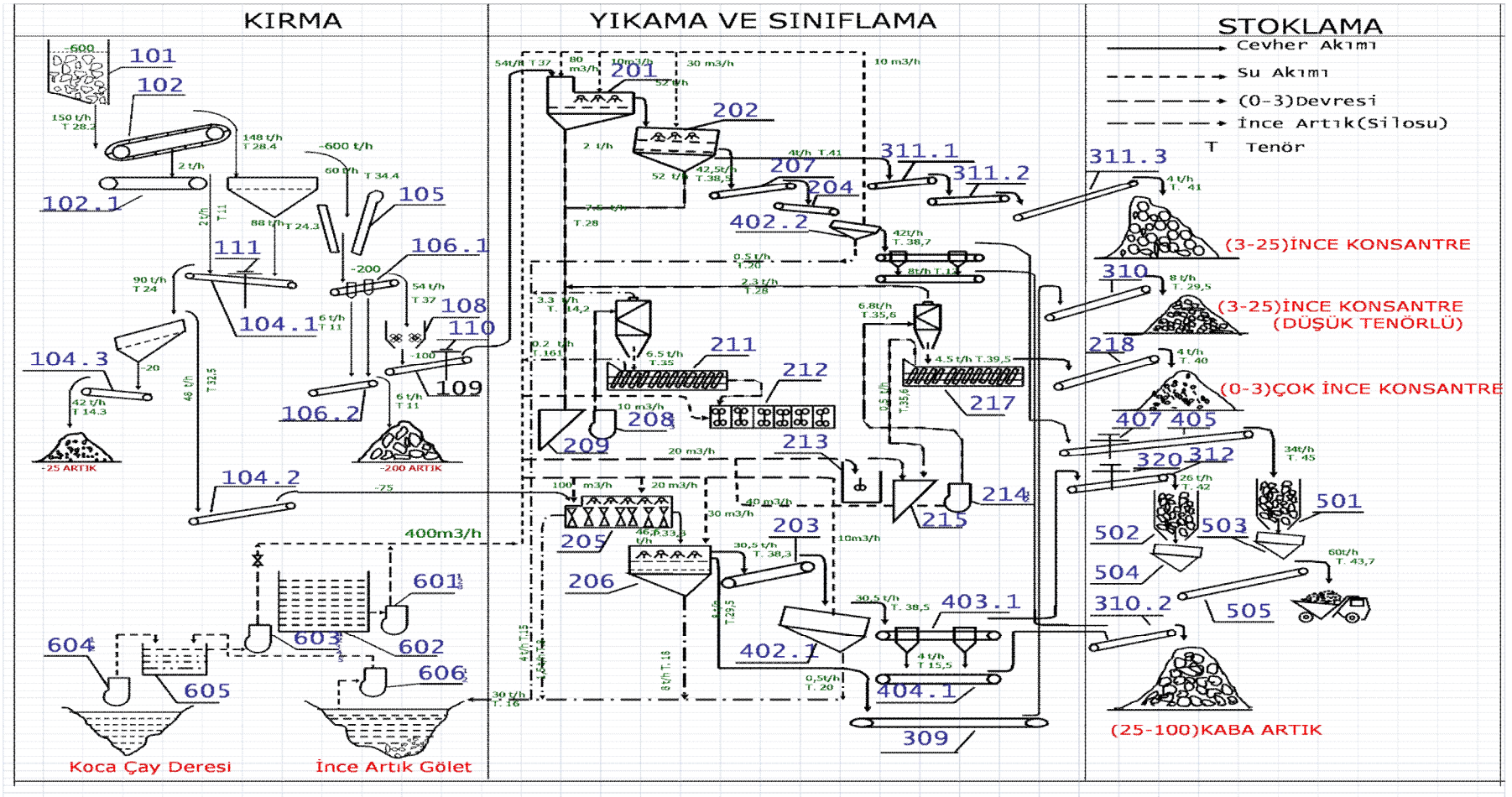
Hisarcık konsantratör tesisi esas olarak kırma-yıkama-sınıflandırma ve triyaj yöntemleri ile çalışan fiziksel bir zenginleştirme tesisidir.

180 t/h teorik kapasiteli konsantratör tesisine açık ocaktan veya tüvenan cevher stoğundan ayrı kamyonlarla ile yüklenen cevher, eğgara açığı 60x90 cm olan 90 m³ kapasiteli siloya beslenir. Tüvenan cevher silosuna beslenen cevher, 5° eğimli ve 180 t/h kapasiteli çelik paletli besleyici vasıtasıyla kalibreli eğgara eleğe beslenir. 13° eğimli ve 180 t/h kapasiteli olan kalibreli eleğe beslenen tüvenan cevher eleme işlemine tabii tutulur. Elek açığı 75x75 mm olan bu ekipmandan eleme sonrası +75 mm ve -75 mm boyutlarında iki ürün elde edilir. Bunlardan +75 mm'lik ürün, 100 t/h kapasiteli çeneli ve merdaneli kırıcıda iki kademeli boyuta küçültülerek sırasıyla, -200 mm ve -100 mm'lik çanak açığına ufanır. En son -100 mm'lik boyut grubuna ufanmış olan cevher, bant konveyörler vasıtasıyla yıkama ünitesine nakledilir. -100 mm'lik ürün ise bant konveyör vasıtasıyla elek açığı 25 mm olan ikinci bir kalibreli eleğe beslenir. Kapasitesi 100 t/h olan 14° eğimli bu elekten -25 mm'lik ince pasa ve +25 mm'lik ürün elde edilir. +25 mm boyut grubuna sahip cevher bant konveyör vasıtasıyla yıkama ünitesine gönderilir.

Merdaneli kırıcıdan -100 mm), 100 t/h kapasiteli ve 2° eğimli çift tüplü titrekimli yıkayıcı ile yıkılarak cevher içindeki kilin bünyeden ayrılması sağlanır. Ürün içerisinde ince taneler, yıkayıcı gövdesinde bulunan ve 8 mm çapındaki elekten geçmek suretiyle 5 m³ kapasiteli büyük toplama kutusuna aktarılır. Küçük parçalarla yıkayıcıdan geçerek çift katlı titrekimli eleğe dökülür. 2° eğimli ve 100 t/h saat kapasiteli çift katlı titrekimli elekten yıkama sonrası 0-3 mm, 3-25 mm, ve 25-100 mm boyutlarında üç çekit ürün elde edilir.

25-100 mm boyutundaki ürün, bant konveyörler ile seçme iklemi için triyaj ünitesine nakledilir. Triyaj ünitesinde cevher içermeyen parçalar seçilerek ayıklanan 25-100 mm'dik iri ve zengin konsantre cevher stok sahasına nakledilerek satışa hazır hale getirilir.

Kalibreli elek çakıldē ürün (25-75 mm) bant konveyörler ile kütüklü yekayēcēya (kapasite=100t/h, eğim=10°) akar. Kütüklü yekayēcēda zenginleştirme iklemine tabi tutulan üründen kılam içerikli, az yoğun ve tenörce fakir kēsēnlar artık barajına, daha iri, daha yoğun ve tenörce daha yoğun kēsēnlarda, ikinci bir çift katlı titrekimli eleğe (120t/h, eğim=2°) beslenir. Çift katlı titrekimli elekten, titrekim hareketli basınçlı suyun etkisi ile boyutuna göre sēnālandēma iklemi yapılarak üç ürün elde edilir. Birinci ürün -75+25 mm boyut grubunda olup seçme ünitesinde triyaj edilerek satış için stok sahasına gönderilir. -25+3 mm boyut grubundaki ikinci ürün ise, satış baz tenörüne sahip olmadıē için düşük tenörlü -25+3 mm ürün olarak adlandırılır ve ikinci bir yekama iklemine tabi tutulmak üzere kendine ait stok yerine nakledilir. Son üründe -3 mm boyut grubunda olup, mevcut olan by-pass sistemi sayesinde zengin içerikli cevherlerle çalışıldıē zamanlarda -3 mm lik ürünlerde küçük toplama kutusuna gönderilerek kēcē ünitesinden gelen -3 mm cevherlerle birlikte zenginleştirilip -3 mm'dik konsantre ürün elde edilmektedir. Şekil 2.6'da Hisarcık Konsantratör tesisi akēm kemasē verilmektedir.



Şekil 2.6 Hisarcık konsantratör tesisi akış keması

Çizelge 2.8 Hisarcık konsantratör tesisi proje kodları

Proje No	İşmi	Kapasite
101	TÜVENAN SİLOSU	180 t / h
102	ÇELİK PALETLİ BESLEYİÇ	180 t / h
103	KALİBRLEKELEK	180 t / h
104	BANT KONVEYÖR	100 t / h
105	ÇENELKİRİCİ	100 t / h
106	BANT KONVEYÖR	100 t / h
107	KALİBRLEKELEK	100 t / h
108	MERDANELKİRİCİ	100 t / h
109	BANT KONVEYÖR	100 t / h
110	BANT KANTARI	140 t / h
111	BANT KANTARI	140 t / h
201	TİREKİMLİ YIKAYICI	100 t / h
202	ÇİFT KATLI ELEK	100 t / h
203	BANT KONVEYÖR	100 t / h
204	BANT KONVEYÖR	80 t / h
205	KÜTÜKLÜ YIKAYICI	100 t / h
206	ÇİFT KATLI ELEK	100 t / h
207	BANT KONVEYÖR	80 t / h
208	ÇAMUR POMPASI	50 lt / sn
209	TOPLAMA KUTUSU	5 m ³
210	SİKLON	180 m ³ / h
211	KLASİK KATÖR	15 t / h
212	AĞINDIRICI	70 t / h
213	PERVANELİ KARIKTIRICI	70 t / h
214	ÇAMUR POMPASI	70 m ³ / h
215	TOPLAMA KUTUSU	1,5 m ³
216	SİKLON	70 m ³ / h
217	KLASİK KATÖR	10 t / h
218	BANT KONVEYÖR	50 t / h
309	BANT KONVEYÖR	50 t / h
310	BANT KONVEYÖR	50 t / h
311	BANT KONVEYÖR	50 t / h
312	BANT KONVEYÖR	50 t / h
320	BANT KANTARI	80 kg / h
402	IZGARA	800x2500 mm
403	BANT KONVEYÖR	100 t / h
404	BANT KONVEYÖR	100 t / h
405	BANT KONVEYÖR	100 t / h
407	BANT KANTARI	80 kg / h
501	KONSANTRE SİLOSU	160 m ³
502	KONSANTRE SİLOSU	160 m ³
503	TİREKİMLİ BESLEYİÇ	200 t / h
504	TİREKİMLİ BESLEYİÇ	200 t / h
505	YÜKLEME BANTİ	200 t / h
601	SANTRİFÜJ POMPASI	200 m ³ / h
602	SU HAVUZU	768 m ³
603	SANTRİFÜJ POMPASI	150 m ³ / h
604	DALGIÇ POMPA	65 lt / sn
605	SU HAVUZU	90 m ³
606	DALGIÇ POMPA	65 lt / sn

2.8.2.5 Borik asit fabrikasē

Muhtelif ebatlē kolemanit konsantresi kēma ve öj ütme iklemine tabi tutulur. Öj ütölmük kolemanit reaktör içinde sülfürikasit ile reaksiyona girer. Reaksiyon sonucu olukan çözelti filtrelerde süzölür, kristalizatörlerde kristal hale getirilir. Elde edilen kristal Borikasit önce santrifüj ünitesinde, sonra kurutucularda kurutulur. Elde edilen Borikasit istenilen miktarlarda satāa sunulmak üzere ürün stok ambarlarēnda depolanē. Borik Asit üretimi Reaksiyon, I. Filtrasyon, II. Filtrasyon, Cilalama Filtreleri, Kristalizasyon, Kurutma ve paketleme akamalarē sonucunda satāa hazār hale gelmektedir.

- **Reaksiyon;**

Reaksiyon ünitesinde altē adet reaktör tankē bulunmaktadē. Reaktörlerden ilk ikisi yedekli çālātēdmakta ve içleri kauçuk ile kaplanmēdē. Bu iki reaktör tankē girikinde ana çözelti ve sülfürik asit karēāmē saĵ layan startēk mikser mevcuttur. I. Reaktör tankēnda, çözelti ve sülfürik asit karēāmē öj ütölmük kolemanit ile reaksiyona girer. Reaktörler birinden diĵ erine takacak kekilde dizayn edilmiktir. Kolemanit ve sülfürik asit arasēdaki reaksiyon sülfürik asidin tamamēna yakēnēn kullanēnē ile ilk reaktörde meydana gelir, birinci akamada reaksiyona girmeden kalan kolemanit ve sülfürik asit daha sonraki reaktörlerde reaksiyonu tamamlarlar. Reaksiyon ünitesinde kullanēan reaktörler ēē kayēplarēna önlemek için izole edilmik ve dētan ēāma ile takviye edilmiktir. Reaktörlerde jips çamurunun her noktada aynē özellikli süspansiyon halinde bulunmasēnē saĵ lamak amacēyla karēātēdēdar kullanēmaktadē. Reaksiyon sēaklē ē optimum 88 °C olup reaksiyon süresi yaklakēk 4 saattir.

- **Filtrasyon;**

Reaksiyon ünitesinin son reaktöründe reaksiyonu tamamlanan jips çamuru, belt filtrelerle beslenmeden önce flokulant ile karēātēdē. Filtrasyon iki akamada gerçekleştirilir. Birinci kademede, iki adet belt filtre mevcuttur. Filtreler yedekli çālātēdmaktadē. Birinci kademeden alēnan kek, remix tankēnda sēcak ana çözelti ile karēātēdēarak, ikinci kademe belt filtreye gönderilir. İkinci kademe filtrasyonda ters akēnlē yēkama yapēdē. İkinci kademe filtrasyondan alēnan kek artēk tankēnda toplanarak, artēk barajēna gönderilir. İkinci kademe filtratēise filtrat toplama tankēnda toplanarak pompa yardēnēyla ana çözelti tanklarēna gönderilir ve reaksiyon ünitesine geri döner.

Birinci kademe filtrasyon filtratē kuvvetli çōzelti tankēnda toplanarak cila filtrelerine gōnderilir. Cila filtrelerinde kuvvetli çōzelti iēerisindeki az miktardaki katēsafsēzlēklar filtrasyon verimi artērmak iēin eklenen perlit ile birlikte uzaklaēēēē. Temizlenen filtrat cilalanmē kuvvetli çōzelti tanklarēnda toplanarak kristalizatōr besleme tankēna gōnderilir.

- **Kristalizasyon;**

Borik asit kristalizasyonu iēin ūç adet seri çalēan DTB (Draft-Tube-Baffle) tipi kristalizatōr kullanēlmaktadē. Kristallenme 88 °C deki çōzelti, ūç kademedē 35 °Cōye dūkūrūlerek gerēekleētirilir. Kristalizatōrlerden çēkan buhar kondenserlerde soē utma suyu ile yoē ukturularak elde edilen kondens sularēbir tankta toplanē. Toplanan kondens sularēsoē utma suyu pompalarēile soē utma kulesine gōnderilir.

Kristalizatōrden alēnan lapa, hidrosiklondan geēirilir, kristal yēkama filtresi ūzerinde ters akēnlē olarak demineralize su ile yēkanarak suda çōzūnen safsēzlēklar uzaklaēēēē ve bōylece ūrūnde istenilen sūlfat aralē ēsaē lanē. Hidrosiklon ūst akēēsoē uk ana çōzelti tankēnda toplanē. Yēkanmē kristaller santrifūjlere beslenir ve kurutuculara beslenmeye hazē halde % 7-8 nem iēerikli kristal elde edilir.

- **Kurutma ve paketleme;**

Olukan Borik Asit kristallerini kurutmak amacēyla iki adet dikey tipli tepsili kurutucu kullanēlmaktadē. Bu kurutucularē son iki gōzūnde ūrūn soē utularak max. %0,05 nem iēeriē inde borik asit kristalleri elde edilir. Elde edilen borik asit kristalleri elevatōr ve helezon yardēnēyla ūrūn eleklerinde sēēflandēma yapēē. Kullanēan eleklerde iki kademeli eleme yapēē. İkinci elek altē toz paketleme silosunda; birinci elek altē ise kristal paketleme silolarēnda depolanē. Silolarda toplanan ūrūn mūkteri talebine gōre 25 kgōēē, 50 kgōēē ve 1 tonluk big-bag torbalarda kristal borik asit, toz ise 1 tonluk big-bag torbalarda toz borik asit olarak paketlenir. ēekil 2.7ōde borik asit tesisi akēn kemasēverilmektedir.

3. BOR CEVHERLERİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Kıymetli bor minerallerini oluşturan kolemanit, üleksit, tinkal, pandemit ve kernit gibi minerallerin kendine eklik eden kalker, jips, marn, volkanik tüf, kil, mika, organik madde gibi kıymetsiz gang minerallerinden ayrılması gerekir. Bunun için sertlik, gevreklik, yapış ve kırılma şekli, renk ve parlaklık, özgül ağırlık, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik, floresans ve fosforesans, radyoaktivite, yüzey ve ara yüzey özellikleri, diğer özellikler ve farklı çözünürlük özelliklerinden yararlanılmaktadır [32, 33, 34, 35, 36].

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 köklü kırıcılar tercih edilmektedir. Tüvenan bor cevherleri genellikle yüksek tenörlü olduğu için sadece kırma, eleme ve sınıflandırma işlemleri yoluyla da kolay bir şekilde zenginleştirilebilmektedir. Ayırma işlemi için aktarma tamburu, spiral klasifikatör, pervaneli akandırma hücreleri ve hidrosiklon gibi cihazlar kullanılmaktadır. Ayrıca, son dönemlerde ultrasonik, ses ötesi dalgalar ve mikrodalga ile deneme çalışmalarları yapılmaktadır [37 - 43]. Bor minerallerine uygulanan zenginleştirme yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

3.1. Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Borun zenginleştirilmesinde kullanılan fiziksel zenginleştirme yöntemleri tavuklama, boyuta göre sınıflandırma, manyetik ayırma yöntemleridir. Bu yöntemlerden manyetik ayırma laboratuvar uygulamasıdır.

3.1.1 Elle ayıklama ile zenginleştirme (Tavuklama)

Elle ayıklama yönteminde tüvenan bor cevheri 100 mm tane boyutunun altından kırıldıktan sonra 25 mm'lik elekten elenir ve -100+25 mm tane sınıflı bant üzerinden geçirilir. Bandın çevresindeki işçiler tarafından faydalı bor minerali ile yan tozların renk, parlaklık ve kristal yapılarındaki farklılıklarından yararlanılarak zenginleştirme işlemi yapılmaktadır [44, 45, 46]. Bigadiç, Emet ve Kestelek cevherlerinde iri boyutlarda elle ayıklama yöntemi kullanılmaktadır.

3.1.2 Akandırarak sınıflama ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

Küçültme işlemleri sırasında bor cevherini oluşturan mineraller dayanıklıdır, farklı şekle, dilinim, su ve yağ ile dağıtma gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı büyüklük ve şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu şekilde sınıflandırma ile bor minerali belirli ölçüde zenginleştirilebilmektedir.

Akandırarak yıkama ve boyuta göre sınıflandırma işlemleri genellikle -25 mm için etkin olmakta, ancak taneler incelidikçe verim ve tenör değerlerinde istenilen değerlere ulaşamamaktadır [47, 48, 49, 50].

Tamburda aktararak dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme:

Bor cevherlerinde en önemli gang minerallerini killer oluşturmaktadır. Bor mineralleri, kil minerallerinin su içinde kırma ve dağıtma özelliklerinden yararlanılarak ayrılmaktadır. Yıkama tamburuna verilen bor cevherleri içindeki ince boyutlu killer pulp içinde dağıtarak iri boyutlu bor minerallerinden sınıflandırma sonrasında ayrılmaktadır. Aktarma tamburları silindirik veya silindirokonik gövdelidirler. Gövdelerinin iç yüzeyinde malzemeyi kaldıracı kanatçıklar bulunur. Aktarma işleminin daha etkin yapılabilmesi için Log-Washers adı altında araçlar kullanılmaktadır. Log-Washers'in üzeri keçeyle kaplı ve kütük adı verilen karıştırıcı oluk üzerine yerleştirilmiştir. Bor cevheri 15-25 dev/dk hızla dönen kütüğün içinde sıkışırken kil mineralleri su içinde dağıtarak artık kenarından takma 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 takılarak, kanatları birbirine göre ters hareket eden karıştırıcı pervanelerden oluşmaktadır. Pervanelerin yüksek devirde dönmesi ile parçalar arasında sürtünme ve darbe etkisi ile bor cevherlerinden kil mineralleri uzaklaştırılmaktadır. Bu işlemden sonra bor cevheri tanktan dökülerek mutlaka yıkama ve boyuta göre ayırmaya tabi tutulur. Bu yöntem Kırka tinal ve Emet kolemanit konsantratörlerinde kullanılmaktadır [51, 52].

3.1.3 Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Bor minerallerine bağlı olarak artıklarındaki killerin içinde ferromanyetik ve paramanyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek alan kitledeli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırma yapabilmektedir [53].

Manyetik ayırma, minerallerin m knat s alan nda, manyetik kuvvetleri ge irgenlik derecelerinin de i ikik olmas ndan faydalan r. Bu  zellik mineralin m knat sl  kutba do ru k   k veya b   k bir kuvvetle  ekilmesi ke linde kendini g sterir. Kolayca  ekilebilen veya kuvvetli manyetik olan mineraller manyetit ve ilmenittir. Ancak kuvvetli bir elektromanyetik alanda  ekilebilen veya hafif manyetik olan minerallerde olduk a  oktur. Bunlar n en  onemlileri s ra ile kuvvetliden zayıfa do ru pirotin, siderit, hematit, volframit, manganez oksitleri, kromit, rutil, monazit ve demirli silikatlar (biotit, hornblend, grenat, epidot, v.s.)   r [53, 54].

Manyetik ayır   lar baki a iki k sma ayr   lar:

1.Yak ayır   lar

2.Kuru ayır   lar

3.1.3.1 Yak manyetik ayırma

Yak ayır malar yalnız kuvvetli manyetik ve ince (10 mek alt ) taneciklerin ayr lmas nda kullan   lar. Sanayide genellikle ince manyetit minerallerinin (veya ferro-silisyum gibi y ksek demirli halitalar n tozlar n ) zenginlektirilmesinde kulland an yak ayır   lar n  onemlileri, tamburlu ve kay   yak ayır   lard r.

3.1.3.2 Kuru manyetik ayırma

Kuru ayır   lar baki a 3 tipte toplan  lar

a)Tambur,

b)End ksiyonlu silindir,

c)Kark kay k.

a)Pirin ten veya bronzdan yap   k tambur (i i bok silindir); i erisinin bir taraf na, elektromanyetik alan  meydana getiren birka  m knat s kutbu yerle tirilmi tir. 5 cm irili i ve 0,15 mm inceli i kadar kuvvetli manyetik mineralleri ayır r (manyetik demir cevherleri). Selektif bir ayırma i in s n fland    m k ve tam kuru cevherle  al   mas  gerekir.

Bir ok konsantrasyon tesisinde k    lara giden cevherin i erisine yan     la kar  an demir par alar  kay    konvey rlerin ucuna tak  an manyetik tambur ayır   lar vas as yla ay klan r. Tamburun genikli ini ve cevherin tane irili i nispetinde kapasiteleri de artar. Beher 30 cm genikli i e saatte 20-100 m³ cevher d ker; do ru ak m sarfiyat  500-1500 watt ;  evirici motor ise yaklaşık 1,2 HP dir.

b) Endüksiyonlu silindirde ayēmayē iki mēknatēs kutbu arasēnda dōnen saf demirden yapēmē bir silindir yapar. Alanēn kuvvetli oluk ve mineral tanelerinin mēknatēslanan demirle direkt temasēn temin ediliēi dolayēsiyle, hafif manyetik minerallerin manyetik olmayanlardan ayrēmasē saē lanmē olur. Kēlenen cevherin tane irilēinin 0.15 mm den bēyēk ve 3 mm den kēēik olmasēlāzēndē. Cevherin tane sēnēēēn dar oluk ile selektiflik artar.

c) Karkē kayēk ayēēēdar hafif manyetik minerallerin ayrēmasēnda en iyi selektifliēi saē layabilen makinelerdir. Kēi kutup arasēndan geēen kayēkēn takēēē ē cevherden ēekilebilen mineraller üstteki mēknatēsēn tesiri ile alttaki kayēkē dik istikamette ēalēkan kayēkē üzerine alēnarak ön tarafa ayrēēlar. Eēer cevher ardē ardēna gittikēe kuvvetlenen mēknatēs kutuplarē arasēndan geēecek olursa cevherin tane irilēinin dar aralēklarda sēnēlandēēmē olmasē kartē ile birkaç ēekit mineral konsantresi elde etmek mēmkündür.

Bu amaēla mēknatēslar 20.000- 30.000-40.000-75.000-100.000-140.000 amper turluk sargēlara sahiptirler. 30 cm kayēk genikliēi olan tek mēknatēslē bir ayēēēnē doē ru akēn sarfiyatē 800 watt kadardē.

Kuru manyetik ayēēēdar sērekli manyetik alan kiddetine sahip olduklarēndan, manyetik ayēma iklēmi, bakta rulo dōnēk hēē ve besleme tane boyu olmak üzere, bōlēcē bēēak ayarē bant kalēnlēē manyetik rulo konfigūrasyonu ve besleme hēē ile kontrol edilmektedir.

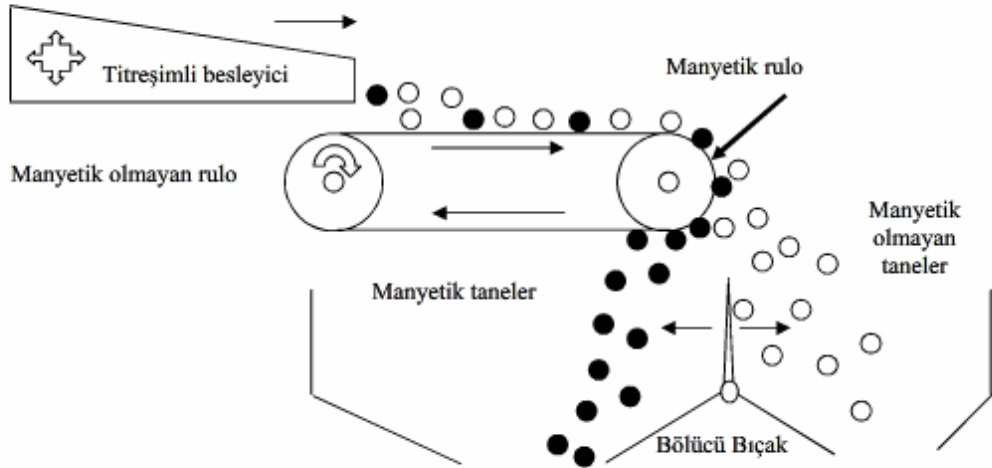
Rulo tipi manyetik ayēēēlarda manyetik ayēma iklēmi, belli bir manyetik duyarlēēa sahip tanelerin manyetik rulo üzerinden geēerken, yōrēngelerinin uygulanan manyetik kuvvet tarafēndan saptēēmasē ilkesine dayanē. Genel fizik yasalarēna gōre, iri tanelere etkiyen merkezkaē kuvvet ince tanelere etkiyenden daha bēyēktür. Bu nedenle iri taneler ince tanelerden daha uzaēa fēlatē. Verimli bir ayēmanēn gerēekleētirilebilmesi iēin, besleme tane boyu aralēēē bu faktōrler gōz önüne alēnarak belirlenmelidir.

5 mm den iri tane boyutlarēnda, beslemedeki iri tane boyutunun en ince tane boyutuna oranēnē 2:1 ya da daha az olmasē istenmektedir. Örneē in: -30+20 mm, -20+10 mm, -10+5 mm gibi, 5 mm den ince tane boyutlarēnda ise bu oran daha bēyēk tutulabilmektedir. Örneē in: -7+3 mm, -3+0,8 mm, -0,8+0,07 mm gibi.

ēok zayē manyetik safsēzlēklarē ortamdan uzaklaēēmasē gibi bazē özel durumlarda, verimli bir ayēmanēn yapēabilmesi iēin besleme tane boyutunun dar tutulmasē istenmektedir.

Rulo tipi kuru manyetik ayēēēdarēn tasarēmē oldukça basittir (ēekil 3.1). Bu tür manyetik ayēēēdar, öndeki manyetik olmak üzere iki rulo, malzeme aktarēmēnē saē layan ince ve dayanēklē bir bant, manyetik ve manyetik olmayan malzemeleri birbirinden ayēan bir bōlēcē

b çaktan olmaktadır. Besleme, genellikle ayarlanabilir bir titreşimli besleyici tarafından yapılmaktadır [54, 55].



 ekil 3.1 Rulo Tipi Kuru Manyetik Ay   [55]

Bor cevherleri i inde genellikle gang minerali olarak y ksek oranda demir i eren biyotit ve klorit mineralleri bulunmaktadır. Bor cevheri boyut k   ltme i lemlerinden sonra kilinden ar nd  lmakta ve bunu takiben y ksek alan kiddetli s rekli manyetik ay    larda biyotit ve kloritten ayr larak manyetik olmayan bor mineralleri konsantre edilebilmektedir [48, 56].

Kayandan vd. [57] Emet Kolemanit cevherini manyetik seperat r ile zenginlektirme  al  malar nda, Amerikan INPROSYS firmas n n  retimi olan laboratuvar tipi kuru y ksek alan kiddetli (20.000 Gauss) manyetik seperat r kullan  m    . Yap  an  al   malar sonucunda;

Beslenecek cevher boyutunun 3 mm alt  nda olmas   gerekti   i,

Beslenecek cevherin neminin % 3 alt  nda olmas   gerekti   i,

Espey b lgesi killeri simektit k  kenli ve Fe a    ndan zengin oldu  undan manyetik seperat rle zenginlektirmede baka    sonu  lar elde edilmektedir.

Espey b lgesinde (-3 mm) zenginlektirme  ncesi al  nan numunelerle yap  an  al   malarla % 80 metal kurtarma rand  man  ve % 57 yak a       k kazan  n  ile ger eklektirilmik konsantre -3 mm nin ten r  % 46 B₂O₃ dere ula   m    . Buradan -3 mm zenginlektirme devresi yerine manyetik seperat r n kullan  labilece  i b ylece i lem maliyetinin d    k, rand  manlar n y ksek olarak ger eklektirilebilece  i g r  lmektedir. Burada sorun beslenecek cevherin

rutubetinin % 3'ün altına indirilmesidir. Bu sorunda çıkan ürünün stoklarda bekletilip yaz aylarında dışarıda kurutmaya tabi tutularak çözülebileceği tespit edilmiştir. Espeyde sabit elektrik -40 mm cevherin zenginleştirilmesi başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Espey bölgesinde stoklarda mevcut olan düşük tenörlü -3 mm cevherlerin manyetik seperatörle zenginleştirilmesinin mümkün olacağı tespit edilmiştir. Hisarcık kökenli cevher içinde bulunan killerin bir kısmı daha çok Alümina zengin olduğundan Espey'deki gibi çok başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

Aytekin vd. [58] Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Müessesesi -3+0,2 mm konsantredeki demir tenörünün % 0,3 Fe altına indirilmesinin tespiti projesinde demir tenörünün tane iriliği incelidikçe azaldığı görülmüştür. 11000 Gauss'duk manyetik separatörde yapılan zenginleştirme çalışması sonucunda % Fe değeri 0,24'e kadar düşürülmüştür.

3.2 Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme

Mineraller arasında elektrik iletkenlik farkına dayanan, elektrostatik kuvvetlerin aktif olduğu bu yöntemde, minerallerin yüksek gerilim altındaki statik bir elektrik yükü kazanma, bu yükü bir süre tutma veya tamamen iletirken kaybetme özelliklerinden yararlanılmaktadır [50, 59].

3.3 Isı İkleme (Dekrepitasyon) ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme

Bor minerallerinin 300-900 °C sıcaklıklarda ısıtarak kristal sularını uzaklaştırmak amacıyla yapılan ısıtma işlemi dekrepatasyon (kalsinasyon) denmektedir. Bor mineralleri dekrepatasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Dekrepatasyon 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 [60-73].

Kolemanitin dekrepatasyon işlemi için genellikle 450-500 °C'dik sıcaklıklar kullanılmakta, kristal suyu bu yolla ayrılan ve toz haline gelen malzeme belli tane boyutunda elenerek kalsine ürün elde edilmektedir [74, 75, 76]. Konsantre kolemanitin direkt olarak sülfürik asitle çözündürülmesi yerine, dekrepite edildikten sonra çözündürülmesi yoluyla daha verimli borik asit elde edilebilmektedir [35]. Doğan vd. [50] kolemanit minerallerinin dekrepatasyon ile zenginleştirmede 500-600 °C sıcaklıklara kadar ısıtarak içerdikleri bek molekül kristal sularını kaybetmeleri ve bunun sonucu olarak 0,105 mm'den daha ince boyutlara ufalanarak bu sıcaklıklarda bozuma yani dekompozisyona uğrayan karbonat ve gang minerallerinden ayrışmasını hedeflemişler ve olumlu sonuçlar elde etmişlerdir.

Dekrepitasyon yönteminin yak yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olmasē yanēda çevre kirliliğ i meydana getirmemektedir.

Akçin vd. [77] tinkal cevherinin 350°C'de bünyesindeki suyunun açđ a çekmasē sonucunda genlektđ i ve çok yüksek poroziteye sahip bir yapēya dönüktđ ünü tespit etmişler ve cevherli kēsmān genleşmesi sonucu daha kēdēgan ve daha düşük yoğunlukta bir yapē oluşturdđ unu, tüvenan tinkal bünyesindeki kilin ise daha sert hale geldiğ ini belirlemişlerdir.

Dekrepitasyon sonucunda ortaya çekān artēk katē fazda olup, bu katē artēklarēn artēk barajē yerine tumba sahalarēda depolanmasē imkânē mevcuttur. Özellikle son yēlarda çevresel konularda hassasiyetin artmasē nedeniyle artēklarēn katē olarak depolanmasē hem artēk uzaklaştırma maliyetini düşürecek i hem de çevresel sorunlarē asgari düzeye indirecek i bildirilmektedir.

Bor minerallerinin zenginleştirilmesinde dekrepitasyon yönteminin uygulandđ ē çālāmalar akāđ ēda verilmiştir. Buna göre;

Kayandan vd. [78]de % 18,05 B₂O₃ tenörlü beslenen numune, değ i iki sēcaklık ve sürelerde yapıdan kalsinasyon sonucunda 430 °C ve 75 dk'da % 28,75 B₂O₃ tenörlü konsantre olarak elde edilmiştir.

Akçin vd. [77]de Kēka Bor Kēletmesinde bulunan tüvenan tinkal 350°C'de kalsine edilmiş, 500 mm'ye öđ ütölmüş ve daha sonra havalēayācēyla kil bakardē bir şekilde ayrılmāktır. Konsantre % 44,51 B₂O₃ tenörüne yükseltilmiştir.

Emrullahoğ lu vd. [79] besleme tenörü % 19,48 B₂O₃ olan zenginleştirme Artēklarē yapıdan dekrepitasyon ve sallantē masa ile ayēma sonucunda % 51,88 B₂O₃ konsantre % 84,41 kazanma verimiyle elde edilmiştir.

Aytekin vd. [80] besleme tenörü % 30,86 B₂O₃ olan -50 mm'dik cevher elde edilen 500 °C 15 dk'dā optimum çālāma sonucunda % 52 B₂O₃ tenörlü konsantre, % 7 B₂O₃ tenörlü artēk % 95 verimle konsantre ürün elde edilmiştir.

Çelik vd. [81]nin yaptēklarē çālāmada kolemanit tenörü % 42,97 B₂O₃, üleksit tenörü ise % 38,90 B₂O₃ olarak beslenmiş ve 475 °C'de -12.5+4.76 mm'de en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Üleksit konsantresi % 93,73 verimle % 51,05 B₂O₃ tenörlü, kolemanit konsantresi % 90 verimle % 57,14 B₂O₃ tenörlü elde edilmiştir.

Badruk vd. [82]’nin tinkal cevherinin kalsinasyon klasifikasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi çalışmasında % 26 B_2O_3 tenörlü besleme malē 13 dk. 350 °C optimum sonuçta % 32 B_2O_3 tenörlü konsantre tinkal üretimi gerçekleştirilmiştir.

Doğan vd. [50]’nin Bigadiç ve Kestelek Bor Artıklarının ısıtma, elektrostatik ayırma ve flotasyon ile zenginleştirme olanaklarının araştırılması çalışmasında ısıtma işlemleri sonucunda % 34,6 B_2O_3 tenörlü Bigadiç artıkları 500 °C 15 dk. sonunda % 59,8 B_2O_3 tenörlü konsantre ürün olarak elde edilmiştir. % 31,9 B_2O_3 tenörlü Kestelek artıkları ise 450 °C 15 dk. sonunda % 36,2 B_2O_3 tenörlü konsantre ürün olarak elde edilmiştir.

Kaytaş vd. [55]’nin %18 B_2O_3 ve %1,57 SO_3 içeren Bigadiç kolemanit artıklarından min. %40 B_2O_3 ve max. % 0,5 SO_3 içeren konsantreler elde edilmesi amacıyla yönelik olarak yapılan çalışma sonucunda, optimum sonuçlar 500 °C ve 15 dk. dekrepatasyon ile % 22,1 oranındaki konsantre, %57,84 B_2O_3 ve %0,44 SO_3 tenörü ile elde edilmiştir.

Köner vd. [43] yaptıkları çalışmada, üleksit ve kolemanit içeren numuneleri Bigadiç’ten almışlardır. Tane boyutu -1.65 +0.42 mm ve besleme tenörü % 40,87 B_2O_3 olan numune yapılan I. Test sonunda 240 °C 60 dk. üleksitin kolemanitten öğütme-eleme ile kolayca ayrılabilirdiği göstermiştir. Konsantre tenörü %38,7’den % 54,20 B_2O_3 ’ye yükseltilmiştir. II. Testte ise 450 °C 30 dk üleksitin kolemanitten daha sert olduğunu göstermektedir. 300 °C’den sonra kolemanit çok kırılgan 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 yükseltilmiştir.

Savak ve Sönmez [10] Etibank Emet Kolemanit Kaldırılması Gözet Artıklarının Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması çalışmasında, iki saat suda bekletme, mekanik dağıtma, ultrasonik banyo deneyleri, kalsinasyon ve manyetik ayırma deneyleri yapılmışlardır. Kalsinasyon ve manyetik ayırma deneyleri sonucunda (-4,0+0,045) mm boyut ile yapılan manyetik ayırma deneyi ile % 38,68 B_2O_3 tenör, % 82,18 B_2O_3 verim ve giren malzemeye göre % 69,76 B_2O_3 verimi ile bir konsantre elde edilebileceği ve giren malzemenin % 59,18’inin % 11,56 B_2O_3 tenörü ile atılabileceği görülmüştür. Kalsinasyon deneyleri sonucunda ise optimum koşulların 400 °C, 20 dak. veya 500 °C 15 dak. olduğu görülmüştür. 400 °C ve 20 dak. ile yapılan dekrepatasyon deneyinde % 34,09 B_2O_3 tenör ve % 95,72 B_2O_3 verimi ile bir konsantre elde edilirken giren malzemenin % 21,33’ünün % 4,76 B_2O_3 tenör ve % 4,28 verimle atılabileceği görülmüştür.

Suner ve Çelik [83] dekrepitasyon prosesinin termodinamik analizinde 14 bor mineralinden sadece kolemanitin dekrepitasyona uğradığı tespit etmişlerdir. Bu çalışmada iki tipik bor mineralinin dekrepitasyon özellikleri incelenmiş olup, bunlardan kolemanitin dekrepitasyona uğradığı üleksitin ise kâdabilir hale geldiği görülmüştür. Çalışmalar 500 °C'de 15 dakikalık sürede yapılmıştır.

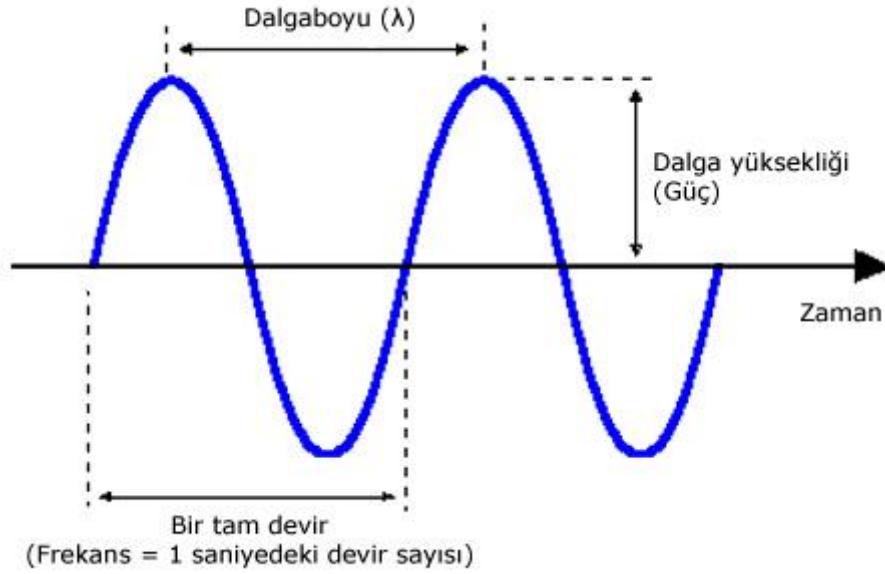
Aytekin vd. [84]'ün Emet artıkları ile yaptıkları kalsinasyon çalışmaları sonucunda kalsinasyon verimi ve konsantre tenörlerini etkileyen besleme mal miktarı kalsinasyon süresi ve kalsinasyon tane iriliği, kalsinasyon sıcaklığı gibi parametreler Emet Dükük Tenörlü kolemanit cevheri için yeniden belirlenmiştir. Besleme mal miktarı 500 gr., Kalsinasyon tane iriliği tamamı-25 mm, kalsinasyon sıcaklığı 480 °C (460 - 500 °C) ve kalsinasyon süresi 40 dk. olarak tespit edilmiştir.

Aytekin [85]'in Bigadiç kolemanit artıklarının değerlendirilmesi çalışmasında elektrostartık ayırma kolemanit, kalsit ve jibs gibi benzer yapıdaki minerallerin eşya bağları elektrostartık özelliklerinde farklılıklar olabileceği varsayarak uygulanmıştır. Çalışmalarda 100 °C'ye eşdan numunede konsantrenin B₂O₃ tenörü % 38,21'e yükseltilmiştir. Verim ise % 58,64 olarak hesap edilmiştir. Kalsinasyon sonucunda ise kolemanitin bünye suyunu kaybetmesi ile konsantrenin B₂O₃ tenörü % 57,84'e yükselerek verim % 73 olurken, SO₃ içeriği % 0,44'e düşürülmüştür.

3.4 Mikrodalga Yöntemi ile Zenginleştirme

Mikrodalga ile zenginleştirme madencilik sektöründe çok yaygın olmamakla birlikte gün geçtikçe kullanılmegiderek yaygınlaşmaktadır.

Elektromanyetik yelpaze içinde değişik isimlerle incelenen alanlar temelde dalgalar halinde yayılan alanlardır. Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun dalga boyu 1 mm'den 1 m'e kadar olan ve frekansı 300 MHz den 300 GHz'e kadar olan bölümüne denk gelen iyonize olmamak dalgalarıdır. Kızıl ötesi alanlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır [86]. Elektromanyetik alanların dalga boyları ve frekanslarıyla tanımlandığı ve enerjinin dalga frekansı ile doğru, dalga boyu ile ters orantılı olduğu bilinmektedir. Mikrodalgalar; diğer elektromanyetik enerji formlarından (görülebilir, ultraviyole ya da kızılötesi alanlar gibi) daha uzun dalga boylarına sahiptir. Bir elektromanyetik dalga, dalga boyu (λ), frekans (f) veya enerjisi ile karakterize edilmektedir. Şekil 3.2'de ise bir mikrodalga'nın görünümü verilmektedir.



Şekil 3.2 Bir mikrodalganın görünümü [87]

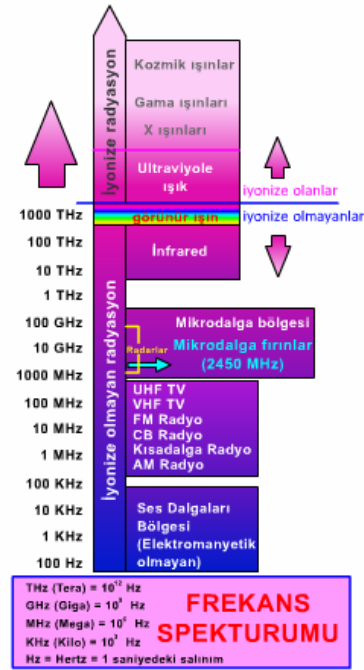
Elektromanyetik dalga birbirine dikey olan elektrik ve manyetik bileşenlerden oluşmaktadır [86]. Her ikisi de iletim yönüne dikey düzlemindedir. Elektrik ve manyetizma durgun (statik) halde olabilir. Ancak, hareket halindeki elektrik ve manyetik yükleri elektromanyetik dalgayı oluşturur. Bir elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alanları birbirlerine ve dalganın hareket yönüne diktir.

Dalga Boyu: İki tepe noktası arasındaki uzaklıktır.

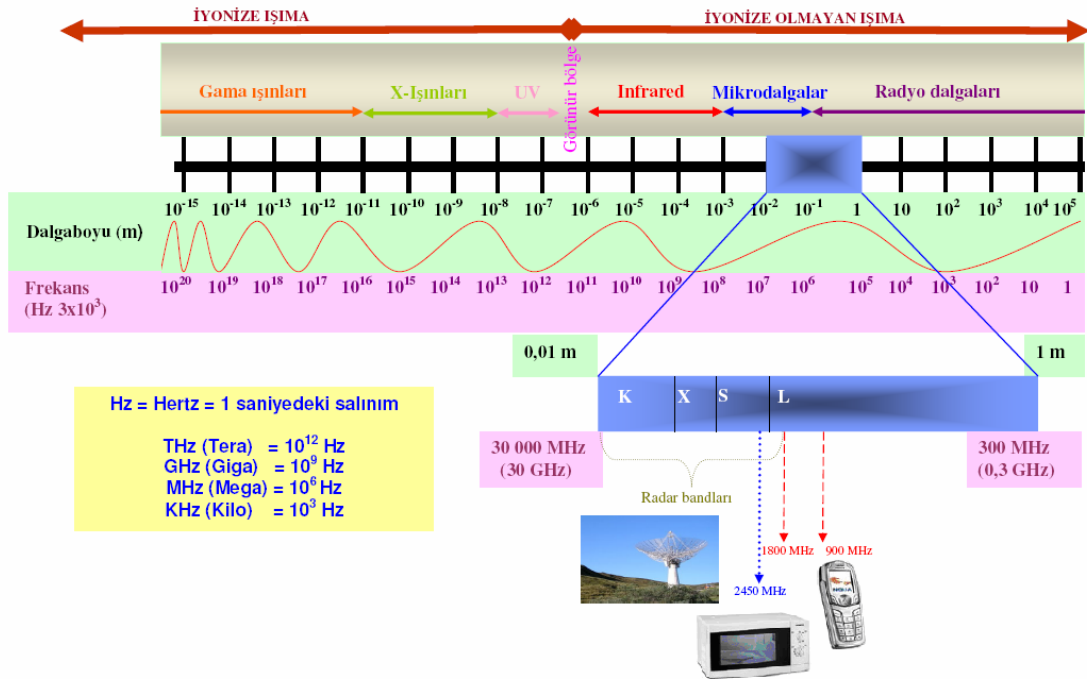
Frekans: Elektromanyetik dalganın belli bir süredeki ve belli noktalardaki titreşim sayısıdır. Dalga boyu kıldıkça, frekans artmaktadır, aralarında ters bir orantı vardır. Örneğin AM radyo bandının frekansı bir milyon hertz (1MHz) dir ve dalga boyu yaklaşık 300 metredir. Mikrodalga fırınlar ise 2450 milyar Hertz (2,45 GHz) frekansında çalışmaktadır ve dalga boyları yaklaşık 12 cm'dir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te frekans spektrumu verilmiştir.

Elektromanyetik dalgalar için diğer bir değer hızdır. Hız tüm elektromanyetik dalgalar için (vakum ortamda) aynıdır ve aynı hız olan $c=3 \times 10^8$ m/sn dir. Dalga boyu, hız ve frekans değerleri arasında şu bağıntı vardır [87].

$$\lambda = c / f$$



Şekil 3.3 Frekans spektrumunun görünümü [88]



Şekil 3.4 Frekans spektrumunun diğ er bir görünümü [87]

Mikrodalgalar, radyo ve televizyon yayınlarında kullanılan dalgalara yakın olduğundan, kullanım sırasında ortaya çıkabilecek etkileimleri önlemek için sadece, ulusal veya uluslararası telekomünikasyon komisyonlarıca onaylanmış frekanslardan başka amaçla yararlanılır. Genel olarak ISM (Industrial, Scientific, Medical) bantları olarak bilinen bu bantlar 896, 915, 2450, 5800 ve 24125 MHz frekanslarıdır. Gıda sanayinde kullanılan mikrodalga bantları, ev tipi frekanslarda 2450 MHz, sanayide ise 915 MHz frekanslarıdır [86, 87, 88].

Mikrodalgalar, iletişim alanında geniş uygulamalara sahiptir, bununla birlikte Federal Communication Commission isimli kuruluş (FCC) endüstriyel, bilimsel, tıbbi ve cihaz yapımına uygulamaları için belirli frekanslar tahsis etmiştir. Ev tipi mikrodalga frekansları için genellikle yararlanılan frekans 2450 MHz'dir [86].

Basit bir aynadan örneğin metalik bir levhadan yansıtılabilen mikrodalgalar, dielektrik arayüzde yansımaktadır ve parabolik yansıtıcılar ya da boru antenleri ile odaklanabilmektedir. Mikrodalga enerjisi, 2450 MHz için yaklaşık % 50 ve 915 MHz için yaklaşık % 85 dönüşüm verimi ile elektrik enerjisinden elde edilebilmektedir [86, 87, 88].

3.4.1 Mikrodalga frekanslarının tarihçesi

Mikrodalga güç uygulama gereğinin geliştirilmesi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanması 1940'li yıllarda başlamıştır. II. Dünya Savaşı sırasında Alman uçak ve denizaltılarının yerini tespit etmeye yönelik çalışmalar yapan bilim adamları Magnetron adını verdikleri ve elektronik dalgaları metal yüzeylerinden yansıtan bir cihaz keşfetmişlerdir. Bu keşif onların kimdi radar adı verilen cihaza götüreceği yolda bir anahtar olmuştur [87, 88, 89, 90].

1950'li yıllarda yapılan ilk çalışmalarda mikrodalgaya tabi tutulan maddelerin özellikleri hakkında güvenilir veriler elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu ön çalışmalar sonucunda birçok organik ve inorganik maddenin 100 Hz ile 10 GHz frekansları arasındaki yapısal özellikleri incelenmiştir. Takip eden yıllarda madde özellikleri verilerine ek olarak, magnetronların, güç kaynaklarının ve yan ekipmanlarının tasarımındaki belirgin gelişmeler bu yeni teknolojinin ilerlemesine ve güvenilirliğinin artmasına neden olmuştur. Fizik, kimya, elektrik, elektronik, makine, proses mühendisliği, termodinamik, madde fiziği vb. gibi birçok disiplin, bu teknolojinin gelişmesindeki gereksinimleri karşılamak üzere işbirliği yapmaktadır [89, 91].

İlk uygulamalar gıda sanayinde görülmektedir. Örneğin; gıda, kağıt, inşaat malzemeleri, metalurji sanayi, çevre ile ilgili olarak radyoaktif ısıtma ve hastane ısıtma için zararsız hale getirilmesinde kullanım ve uygulama alanı bulmuştur [86].

Son yıllarda mikrodalga fırın tasarımları mühendisleri, mikrodalga enerjisinin kontrolünde karşılaşılan iki problemi çözüme kavuşturmuştur. Bunlardan ilki Ayarlı Güç Ünitesi (VPU); burada güç, magnetron çıkışı ile kontrol edilmektedir. Diğer ise Dönme Modeli Güç Dönüştürücü sistem ki bu sayede kontrol devamlılığı sağlanmıştır. VPU, ön program pikirme seçenekleri sunabilmekte, bu ise kimlik ev kullanımı için istenen Akıllı Fırın düşünceğine en yakın seçenek anlamına gelmektedir [86, 89, 91].

Ayarlanabilir ısıtma frekanslı mikrodalga fırınlardaki bir başka teknik özellik olarak karışmaya çıkmaktadır. Bu, mikrodalga fırınların ana gelişme unsurları arasında gösterilmektedir. Halen araştırma aşamasında olan bu özellik şu an itibarıyla ticari ürünlerde kullanılabilecek düzeyde değildir.

Günümüzde yapılan araştırmalar; içindeki yiyeceklerin ne olduğunu anlayan, malzemenin nem, ağırlık vb. özelliklerine göre program seçeneklerini sunabilen mikrodalga fırınlar geliştirmeye yönelik olarak devam etmektedir.

3.4.2 Mikrodalga fırınların kullanım alanları

Mikrodalga enerjisi ile ısıtma, bazı uygulamalarda, diğer ısı kaynaklarına göre büyük üstünlükler sağlamaktadır. Enerjinin maddenin içinde doğrudan ısıya dönüşmesi, anında kontrol edilebilmesine olanak sağlaması ve madde üzerinde onun yapısını bozacak elektriksel bir baskı yaratmamasıdır. Proses kontrolü, diğer yöntemlere nazaran daha hızlı yapılabilmektedir. Isıtma derecesine anında müdahale edilerek ve mikrodalga gücü değiştirilerek ısıtma hemen kontrol altına alınabilmektedir. Kontrol işlemi çok hızlı olduğundan, kullanılan ısıtıcıların boyutları küçük ve kapladıkları alan çok azdır [91, 92, 93, 94, 95].

Mikrodalga ısıtma ile pikirme, haşlama, kurutma, pastörizasyon, buz çözme, sterilizasyon ve temperleme gibi işlemler yüksek verimle kısa zamanda yapılabilmektedir. Pikirme işlemi kısa zamanda, gıda maddesinin her noktasında homojen bir ısı dağılımı oluşturularak yapılan bir işlemdir. İşlemin süresi pikirilecek gıdanın su içeriğine, yoğunluğuna, dielektrik kayıp faktörüne ve kütlesine bağlıdır. Mikrodalga güç uygulama gereçlerinin kullanıldığı alanlar, proses türüne göre sıralanmıştır [96, 97, 98, 99, 100].

Hava akımında büyük kütlelerin kurutulması ve kalsinasyonu

Kağıt ve karton sanayi, bisküvi ve makarna sanayi

Kuruyemik ve çerez sanayi, tekstil sanayi (pamuk ve yün)

Cam yünü üretimi, ahşap ve mobilya sanayi

Aktif karbon rejenerasyonu, vb.gibi

Vakumlu ortamda       hassas malzemelerin kurutulmas  
       sanayinde, suya hassas kimyasallar  n kurutulmas  nda
 Makarna   retiminde, keker kurutulmas  nda
 So   an,   ay ve ila   hammaddesi olarak, kuruyemik ve   erezlerde
 Haz     orba bilekenlerinin imalat  nda
 Is   i  lemlerde
 Beton ve kaya par  alamada, aktivasyon i  lemlerinde
 Seramik sinterlemede, asfalt rejenerasyonunda
 Petrol sondaj  nda, lastik ve kau  uk vulkanizasyonunda

3.4.3 Mikrodalga     man  n avantaj ve dezavantajlar  

3.4.3.1 Avantajlar  

Enerji Penetrasyonu:

- Mikrodalga (MD) enerjisini madde y  zeyine b  rakmaz, frekans  na ve gelik a     na g  re madde i  inde belli bir i  leme derinli  i vard  r.
- MD malzemeleri i  ten     maya baklad    ndan y  zeyde yanma olukmaz
- MD     mada s  caklık ve zaman ayarlamas  kolayd  r ve k    lama yoktur
- Cisimlerin i   b  lgelerinde istenilen nokta hedeflenerek     ma yap    abilir

Enerji Prosesi   ok H  zl  d  r:

- Is  ma h  z   30 000  C/s  den 1  C/as    a kadar ayarlanabilir.
- Malzemenin cinsi,     ma       dielektrik   zellikleri, geometrisi,     kay  p mekanizmas  ve MD         n   zellikleri gibi parametrelerden     ma h  z   etkilenir.   rne  in,     ma g  c   2 kat att     nca h  z da 2 kat artar.

Malzemenin T  m  nde Homojen Is  ma Yap    abilir:

- Konvansiyonel     malarda oldu  u gibi malzeme i  inde b  y  k      de  i  imi olmaz,     ma istenilen b  lgeye ve geometriye g  re ayarlanabilir.
- Enerji d  n  k  m verimi y  ksektir.
- Do  rudan do  ruya hedeflenen malzeme       abilir.
- Heterojen malzemelerde baz  bilekenler        p, baz  dar        mayabilir.
- F     n duvarlar   tak     bantlar ve i  indeki havan  n       mas  na gerek yoktur.
- F     n kendisi     mad    ndan, ayr  ca so  utma ekipmanlar  na ve izolasyona gerek yoktur.
- Is  ma h  zla kontrol alt  na al  nabilmektedir ve daha h  zli proses kontrol   sa  lar.

- Isımanın baklatılmasında ve kesilmesi çok kolaydır.
- Cihazların kapladıkları alan ve hacim çok küçüktür.
- Mevcut tesislere kolaylıkla adapte edilebilir ve montajı kolaydır.
- Ürün kalitesini artırır ve kabuklanmayı önler.
- Yüzeyde istenilmeyen fiziksel ve kimyasal değişimlikleri önler.
- Ürünün orijinal kokusu ve lezzetini muhafaza eder.
- Prosesle daha az artı ürün olur.

Sıcaklığa Bağlı Pek Çok Kimyasal Reaksiyonu Başlatabilir

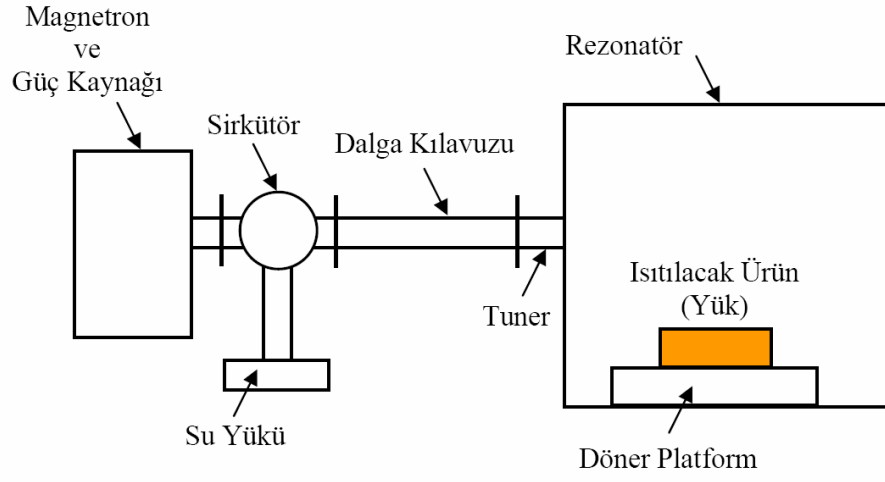
- Kataliz olarak kullanılır (Hot Spots) olabilir.
- Organik sentezlerde, polimerizasyonda, plastiklerde solvent gidermede, emülsiyon bazında, ilaç sanayinde kullanılabilir [93, 100].

3.4.3.2 Dezavantajları

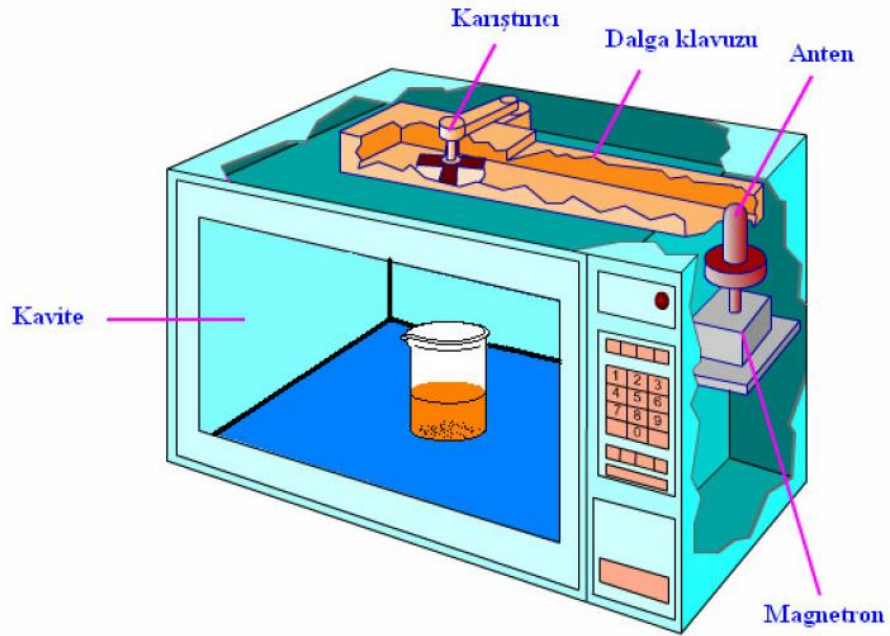
- MD ısıtma ile bazı ürünler zarar görebilir (derin ısıya uygun değil olmazsa).
- Ani ısıtma sonucu oluşan basınçla, üründe patlama, kabarma ve deformasyon olabilir.
- Giriş voltajındaki değişimler cihazda ve üründe problem yaratabilir.
- Kurutma işlemlerinde %50'den fazla su içeren sistemler için uygun değildir.
- Sabit yatırım 2500-3000 \$/kWh kadardır.
- Gıda ve kurutma sanayiindeki uygulaması yaygınlaşmamıştır [99, 100].

3.4.4 Mikrodalga fırınların çalışma prensipleri

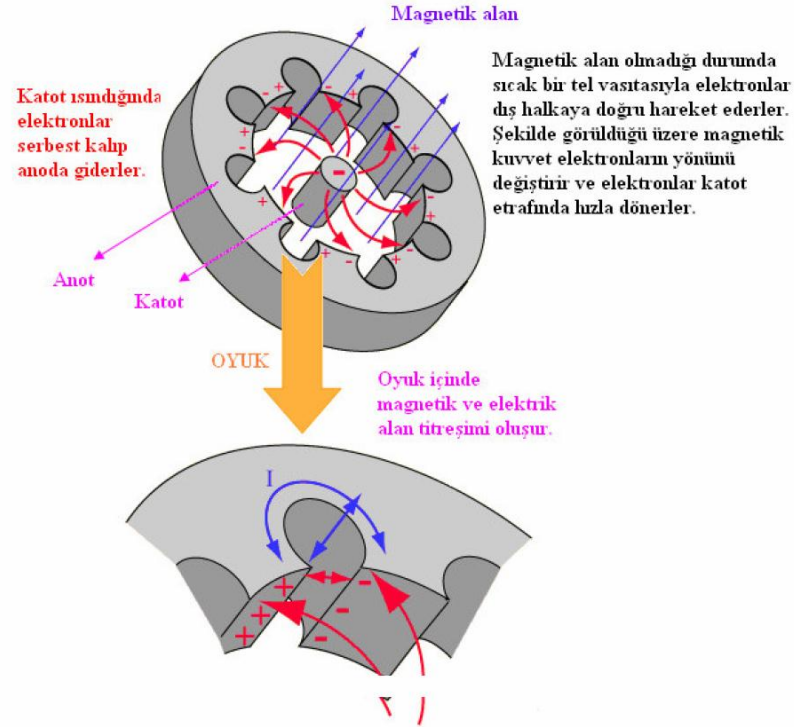
Mikrodalga fırınlarda ısıtma sistemi 4 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; güç temini, magnetron, hedef malzemenin ısıtılması için uygulayıcı ve mikrodalgaların jeneratörden uygulayıcıya taşınması için kullanılan dalga kılavuzudur. Şekil 3.5'te mikrodalga ısıtma sisteminin basitleştirilmiş diyagramı ve Şekil 3.6'da ise bir mikrodalga fırının yapısı verilmiştir.



Şekil 3.5 Bir mikrodalga ısıtma sisteminin basit diyagramı [101]



Şekil 3.6 Bir mikrodalga fırının yapısı [87]



Şekil 3.7 Magnetronun kesit şekli [87]

3.4.5 Sıcaklık Ölçümü

Mikrodalga radyasyonu sırasında sıcaklık en ölçümü en büyük problemlerden birini teşkil etmektedir. Luxtron fluoro-optik ya da accufibre sistemleri, 400 °C üzerinde sıcaklık ölçümlerinde kullanılabilmektedir. Ancak, pek çok endüstriyel uygulamalar için çok kâârgan olabilmektedir. Optik pirometre ve termokupl (metalik probe) yüksek sıcaklıkları ölçmek için kullanılabilmektedir. Optik pirometre, örneğin thermovision infrared kamera, sadece yüzey sıcaklığı nı kaydedebilmektedir ki, bu her zaman örneğin içsel sıcaklığı ndan çok düşük olmaktadır. Termokupl (metalik probe) sıcaklık ölçümü için kullanıldığında zaman, örnek ve termokupl arasında oluşan ark, termokupl performansında hatanın meydana gelmesine yol açabilmektedir. Son geliştirilen sıcaklık ölçüm gereçlerinden biri de ultrasonik sensörlerdir ki, bunlar 1500 °C üzerinde sıcaklıkları ölçebilmektedir [90, 91, 93, 100].

Mikrodalga radyasyona maruz kalan malzemenin sıcaklığı e mikrodalga güç kapatıldıktan sonra thermocouple, sıcak malzemenin içerisinde derhal sokularak da ölçüm yapılabilir [86].

3.4.6 Sanayide kullanılan mikrodalga ekipmanları

Sanayide kullanılan mikrodalga ekipmanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

Hareketli MD cihazı (Traveling wave guide) (elyaf, kağıt ve gıda sektörlerinde)

Tek hücreli MD fırını (Single Mode Cavity) (seramiklerde, gıda, evlerde vb.)

Çok hücreli MD fırını (Multi Mode Cavity) (seramik sinterleme, gıda ve kimyasalların kurutulması ve dehidrasyonu)

Sürekli sistemlerde kullanılan rezonans tipi (büyük hacimli cisimlerde)

Hareketli polarize edilmik MD cihazı (beton, kaya kama ve petrol sondajında)

Elektromanyetik lensler (tıbbi uygulamalarda)

Şekil 3.8 ve 3.9'de çekitli tip sanayi amaçlı mikrodalga fırınlar gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Döner tüplü mikrodalga fırını [102]



Şekil 3.9 Sürekli tip bantlı mikrodalga fırın [102]

3.4.7 Mikrodalga ile bor mineralleri üzerine yapılan çalışmalar

Mikrodalga enerjinin cevher hazırlama endüstrilerinde bir potansiyel olarak kullanılmaları 1960'lardan sonra gelişmiştir. 1960 yılından itibaren seramik endüstrisinde uygulanması çalışmalarına başlanmıştır. Genellikle seramiklerin sentezlenmesi, kurutulması, kalsinasyonu ve sinterlenmesinde mikrodalga enerji kullanımı alanı bulunmaktadır [103].

Ülkemizde bor mineralleri üzerinde mikrodalga enerjisine bağlı çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların özellikle kimyasal madde kurutma ve kalsinasyon ile üretim konularında yoğunlaştığı görülmektedir.

Kocakuyak vd. [104], boraks pentahidrat, boraks dekahidrat ve çektirli boraks hidratların mikrodalga enerji ile dehidrasyonu ve susuz boraks üretimi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 2450 MHz frekansta ve 650 W gücünde bir mikrodalga fırın kullanılarak ve 1 molen daha az kristal suyu içeren susuz boraks elde edilebilmiştir.

Kocakuyak vd. [105, 106, 107], tarafından yürütülen diğer çalışmalarda da; % 5-10 nem içeren boraks pentahidratın mikrodalga enerjisi ile kurutulması incelenmiştir. 250 °C'de 20 dk mikrodalga enerjiye maruz kalma süresinde, % 85 içerikli $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ toz formunda elde edilmiştir. Deney sonuçları konvansiyonel sistem ile de karşılaştırılmıştır ve mikrodalga kurutmanın konvansiyonel prosese göre çok daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Kocakuyak vd. [108], mikrodalga enerji desteğinde borik asitin dehidrasyonu ile bor oksit üretimi konusunda yaptıkları başka bir çalışmada ise 2450 MHz frekans ve 700 W gücünde bir fırın kullanılarak ve 60 dakikadan daha kısa bir sürede % 98 B_2O_3 içeren bor oksit üretimini gerçekleştirmişlerdir.

Eymir ve Okur [109], üleksit mineralinin mikrodalga enerji ile dehidrasyonu üzerinde yaptıkları çalışmada, üleksit numunelerinin önce kil gibi safsızlıklarından temizlemek ve daha sonra kâma ve öj ütme ile 4 farklı boyut grubunda (-1180+850, -850+600, -600+425, -300+212 mikron) sınıflandırmışlardır. Yapılan deneyler ile 2450 MHz frekanslı ve maksimum 1000 W gücündeki bir fırında farklı güç seviyelerinin her bir boyut grubundaki üleksitin dehidrasyonu üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Mikrodalgaya bağlı elde edilen sonuçlar daha sonra konvansiyonel yöntem ile de karşılaştırılmak ve ısınma mekanizması açısından mikrodalganın çok efektif olduğu belirtilmiştir.

Eskibalç [86], cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması çalışmasında, her bir mineralin sahip olduğu farklı dielektrik özellikler nedeniyle numunelerin mikrodalga enerjiye maruz kaldıklarında kısa sürelerde yüksek sıcaklıklara ulaştığını ve ani sıcaklık artışı tane yapısında tane ara yüzeyleri boyunca farklı termal gerilimler üretmekte ve mikro çatlaklar oluşturmaktadır. Olukan mikro çatlaklarda numunenin öj ütülmeye yardımcı olmaktadır.

3.5 Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme

Cevher zenginleştirmenin amacı değerli mineralleri birbirinden ve gang minerallerinden uygun zenginleştirme yöntemleriyle endüstrinin isteği doğrultusunda ekonomik olarak ayırmaktır. Bu yöntemlerden biri de flotasyondur [110, 111, 112].

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 olukan sistem içerisine (pülp) hava verilerek oluşturulan uygun çaplı hava kabarcıklarının yüzeyine, arzu edilen mineral taneciklerinin (seçimli olarak) yapışması ile olukan kabarcık-tanecik agregasının pülp yüzeyine çıkması neticesinde yapılan zenginleştirme işlemidir. Kısacası minerallerin seçimli olarak sulu ortamda hava kabarcıklarına yardımcıyla ayrışmasını sağlayan bir cevher zenginleştirme yöntemidir. Genellikle düşük tenörlü ve ince boyutta serbestleşen, diğer yöntemlerle ekonomik olarak zenginleştirilemeyen minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır [113].

Ticari bor mineralleri içerisinde yalnızca kolemanit minerali için flotasyonla zenginleştirme işlemi uygulanmaktadır. Böylesi bir seçkinlik Ca^{+2} içerikli kolemanit mineralinin yüzey yükü ve yüzey özelliklerinin kaynaklanmaktadır. Genelde % 20-30 oranında B_2O_3 içeren kolemanit cevheri 20 mesh altına öğütülür ve siklon yardımıyla kılam denilen çok ince taneler ayrılır. Kılamı atmak kolemanit cevherine % 20-40 pulp yoğunluklarında köpük flotasyon işlemi uygulanır. Ayrıca, tinkal cevherlerine de flotasyon uygulama çalışmaları yapılmıştır [114, 115, 116].

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

Mekanik karıştırma flotasyon hücreleri (selüller), hava ile karıştırma flotasyon kolonları ve Jameson kolonu olmak üzere iki farklı grup altında toplanabilir. Tane boyutuna bağlı olarak flotasyon verimleri açısından bu aletlerin birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Bu da, farklı çalışma mekanizmalarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır [117, 118, 119].

Bu aletlerde aranan temel özellikler şunlardır;

Pulp içindeki katı tanelerin homojen karışımına sağlayıp ve süspansiyon halinde tutabilmek, pulp içine yeterli havayı verebilmek.

Minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarından yararlanan bu proses, oldukça karmaşık (kompleks) bir işlemdir. Diğer zenginleştirme yöntemleri katı taneciklerin kütesinden ve hacminden yararlanırken flotasyon katı tane yüzey özelliklerinden yararlanır. Flotasyon işleminin başarısı çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik faktörlere bağlıdır ve bu faktörler arası etkileşim kaçınılmazdır [120, 121, 122].

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 pulpün bazı reaktiflerle işleme tabi tutulması (kokullandırma),

Hava kabarcığı üretebilen ve katı tanecikleri askıda tutabilen bir karıştırıcıya sahip flotasyon hücresine pulpün aktarılması (sulandırma ve %15-35 katı),

- Boyutu kontrol edilebilen (köpürtücü, karıştırıcı sistem ve kabarcık üreticisi vasıtasıyla) hava kabarcıklarının hidrofor taneciklere yapışması (agregaların oluşumu),
- Suyun kaldırma gücüyle katı/hava kabarcığı agregaların 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 pülp ile beraber alınması

3.5.1 Flotasyonun Avantaj ve Dezavantajları

3.5.1.1 Avantajları:

- Diğer zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilmesi zor ve olanaksız ince boyutta serbestleken minerallerin zenginleşmesine imkan sağlar.
- Toplam girdiye göre düşük kapital ile ekonomik ürün elde edilir.
- Elde edilen konsantre ürünün kalitesi diğer yöntemlere göre yüksektir [50].

3.5.1.2 Dezavantajları:

- Üretilen ürünün birim ağırlığına göre enerji tüketimi oldukça yüksektir.
- Reaktif kullanımı nedeniyle;
 - Maliyet artar (reaktifler pahalı ve dikkatli kullanılmalı),
 - 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.
- Zamanla bağlı olarak minerallerin oksitlenmesi olumsuz etki yaratır [89].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Malzeme ve Yöntem

4.1.1. Malzeme

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numuneler, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık konsantratör tesisinde proses sırasında olukan ve % 29,57 B₂O₃ tenörü olan yaklaşık 100.000 ton -25+3 mm düşük tenörlü konsantre ile Espey konsantratör tesisinde 15 yıl önce yapılan faaliyetler sonucunda olukan yaklaşık 30.000 ton -10 mm % 28,87 B₂O₃ tenörlü ve yaklaşık 20.000 ton -3 mm % 35,64 B₂O₃ tenörlü cevherlerden alınmıştır. Her bir stoktan alınan yaklaşık 500 kg'lık numuneler Emet Bor İşletme Müdürlüğü laboratuvarında numune bölücü ve konileme-dörtleme yöntemleri kullanılarak, elek analizi, kimyasal analiz (XRF), mineralojik analiz (XRD), TG-DTA analizleri ve dekrepitasyon, mikrodalga ve manyetik seperatör deneylerinde kullanılmak üzere temsili olarak ayrışmak ve torbalanmıştır.

Deneylerde kullanılan numunelerin kimyasal analizleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde ARL Brand 8680⁺ model X-Ray cihazında ve yak yöntemlerle yapılmıştır. Numunelere ait kimyasal analizler ve sonuçları her numune için ayrı ayrı yapılmıştır.

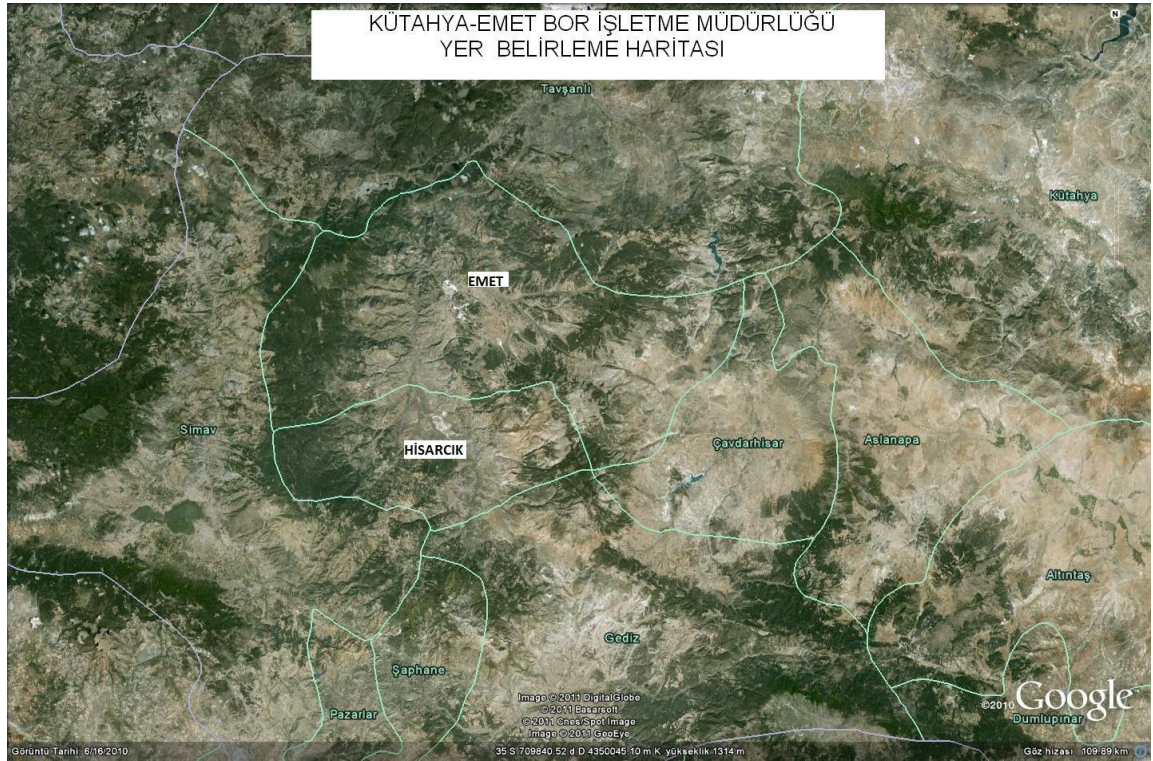
Deneylerde kullanılan numunelerin mineralojik analizi Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Dairesi Başkanlığı laboratuvarında bulunan RİGAKU marka XRD cihazından elde edilmiştir. Analizler Cu X ışın tüplü XRD analiz cihazı ile 2,5-70° arasında gerçekleştirilmiştir.

XRD ve XRF sonuçlarından stok numunelerinde kolemanit, kuvars, dolomit, muskovit, mika ve kil (illit, montmorillonit) minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. XRD pikleri numunede smektit kil grubundan illit ve bu kil grubunun kaynağı olan muskovit ve mika minerallerini göstermektedir. DTA-TG analizleri ise Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Dairesi Başkanlığı laboratuvarında NETZSCH STA 449F3 marka cihazda yapılmıştır.

Helvacı [22] Emet bölgesindeki bor yataklarının, tersiyer istif, paleozoyik yaklı mermer, mikakist, kalkist ve kloritist gibi metamorfik kayalar üzerine geldiğini belirtmektedir. Bu bölgedeki istif alttan üste doğru çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Emet Bölgesinin Jeolojisi [22]

SERİ NO	OLUŞUM BİRLİKLERİ
1	Çakıl takı ve kumtakı
2	Marn ve tuf mercekleri içeren ince katmanlı alt kireçtakı
3	Ortaç ve asit volkanitler, tuf ve aglomeralar
4	Kömür ve jips bantları içeren çakıl takı, kumtakı, kiltakı, marn ve kireçtakı andan olukan karmazı birim
5	Borat yatakları içeren kiltakı, tuf, tüfit ve marn
6	Kiltakı, marn ve çört mercekleri içeren üst kireçtakı
7	Bazalt



Şekil 4.1 Emet Bor İşletme Müdürlüğü yer belirleme haritası

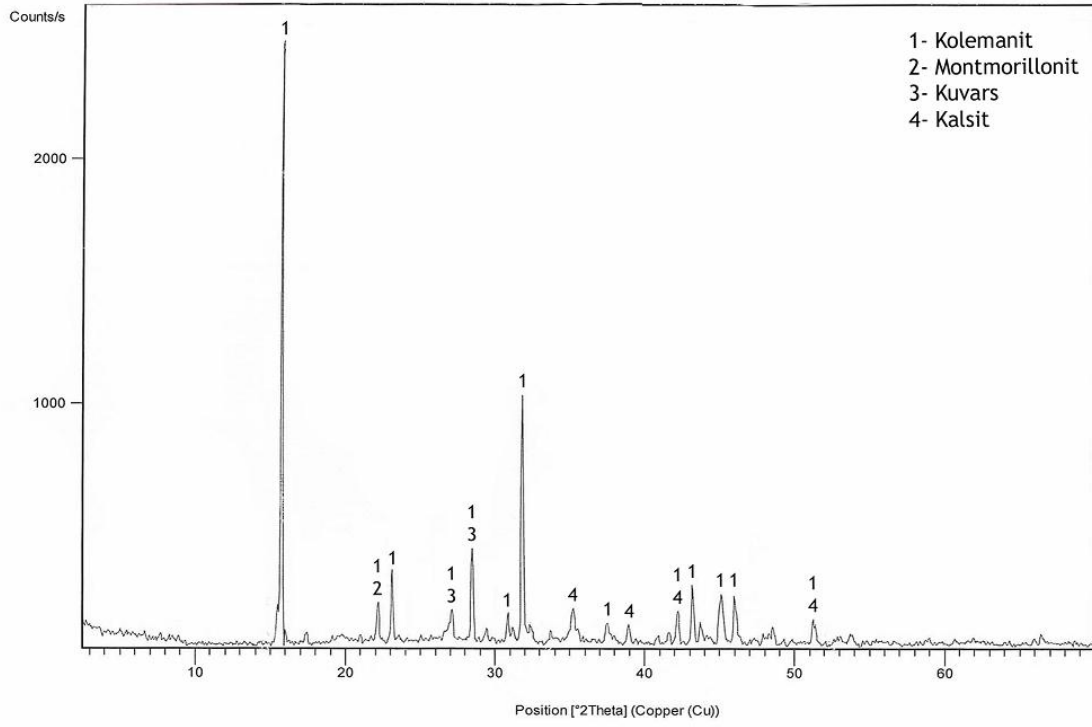
4.1.1.1 Espey düşük tenörlü -3 mm numunesine ait karakterizasyon çalışmalar

Espey düşük tenörlü -3 mm numunesi, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Açık Ocağı'nda 15 yıl önce mobil konsantratör tesisi çalışmalarları sırasında olukun 20.000 ton civarında miktara ve ortalama % 35,64 B₂O₃ tenörüne sahip değerlendirilemeyen bir stoktur. Söz konusu stok yıllardan beri hem stok alanlarına daraltmakta, hem de stok maliyetlerini artırmaktadır. Stoktan alınan yaklaşık 500 kg. kadar numunenin elek, kimyasal, minerolojik ve işe analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.2'de yapılan kimyasal analiz sonuçları gösterilmektedir. Önceleri satış yapılabilen -3 mm kolemanit konsantrelerinin spekt değerlerinde min. % B₂O₃ değerinin % 36'dan düşük olmasına gerekmektedir. Eti Maden İşletme Genel Müdürlüğü 2002 yılından sonra konsantre kolemanit satış yerine, katma değeri daha yüksek ürünler üretme yoluna giderek konsantre kolemanit satış miktarını yok denecek kadar azaltmıştır.

Bu kapsamda; Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nde katma değeri daha yüksek olan borik asit üretimine geçiş olmuştur. Daha kaliteli borik asit üretmek için tenörün % 40 B₂O₃ üzerinde olması gerektiği, Borik Asit Tesisinde fiili tecrübelerle ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.2 Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin kimyasal bileşimi

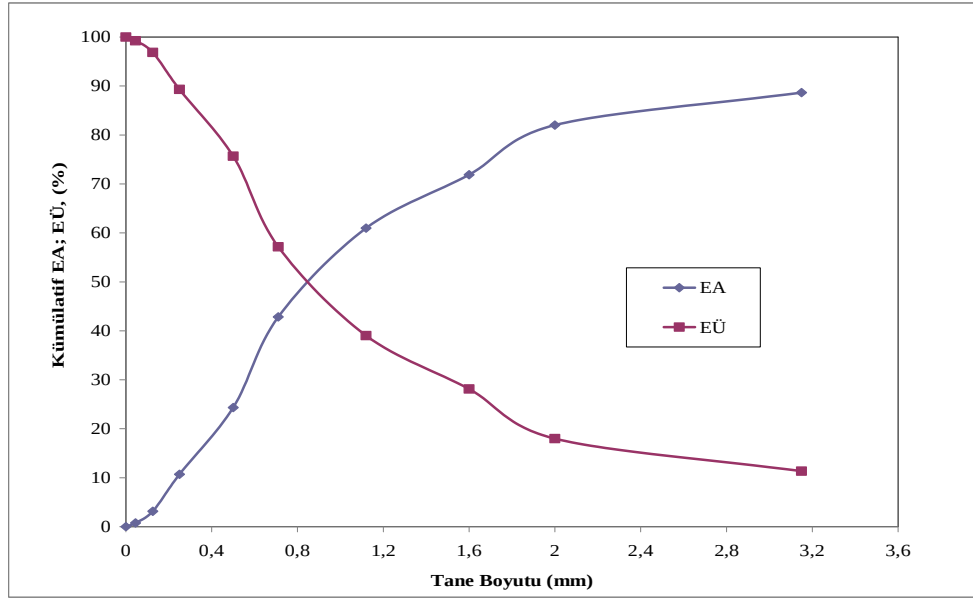
Bileşim	Miktar %
B ₂ O ₃	35,64
As (ppm)	941
SiO ₂	13,74
Al ₂ O ₃	3,68
CaO	18,75
Fe ₂ O ₃	1,01
MgO	3,30
SrO	3,63
SO ₄	0,13
Kaybı	15,36



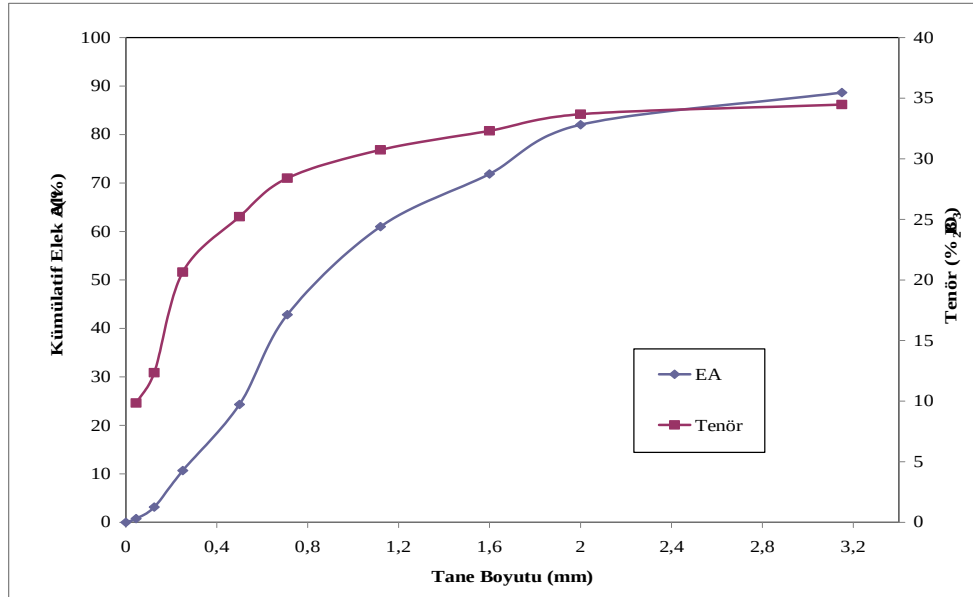
Şekil 4.2 Espey -3 mm dükük tenörlü stok numunesinin XRD sonuçlarē

Çizelge 4.3 Espey -3 mm dükük tenörlü kolemanit stoğ unun tane boyutuna göre tenör dağ đēmē

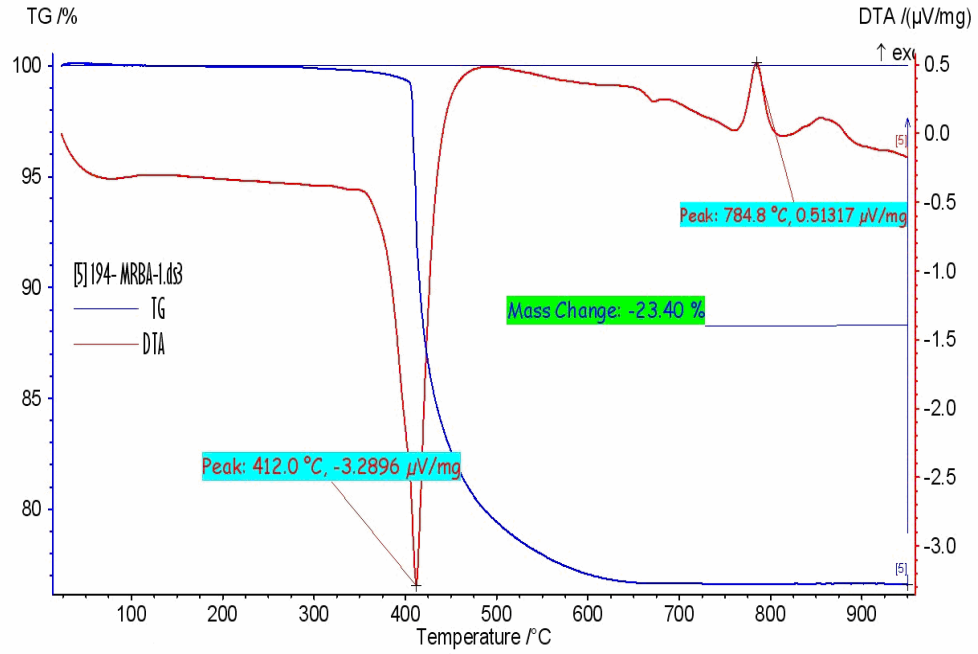
Tane Boyutu (mm)	AĞ Ėrlēk (%)	B ₂ O ₃ (%)	Dağ đēm (%)	EÜ (%)	Kümülatif Elek Altē		
					EA (%)	B ₂ O ₃ (%)	Dağ đēm (%)
+3,15	11,35	44,80	14,27	11,35	100,00	35,64	100,00
-3,15+2	6,63	44,34	8,25	17,98	88,65	34,47	85,73
-2+1,6	10,14	43,38	12,34	28,12	82,02	33,67	77,49
-1,6+1,12	10,89	41,13	12,57	39,01	71,88	32,30	65,14
-1,12+0,71	18,14	36,21	18,43	57,15	60,99	30,73	52,58
-0,71+0,50	18,52	32,59	16,93	75,68	42,85	28,40	34,15
-0,50+0,25	13,62	28,82	11,01	89,30	24,32	25,23	17,21
-0,25+0,125	7,55	24,12	5,11	96,85	10,70	20,65	6,20
-0,125+0,045	2,38	13,15	0,88	99,23	3,15	12,34	1,09
-0,045	0,77	9,85	0,21	100,00	0,77	9,85	0,21
TOPLAM	100	35,64	100				



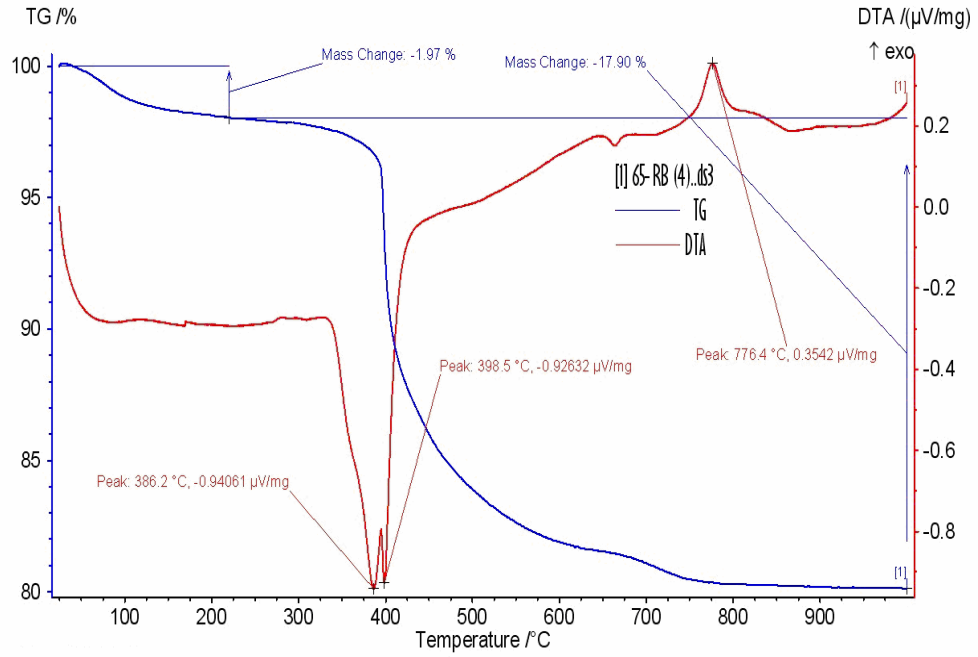
Şekil 4.3 Espey -3 mm numunesinin kümülatif EA ve EÜ grafiği



Şekil 4.4 Espey -3 mm numunesinin kümülatif EA ve tenör dağılımı



Şekil 4.5 Kristal kolemanite ait DTA ve TG analizi



Şekil 4.6 Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesine ait DTA ve TG analizi

Yapılan analizler sonucunda Espey -3 mm numunesinin elek, kimyasal, minerolojik ve eşe analizleri ayrı ayrı yapılmış ve değerlendirilmiştir. Çizelge 4.3'teki elek analizlerinden

görüldüğü üzere tane boyutu küçüldükçe tenörün düştüğü, bunun sonucu olarakta istenmeyen minerallerin arttığı görülmüştür. Minerolojik XRD analizinde ise numunenin bakta kolemanit olmak üzere, kuvars, kalsit ve kil minerallerini içerdiği görülmektedir.

Numunenin DTA ve TG analizleride yapılmıştır. Termo Gravimetrik Analiz (TG) cihazı artan ortam sıcaklığına bağlı olarak malzemenin kütle değişimini termobalans ile sürekli olarak ölçmektedir. Malzemedeki nem ve uçucu madde miktarı hakkındaki bilgiyi kütle kaybı değişimi olarak vermektedir. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) cihazı zamana bağlı olarak malzemelerin referans ve örnek arasındaki sıcaklık farkına artan sıcaklığı karşı ölçmektedir. İstikrarlı sıcaklık kontrollü bir ortamda değişimi, örnekte hangi sıcaklıkta ve ne kadar termal reaksiyona uğradığı ve bu reaksiyonların derecesi, ekzoterm ve endotermilerin, erime, kristallenme ve faz değişimleri hakkında bilgi vermektedir.

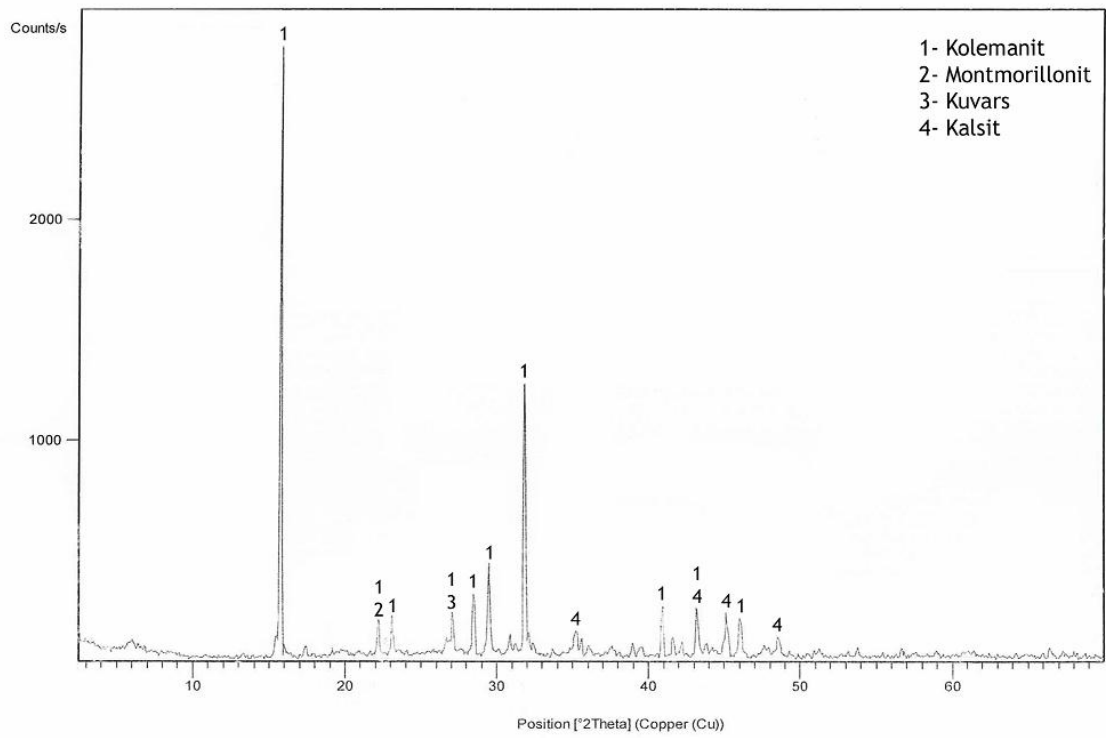
Yapılan analizler sonucunda Espey -3 mm numunesi bünyesinde bulunan suyu 100 °C'den itibaren kaybetmeye başlamakta olup, toplamda % 1,97'lik kütle kaybı gerçekleşmektedir. 386 °C'de ise kristal suyunu kaybetmeye başlayan numune 550 °C'ye kadar kristal suyunun büyük bir kısmını kaybetmektedir [70]. 776 °C'de ise ekzotermik reaksiyon sonucu kristallenmeye başlamıştır. Toplam kütle kaybı ise % 17,90 olarak gerçekleşmiştir. Kristal kolemanitte ise bünye suyu çok az miktarda olup, herhangi bir kütle kaybı değeri alınmamıştır. Kristal kolemanit kristal suyunu ise 412 °C'den sonra kaybetmeye başlamıştır. 784 °C'de ise ekzotermik reaksiyon sonucu kristallenmeler başlamıştır. Toplam kütle kaybı % 23,40 olarak gerçekleşmiştir. Espey -3 mm numunesi, içerisinde bulunan diğer empüritelere göre daha düşük sıcaklıklarda kristal suyunu kaybetmiştir. Kristal kolemanitte kütle kayıpları 625 °C'de sabit kalmak olup, Espey -3 mm'de ise 750 °C civarında ki sıcaklıkta kütle kayıpları sabitlenmiştir.

4.1.1.2 Espey düşük tenörlü -10 mm numunesine ait karakterizasyon çalışmaları

Espey düşük tenörlü -10 mm numunesi, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Espey Açık ocağında 15 yıl önce mobil konsantratör tesisi çalışmaları sırasında olukun 30.000 ton civarında miktara ve ortalama % 28,87 B₂O₃ tenörüne sahip değerlendirilemeyen bir stoktur. Söz konusu stok yıllardan beri hem stok alanlarına daraltmakta, hem de stok maliyetlerini artırmaktadır. Stoktan alınan yaklaşık 500 kg kadar numunenin elek, kimyasal, minerolojik ve diğer analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.4 Espey -10 mm numunesinin kimyasal bilekimi

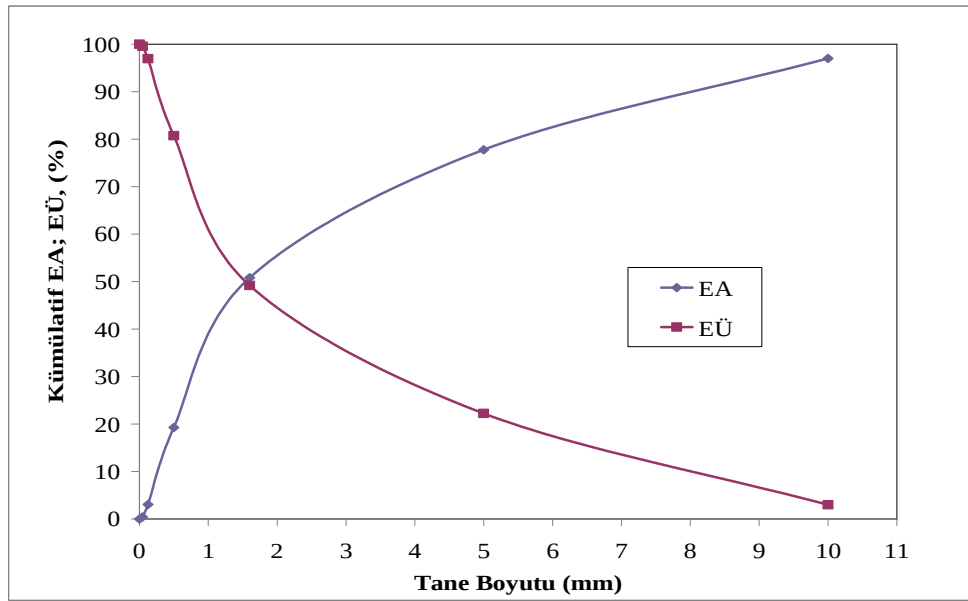
Bilekim	Miktar (%)
B_2O_3	28,87
As (ppm)	869
SiO_2	13,48
Al_2O_3	2,43
CaO	20,07
Fe_2O_3	0,88
MgO	9,12
SrO	3,15
SO_4	0,13
K����ma kayb��	12,45



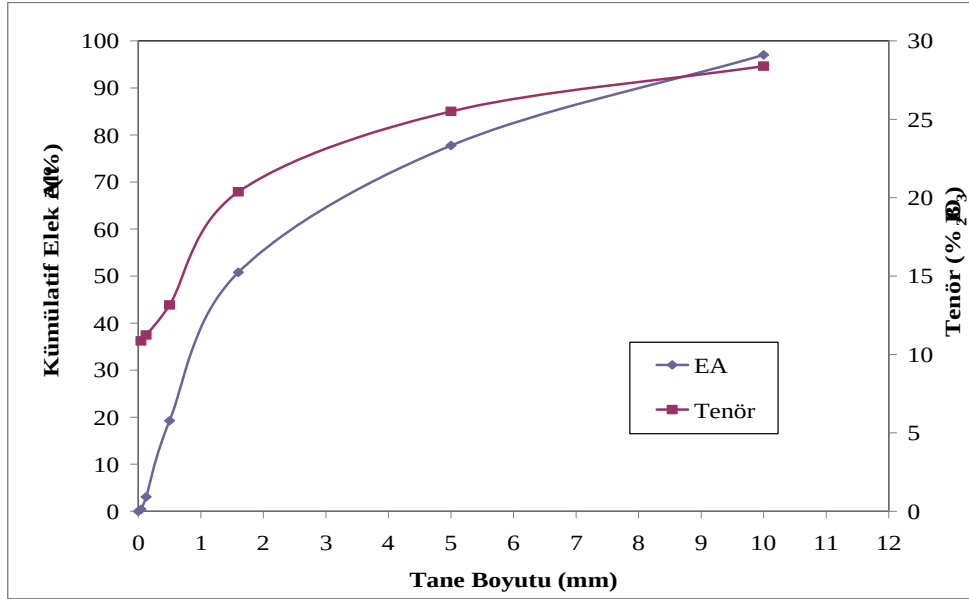
 ekil 4.7 Espey -10 mm numunesinin XRD sonu lar 

Çizelge 4.5 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun tane boyutuna göre tenör dağılımı

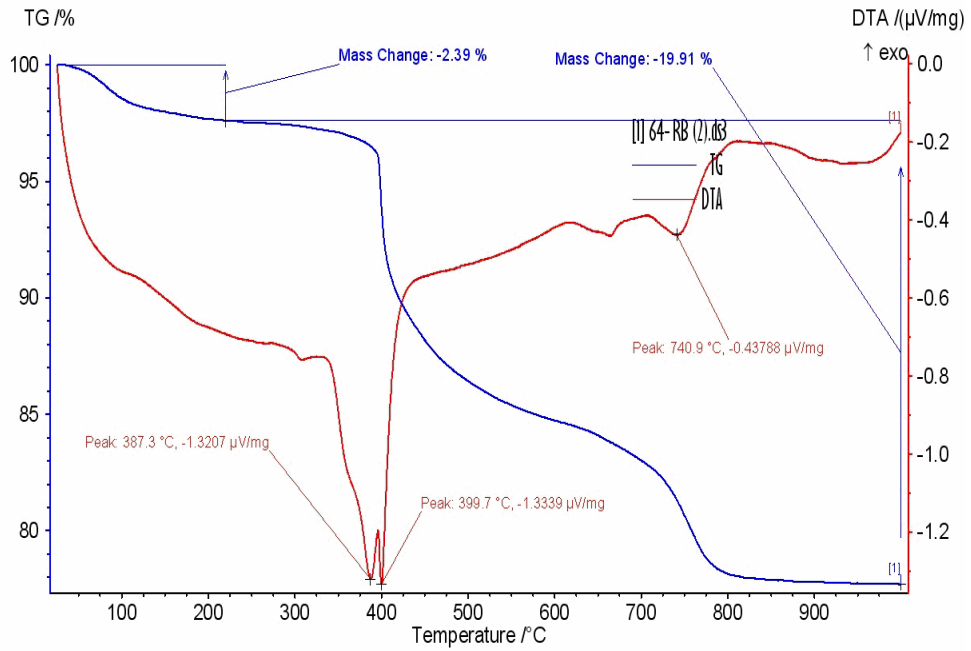
Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Dağılım (%)	EÜ (%)	Kümülatif Elekt Altı		
					EA (%)	B ₂ O ₃ (%)	Dağılım (%)
+10	2,99	44,54	4,61	2,99	100,00	28,87	100,00
-10+5	19,26	40,04	26,71	22,25	97,01	28,39	95,39
-5+1,6	26,94	35,19	32,83	49,19	77,75	25,50	68,68
-1,6+0,500	31,55	24,77	27,07	80,74	50,81	20,37	35,84
-0,500+0,125	16,2	13,52	7,59	96,94	19,26	13,16	8,78
-0,125+0,045	2,64	11,30	1,03	99,58	3,06	11,24	1,19
-0,045	0,42	10,86	0,16	100,00	0,42	10,86	0,16
TOPLAM	100	28,87	100,00				



Şekil 4.8 Espey -10 mm numunesinin kümülatif EA ve EÜ grafiği



Şekil 4.9 Espey -10 mm numunesinin kümülatif EA ve tenör dağılımı



Şekil 4.10 Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesine ait DTA ve TG analizi

Yapılan analizler sonucunda Espey -10 mm numunesinin elek, kimyasal, minerolojik ve ısı analizleri ayrı ayrı yapılmış ve değerlendirilmiştir. Çizelge 4.4'te elek analizlerinden

görüldüğü üzere tane boyutu küçüldükçe tenörün düktüğü, bunun sonucu olarak ta istenmeyen minerallerin arttığı görülmüştür. Minerolojik XRD analizinde ise numunenin bakta kolemanit olmak üzere, kuvars, kalsit ve kil minerallerini içerdiği görülmektedir.

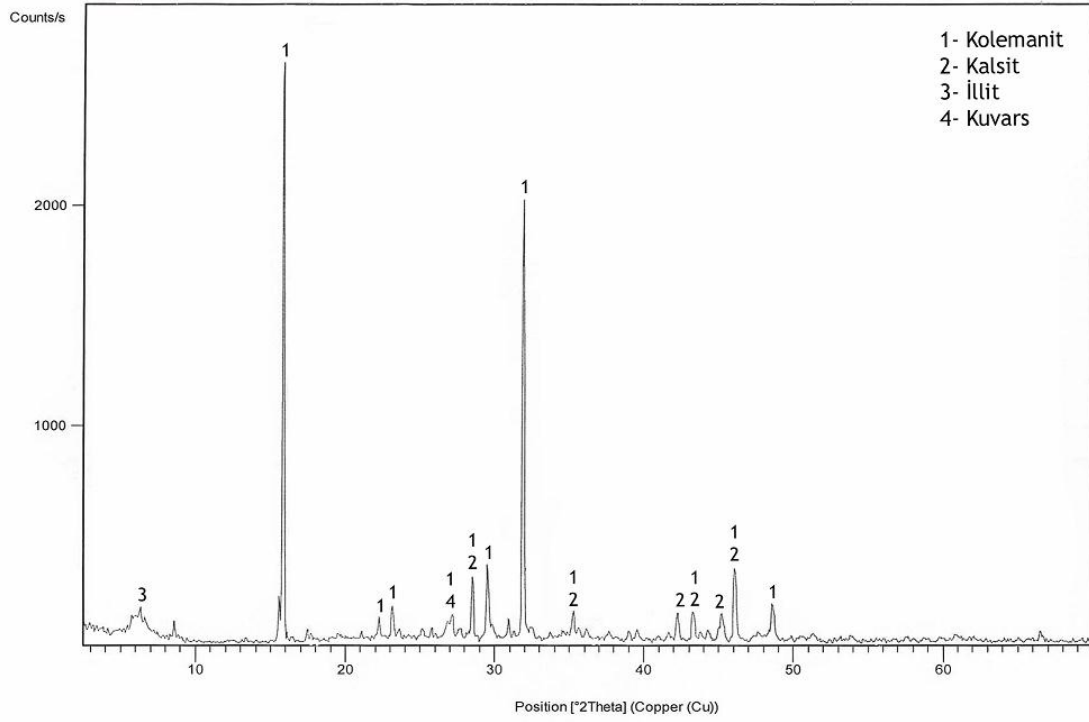
Yapılan DTA ve TG analizlerinde, Espey -10 mm numunesi bünyesinde bulunan suyu 100 °C'den itibaren kaybetmeye başlamış olup, toplamda % 2,39'duk kütle kaybı gerçekleşmiştir. 387 °C'de ise kristal suyunu kaybetmeye başlayan numune 550 °C'ye kadar kristal suyunun büyük bir kısmını kaybetmiştir. 740 °C'den sonra ise kristallenmeye başlamıştır. Toplam kütle kaybı ise % 19,91 olarak gerçekleşmiştir. Espey -10 mm numunesi, içerisinde bulunan diğer empüritelerden dolayı kristal kolemanite göre daha düşük sıcaklıklarda kristal suyunu kaybetmiştir. Kristal kolemanitte kekil 4.4'te görüldüğü üzere kütle kayıpları 625 °C'de sabit kalmış olup, Espey -10 mm'de ise 800 °C civarında ki sıcaklıkta kütle kayıpları sabitlenmiştir. Bu durum numunenin içeriğindeki empüritelerden kaynaklanmaktadır.

4.1.1.3 Hisarcık düşük tenörlü -25+3 mm numunesine ait karakterizasyon çalışmaları

Hisarcık düşük tenörlü -25+3 mm numunesi, Emet Bor İşletme Müdürlüğü hisarcık açık ocağında üretilen tüvenan cevherin Hisarcık konsantratör tesisinde kütüklü yıkayıcıdan çıkan ve eleme sonucunda devamlı olarak olunan, düşük tenörlü -25+3 mm boyutlu kışındır. Yaklaşık 100.000 ton civarında miktara ve ortalama % 29,57 B₂O₃ tenörüne sahip, değerlendirilemeyen bir stoktur. Söz konusu stok yıllardan beri hem stok alanlarını daraltmakta, hem de stok maliyetlerini artırmaktadır. Stoktan alınan yaklaşık 500 kg. kadar numunenin elek, kimyasal, minerolojik ve tē analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.6 Hisarcık -25+3 mm numunesinin kimyasal bilekimi

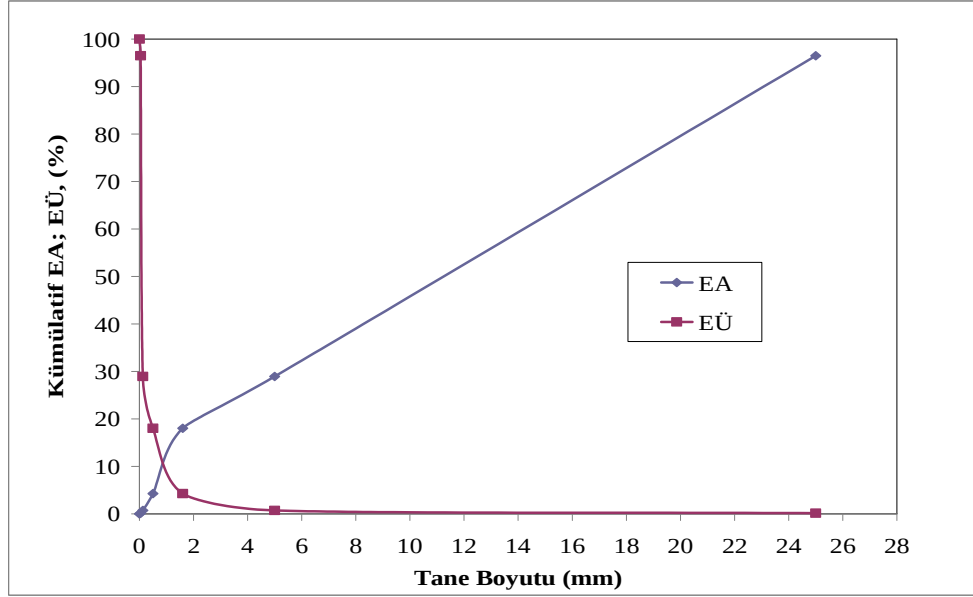
Bilekim	Miktar %
B ₂ O ₃	29,57
As (ppm)	1007
SiO ₂	13,033
Al ₂ O ₃	1,617
CaO	20,455
Fe ₂ O ₃	0,583
MgO	5,420
SrO	3,861
SO ₄	0,194
Kışdırma kaybı	12,73



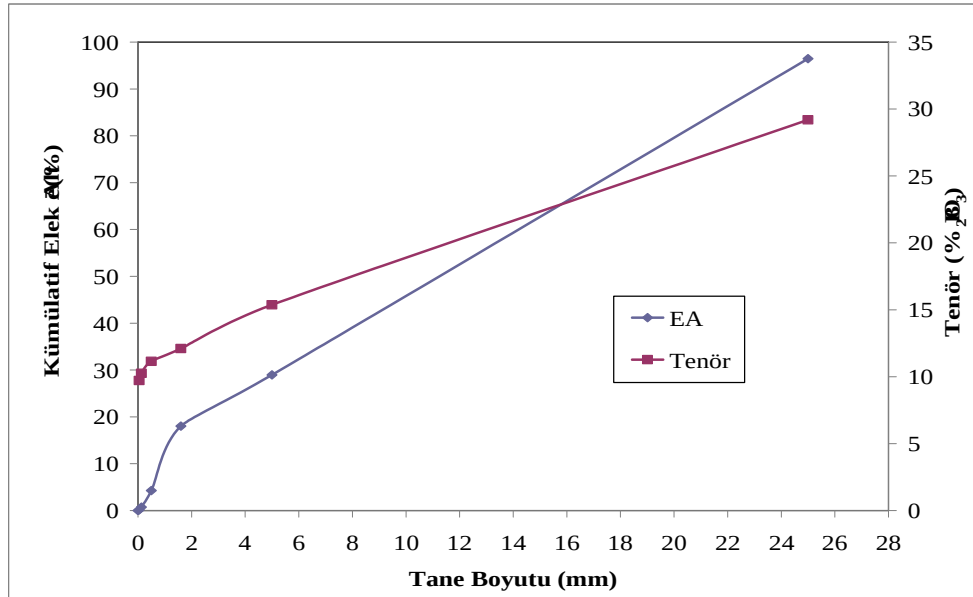
Şekil 4.11 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü numunenin XRD sonuçları

Çizelge 4.7 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kalkanit stoğunun tane boyutuna göre tenör dağılımı

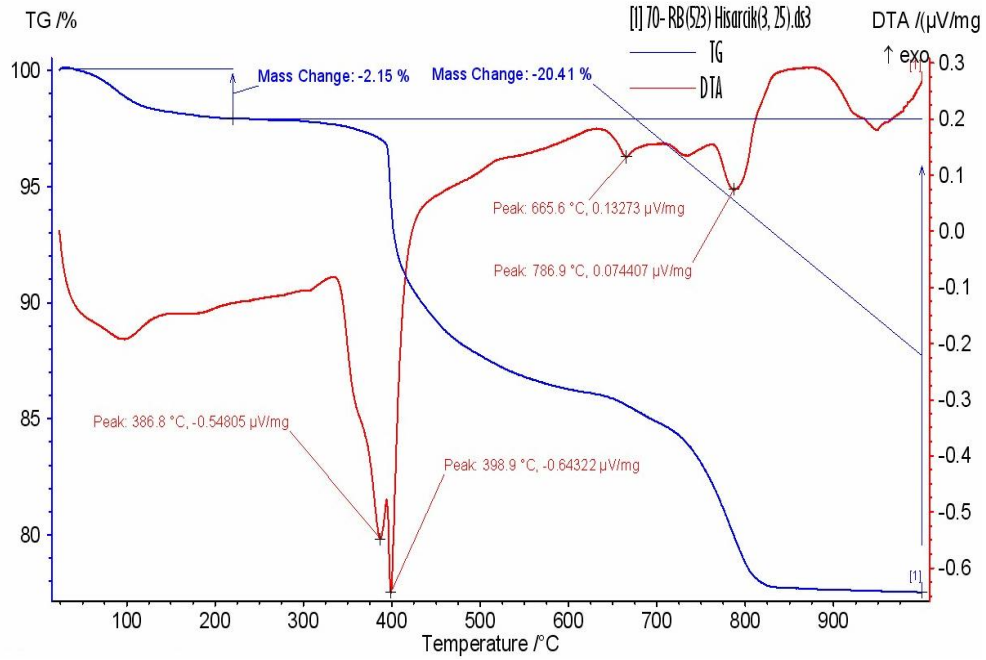
Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Dağılım (%)	EÜ (%)	Kümülatif Elek Altı		
					EA (%)	B ₂ O ₃ (%)	Dağılım (%)
+25	3,52	39,72	4,73	3,52	100,00	29,57	100,00
-25+5	67,53	35,13	80,23	71,05	96,48	29,20	95,27
-5+1,6	10,92	20,76	7,67	81,97	28,95	15,37	15,05
-1,6+0,5	13,75	12,40	5,77	95,72	18,03	12,10	7,38
-0,5+0,125	3,54	11,33	1,36	99,26	4,28	11,14	1,61
0,125+0,045	0,58	10,40	0,20	99,84	0,74	10,25	0,26
-0,045	0,16	9,72	0,05	100,00	0,16	9,72	0,05
TOPLAM	100	29,57	100,00				



Şekil 4.12 Hisarcık -25+3 mm numunesinin kümülatif EA ve EÜ grafiği



Şekil 4.13 Hisarcık -25+3 mm numunesinin kümülatif EA ve tenör dağılımı



Şekil 4.14 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stok numunesine ait DTA ve TG analizi

Yapılan analizler sonucunda Hisarcık -25+3 mm numunesinin elek, kimyasal, minerolojik ve ışıma analizleri ayrı ayrı yapılmış ve değerlendirilmiştir. Çizelge 4.7’de elek analizlerinden görüldüğü üzere tane boyutu küçüldükçe tenörün düştüğü, bunun sonucu olarak istenmeyen minerallerin arttığı görülmüştür. Minerolojik XRD analizinde ise numunenin baktakolemanit olmak üzere, kuvars, kalsit ve kil minerallerini içerdiği görülmektedir.

Yapılan DTA ve TG analizlerinde, Hisarcık -25+3 numunesi bünyesinde bulunan suyu 100 °C’den itibaren kaybetmeye başlamış olup, toplamda % 2,15’lik kütle kaybı gerçekleşmiştir. 387 °C’de ise kristal suyunu kaybetmeye başlayan numune 550 °C’ye kadar kristal suyunun büyük bir kısmını kaybetmiştir. 665 °C’den sonra ise kristallenmeye başlamıştır. Toplam kütle kaybı ise % 20,41 olarak gerçekleşmiştir. Hisarcık -25+3 numunesi, içerisinde bulunan diğer empüritelerden dolayı kristal kolemanite göre daha düşük sıcaklıklarda kristal suyunu kaybetmiştir. Kristal kolemanitte ortalama 4.4’e görüldüğü üzere kütle kayıpları 625 °C’de sabit kalmış olup, Hisarcık -25+3 mm’de ise 800 °C üzerindeki sıcaklıkta kütle kayıpları sabitlenmiştir. Bu durum numunenin içeriğindeki empüritelerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Hisarcık numunesinde Espey numunelerinden farklı olarak kütle kaybı daha yüksek sıcaklıkta sabitlenmiş olup, bunun nedeni ise tenörünün düşük olması ve empüritelerin Espey numunelerine göre farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

4.2.2 Yöntem

Yapılan çalışmalarda düşük tenörlü numunelerin öncelikle dekrepitasyon ve mikrodalga yöntemiyle zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla dekrepitasyon testleri Protherm PLF 110/6 laboratuvar tipte hassas sıcaklık ayar yapılabilen fırında gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga çalışmalarında ise Arçelik MD-554 marka mutfak tipi mikrodalga fırın kullanılmaktadır. Numune azaltma yöntemiyle yaklaşık 100'er gr. olarak hazırlanan ve torbalanan Espey -3, Espey -10 mm ve Hisarcık -25+3 mm numuneler öncelikle -0,50 mm boyutunun altı çizelge 4.8'de yapılan ön deney sonuçlarına göre atılmaktadır. Yapılan tüm numunelerde 0,50 mm'dik elekten elenen dekrepitasyon ve mikrodalga ürünleri bakanıyla zenginleştirilmiştir. Daha sonra ise elde edilen optimum zenginleştirme değerlerine göre tüm numunelerde -0,50 mm+ 0,125 mm tane aralığı tekrar dekrepitasyon ve mikrodalga işlemlerine tabi tutulmuştur. Böylece artık miktarının azaltılması düşünülmüştür.

Çizelge 4.8 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu ile yapılan 10'er dakikalık ön dekrepitasyon deney çalışmalarında elde edilen numunenin tenör dağılımı

Tane Boyutu (mm)	Beslenen Numune (% B ₂ O ₃)	350 °C (% B ₂ O ₃)	400 °C (% B ₂ O ₃)	450 °C (% B ₂ O ₃)	500 °C (% B ₂ O ₃)	550 °C (% B ₂ O ₃)	600 °C (% B ₂ O ₃)
+1,12	43,33	43,68	43,76	43,33	43,77	29,57	16,27
-1,12+0,5	34,38	33,94	34,77	34,49	35,76	32,60	18,90
-0,5+0,125	27,14	27,85	28,48	28,22	29,43	35,88	57,53
-0,125	12,34	11,93	13,96	13,47	14,95	45,67	53,25

+0,5 mm'nin üzerinde kalan kısımlarla ilgili olarak ise deneylerde kullanılan 100'er gram'dık numuneler kayıp miktarı % 10'u geçmeyecek şekilde merdaneli kâğıtlarda -3 mm'nin altına indirilmiştir.

4.2.2.1 Dekrepitasyon çalışmaları

Çalışmalar alüminyumlu kaplarda yapılmaktadır. Dekrepitasyon işlemi 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C ve 650 °C'de farklı sıcaklık ve 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakikalık sürelerde gerçekleştirilmiştir. Ancak, Tolun ve diğ. [70]'nin çalışmasında ve DTA-TG eğrilerinde de 700 °C'de sinterleşme meydana gelmiştir. 350 °C'de de dekrepitasyon gerçekleşmediğinden bu sıcaklıklar dikkate alınmamaktadır. Dekrepite olan numuneler fırından

çıkartıldıktan sonra soğumaya bırakılmak ve tartılmaktadır. Soğuyan numuneler ise 0,50 mm'dik elekten elenerek üst kısmı artık, alt kısmı konsantre olarak alınmaktadır.

4.2.2.2 Mikrodalga çalışmalar

Mikrodalga çalışmalarında fırın içerisinde çok yüksek sıcaklık süreçleri meydana geldiğinden kap ve fırın zarar görmesinden dolayı daha yüksek sıcaklıklara ulaşamadığı belirtilmiştir [86]. Bu kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda mikrodalga cihazında çalışmalara bakılmak ve yüksek sıcaklıklara dayanabilecek yöntem geliştirilmiştir. Mikrodalga deneyleri 600 watt, 900 watt ve 1200 watt değerlerinde 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70'er dakikalık sürelerde denenmiştir. 10 dakikalık sürelerde istenilen değerlere ulaşamamış olup, bu süre diğer çalışmalarda dikkate alınmamıştır. Çalışmalar sırasında mikrodalganın ve kullanılan kabın zarar görmemesi için aglomeraya benzeyen bir olukumun engellenmesi için belli sürelerden sonra mikrodalga da bulunan numuneler mikrodalgadan çıkarılıp elle karıştırılmaktadır.

4.2.2.3 Manyetik separatör çalışmaları

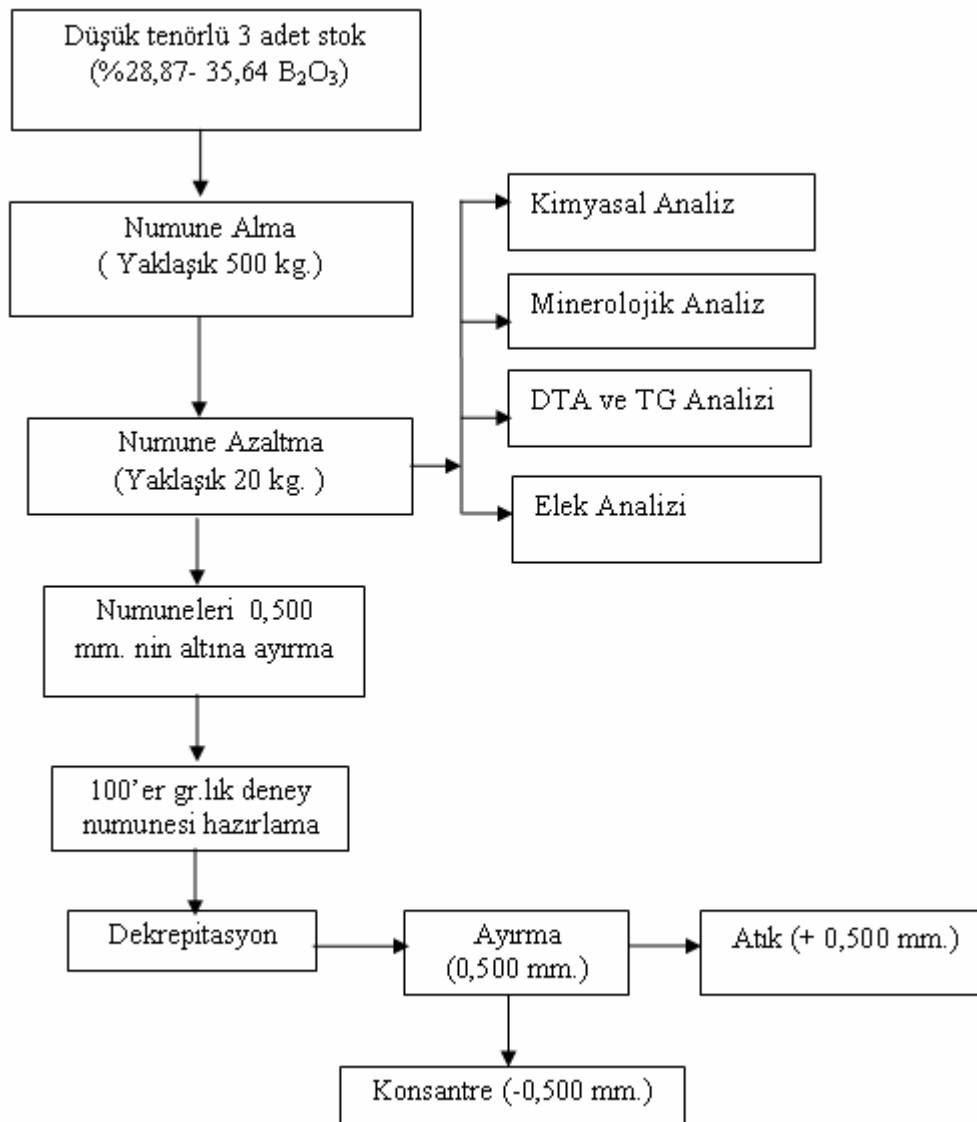
Espey -3 mm, Espey -10 mm ve Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü numunelerin mikrodalga ya da yüksek fırınlarda yapılacak tesislere daha temiz ve yüksek tenörlü ürün verebilme açısından Manyetik separatörün etkisini ortaya koyabilmek için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama laboratuvarında bulunan, PERMROLL marka tabii müknaşl yüksek alan kiddetli kuru manyetik separatör kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda;

Manyetik separatörün dönük hızı 42 dev/dk., numune besleme miktarı ise 7 gr/dk. olarak alınmıştır. Numuneler 20'er kez separatörden geçirilmiştir. Çok az miktarda da olsa Espey cevherlerinde zenginleştirme olabileceği ancak Hisarcık cevherinin manyetiklik açısından verimli olmayacağı tespit edilmiştir [57].

Yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde 5. bölümde verilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Espey ve Hisarcık numuneleri için yapılan çalışmalar sonucunda numunelerin 0,500 mm altı yapılan ön çalışma kapsamında artık olarak atılmaktadır. Ancak, elde edilen optimum sonuçlara göre söz konusu -0,50 mm miktarlarının yeniden değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan mikrodalga ve dekrepitasyon çalışmalarında sıcaklık, güç ve süreler tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda takip edilen yol şekil 5.1'de gösterilmektedir.



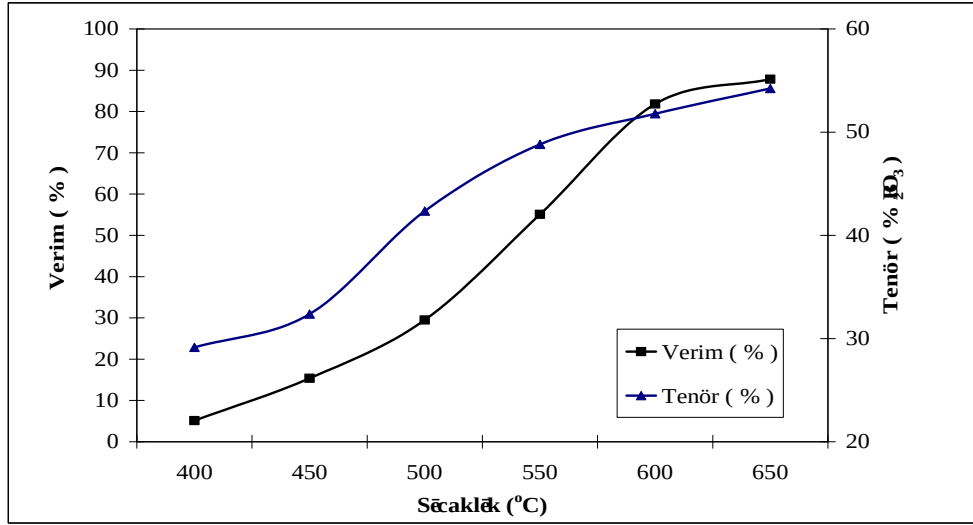
Şekil 5.1 Deneysel çalışmalarda uygulanan akış keması

5.1 Dekrepitasyon Deneyleri

Dekrepitasyon deneylerinde belirlenen parametrelere bağılı olarak her numune için ayrı ayrı sıcaklık ve sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık olarak 400-450-500-550-600-650 °C ve sürelerde ise 10-20-30-40-50-60 dakikalık zaman aralıkları kullanılmıştır. Dekrepitasyon esnasında fırına konulan malzeme kabının üzeri kapatılmıştır. Dekrepitasyon 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 patladığı ve bu ile agrega olan killerin ise altta biriktiğini ve bu yolla tane sınıflamasının olduğunu göstermektedir. Ayrıca, dekrepite ürün içerisinde kolemanit tanelerinin beyaz renkte, killerin ise griden kahverengiye kadar değiştiği görülmektedir [3]. Eğer bu boyutta renk farklılığına göre bir ayırım mümkün olsaydı beyaz renkte dekrepite kolemanit ve gri renkte agrega kil tanelerinin birbirinden ayrılması çok kolay gerçekleştirilirdi [3].

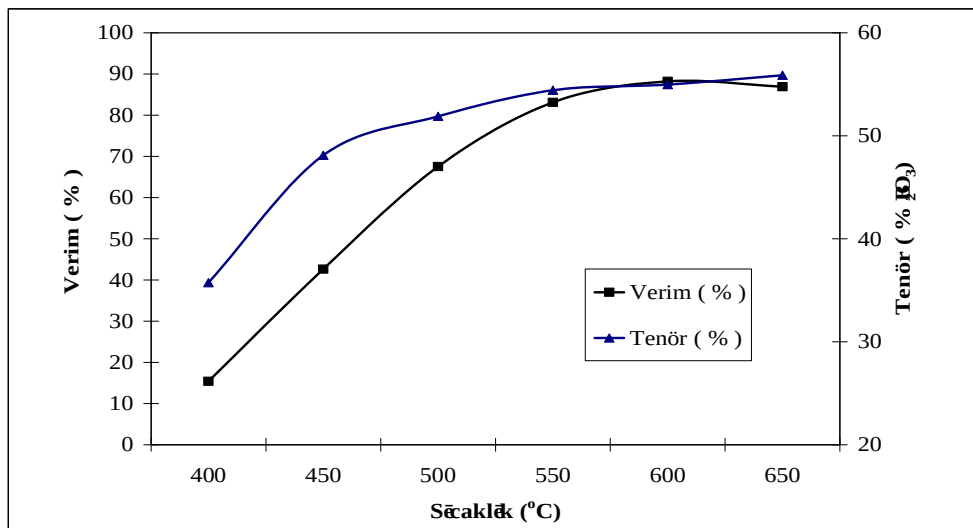
5.1.1 Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri

Espey -3 mm numunesinin 0,500 mm'in altı atmak ve deneylerde kullanılan numunenin % B₂O₃ miktarı % 38,99 olarak hesap edilmiştir. Yaklaşık 100 gr. olarak fırına beslenen numunelerden elde edilen sonuçlar çizelge 5.1'de verilmiştir.



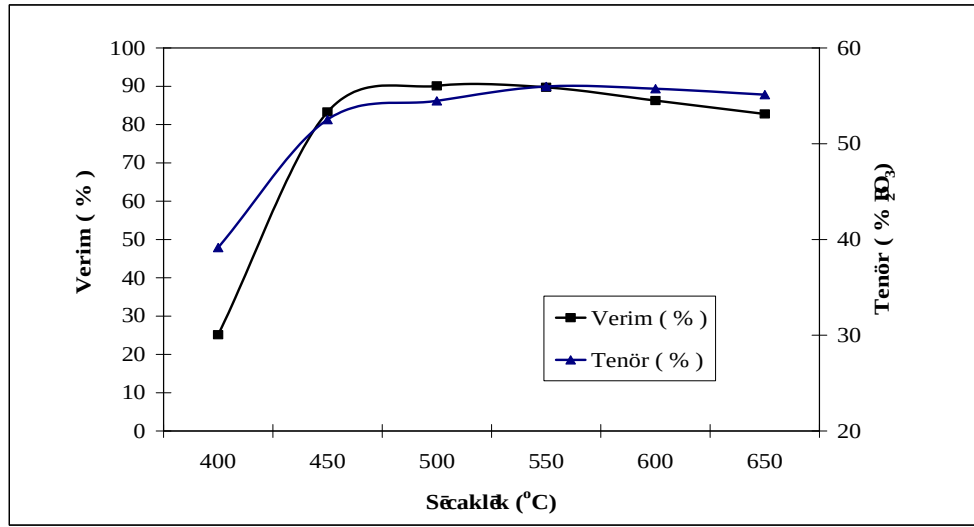
Şekil 5.2 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu unun çeşitli sıcaklıklarda 10 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.2’de 10 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C’de % 29,15 B₂O₃ % 5,14 verim ile, 450 °C sonunda % 32,37 B₂O₃ % 15,37 verimle, 500 °C sonunda % 42,35 B₂O₃ % 29,50 verimle, 550 °C sonunda % 48,82 B₂O₃ % 55,09 verimle, 600 °C sonunda % 51,78 B₂O₃ % 81,83 verimle, 650 °C sonunda % 54,23 B₂O₃ % 87,84 verim ile kazanılmıştır. 10 dakikalık süre sonunda en uygun 650 °C’de % 87,84 verimle % 54,23 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



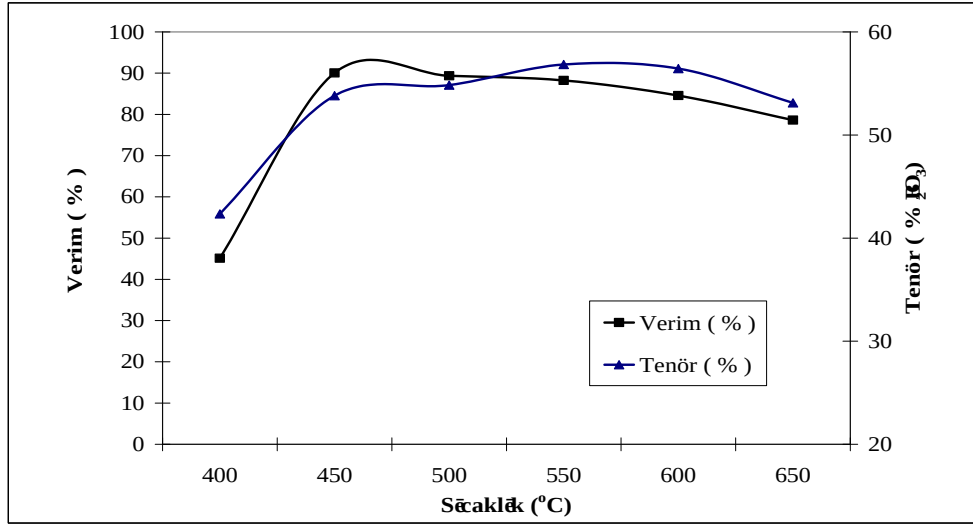
Şekil 5.3 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu unun çeşitli sıcaklıklarda 20 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.36 de 20 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 35,74 B₂O₃ % 15,44 verim ile, 450 °C sonunda % 48,11 B₂O₃ % 42,62 verimle, 500 °C sonunda % 51,89 B₂O₃ % 67,55 verimle, 550 °C sonunda % 54,43 B₂O₃ % 83,12 verimle, 600 °C sonunda % 54,97 B₂O₃ % 88,22 verimle, 650 °C sonunda % 55,87 B₂O₃ % 86,91 verim ile kazanılmaktadır. 20 dakikalık süre sonunda en uygun 600 °C'de % 88,22 verimle % 54,97 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



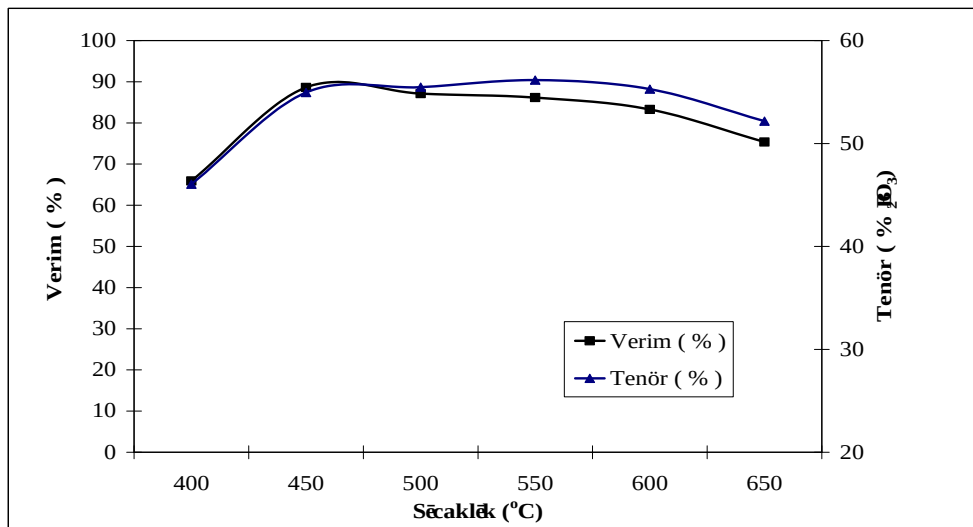
Şekil 5.4 Espey -3 mm düşük tenörlü kölemanit stoğuunun çekitli sıcaklıklarda 30 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.4'de 30 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 39,15 B₂O₃ % 25,13 verim ile, 450 °C sonunda % 52,51 B₂O₃ % 83,27 verimle, 500 °C sonunda % 54,48 B₂O₃ % 90,09 verimle, 550 °C sonunda % 55,98 B₂O₃ % 89,72 verimle, 600 °C sonunda % 55,74 B₂O₃ % 86,27 verimle, 650 °C sonunda % 55,13 B₂O₃ % 82,76 verim ile kazanılmaktadır. 30 dakikalık süre sonunda en uygun 500 °C'de % 90,09 verimle % 54,48 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



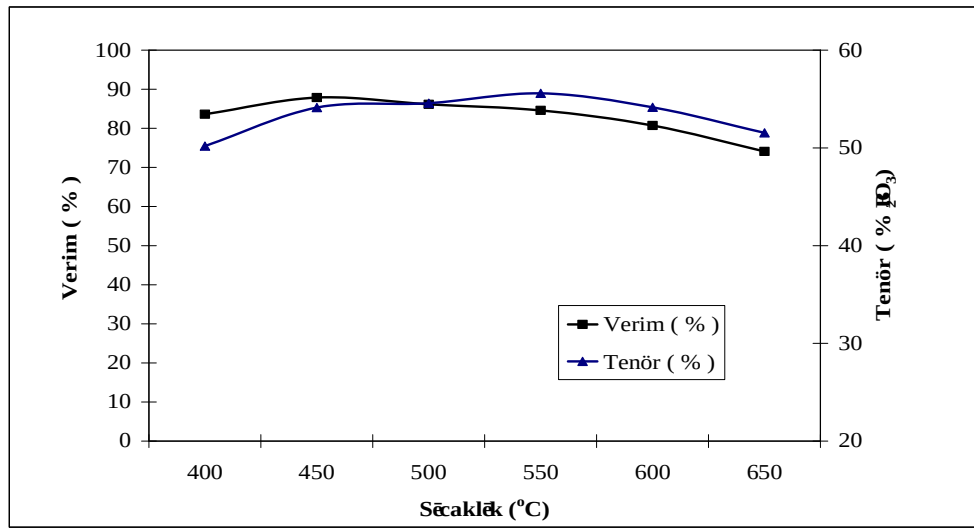
Şekil 5.5 Espey -3 mm düşük tenörlü kölemanın farklı sıcaklıklarda 40 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.5’de 40 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrpitasyon çalışması sonucunda 400 °C’de % 42,35 B₂O₃ % 45,12 verim ile, 450 °C sonunda % 53,82 B₂O₃ % 90,05 verimle, 500 °C sonunda % 54,84 B₂O₃ % 89,36 verimle, 550 °C sonunda % 56,84 B₂O₃ % 88,24 verimle, 600 °C sonunda % 56,44 B₂O₃ % 84,57 verimle, 650 °C sonunda % 53,12 B₂O₃ % 78,62 verim ile kazanılmaktadır. 40 dakikalık süre sonunda en uygun 450 °C’de % 90,05 verimle % 53,82 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



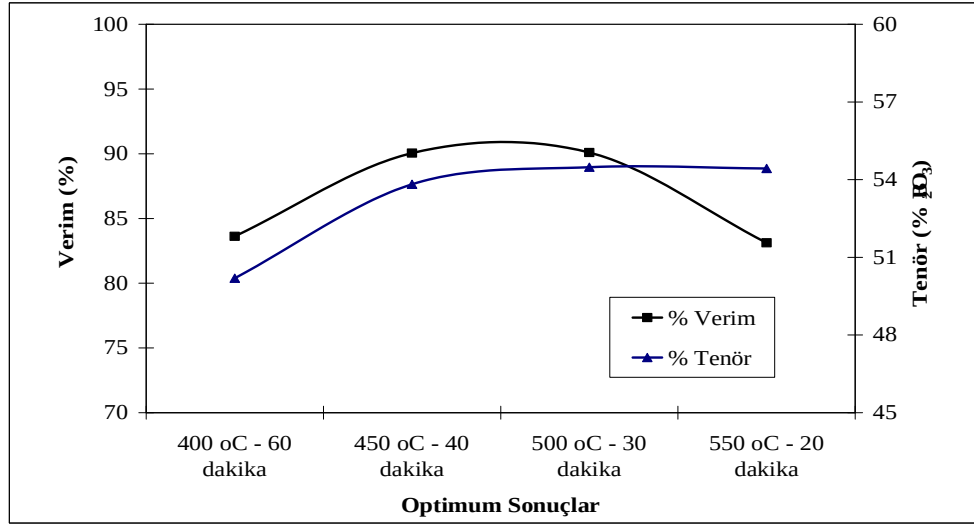
Şekil 5.6 Espey -3 mm düşük tenörlü kölemanın farklı sıcaklıklarda 50 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.6'da 50 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 46,04 B₂O₃ % 65,90 verim ile, 450 °C sonunda % 54,96 B₂O₃ % 88,61 verimle, 500 °C sonunda % 55,48 B₂O₃ % 87,11 verimle, 550 °C sonunda % 56,16 B₂O₃ % 86,16 verimle, 600 °C sonunda % 55,29 B₂O₃ % 83,29 verimle, 650 °C sonunda % 52,17 B₂O₃ % 75,37 verim ile kazanılmaktadır. 50 dakikalık süre sonunda en uygun 450 °C'de % 88,61 verimle % 54,96 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



Şekil 5.7 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çeşitli sıcaklıklarda 60 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.7'de 60 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 50,19 B₂O₃ % 83,62 verim ile, 450 °C sonunda % 54,12 B₂O₃ % 87,86 verimle, 500 °C sonunda % 54,57 B₂O₃ % 86,14 verimle, 550 °C sonunda % 55,59 B₂O₃ % 84,59 verimle, 600 °C sonunda % 54,16 B₂O₃ % 80,73 verimle, 650 °C sonunda % 51,54 B₂O₃ % 74,10 verim ile kazanılmaktadır. 60 dakikalık süre sonunda en uygun 450 °C'de % 87,86 verimle % 54,12 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



Şekil 5.8 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik sıcaklık ve sürelerde yapılan dekrepitasyon çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Yapılan dekrepitasyon çalışmalarında sonucunda, 650 °C sıcaklıkta kısmi bir sinterleşme bakılmak verim ve tenör değerleri azalmaktadır. Şekil 4.6'daki DTA ve TG eğrileri de bu durumu desteklemektedir. 700 °C'de numunelerin sinterleşmeye başladığı görülmüş ve daha yüksek sıcaklıklarda deneme yapılmamıştır [70]. Yapılan çalışmalar neticesinde düşük sıcaklıklarda ileri sürelerde dekrepitasyonun uygulanabileceği ya da yüksek sıcaklıklarda kısa süreli çalışmalar sonucunda optimum değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Grafik ve tablolardan görüleceği üzere 500 °C'den sonra yapılan dekrepitasyonlarda verim ve tenör açısından çok büyük değişiklik gözükmemektedir. Burada en iyi sonuç olarak 450 °C de yaklaşık 40 dakikalık sürede % 53,82 B₂O₃ tenör ve % 90,05 verimle konsantre üretilmiştir. Optimum sonuca göre yapılan komple analiz değerleri çizelge 5.2'de verilmiştir. Söz konusu sıcaklık ve sürelerin daha önce yapılan çalışmalarla ve DTA-TG eğrileriyle desteklendiği görülmektedir [70, 80, 81].

İstenilen tenör ve verim miktarına göre sıcaklık aralıkları ve sürelerde değişiklikler yapılmaması mümkündür.

Çizelge 5.2 Espey -3 mm düşük tenörlü numunenin optimum sonucunda yapılan komple analiz değerleri

Bileşim (%)	Espey - 3 mm Deney Numunesi (%)	450 °C - 40 dakika dekrepatasyon değerleri	
		Konsantre (%)	Artık (%)
B ₂ O ₃	38,99	53,82	16,23
SiO ₂	10,56	3,21	22,70
Al ₂ O ₃	2,84	1,13	7,01
CaO	20,28	33,70	23,03
Fe ₂ O ₃	0,81	0,57	4,52
MgO	2,67	0,74	4,28
K ₂ O	0,75	0,29	2,49
Na ₂ O	0,06	0,03	0,13
SrO	2,98	3,57	0,89
SO ₄	0,11	0,03	0,13
As (ppm)	1.010,00	280,00	1.165,00
TiO ₂	0,63	0,09	0,61

Çizelge 5.2’den görüleceği üzere; Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesi ile yapılan optimum deney sonucunda besleme malı tenörü % 38,99 B₂O₃ iken 450 °C’de 40 dakikalık süre sonucunda % 53,82 B₂O₃ tenörlü konsantre % 90,05 verimle üretilmiştir. Artık taki B₂O₃ tenörü ise % 16,23’e düşürülmüştür. Aynı konsantre Fe tenörü yönünden değerlendirildiğinde beslemedeki % 0,81 Fe₂O₃ değeri konsantrede % 0,57 Fe₂O₃’ye düşürülmüştür. Bunun nedeni; Fe₂O₃’ün kil mineralleri içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır [57]. Konsantre arsenik açısından değerlendirilecek olursa beslemede 1.010,00 ppm olan arsenik, konsantrede 280 ppm’e kadar düşürülerek satılabilir ürün elde edilmeye çalışılmaktadır. Tesiste üretilen konsantrenin minimum bor tenörü % 42 B₂O₃, arsenik maksimum 500 ppm ve Fe₂O₃ ise maksimum % 0,90 olup, elde edilen konsantre bu özellikleri de sağlayacak niteliktedir.

Bu çalışmalara göre;

5.1.1.1 Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar

Burada elde edilen optimum sıcaklık ve süre değ erlerinden yola çıkılarak numunenin belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalarında elde edilen sonuçlar çizelge 5.3'de verilmektedir.

Çizelge 5.3 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan dekrepitasyon çalışma sonucu elde edilen değ erler

Tane Boyutu (mm)	Elde edilen ürünler	450 °C - 40 dk. dekrepitasyon değ erleri		
		Aj ırık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+3,15	Konsantre	76,46	54,51	89,11
	Artık	23,54	21,63	10,89
	Besleme malē	100,00	44,80	100,00
-3,15+1,12	Konsantre	72,79	53,64	88,62
	Artık	27,21	18,43	11,38
	Besleme malē	100,00	42,72	100,00
-1,12 +0,50	Konsantre	60,26	51,24	84,64
	Artık	39,74	14,10	15,36
	Besleme malē	100,00	34,38	100,00

Çizelge 5.3'den görüleceğ i üzere; belirli tenör ve tane boyutu aralıklarında optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalıřmalarē sonucunda; +3,15 mm numunesinde besleme malē tenörü % 44,80 B₂O₃ iken, % 54,51 B₂O₃ tenörlü konsantre % 89,11 verimle üretilmiştir. Artıkta bor tenörü ise % 21,63'e düşürülmüştür. -3,15+1,12 mm'de ise besleme malē tenörü % 42,72 B₂O₃ iken, % 53,64 B₂O₃ tenörlü konsantre % 88,62 verimle üretilmiştir. Artıkta bor tenörü ise % 18,43'e düşürülmüştür. -1,12+0,50 mm'de ise besleme malē tenörü % 34,38 B₂O₃ iken, % 51,24 B₂O₃ tenörlü konsantre % 84,64 verimle üretilmiştir. Artıkta bor tenörü ise % 14,10'a düşürülmüştür. Tane boyut aralğı ē küçüldükçe tenör ve verimlerde düşüklük meydana gelmektedir. Bunun nedeni ince tanelerde safsızlıkların giderek artmasındandır.

5.1.1.2 Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar

Çalışmalar sırasında 0,50 mm'lik eleğin kullanılmasıyla dolaylı olarak ve dekrepitasyon yapılmayan kışın optimum sonuçlara göre 0,125 mm'lik elekten elenerek atılan giden numunenin bir kısmının kurtarılması çalışılmaktadır. Ancak, çizelgede görüleceği üzere istenilen verimde zenginleşme sağlanamamıştır.

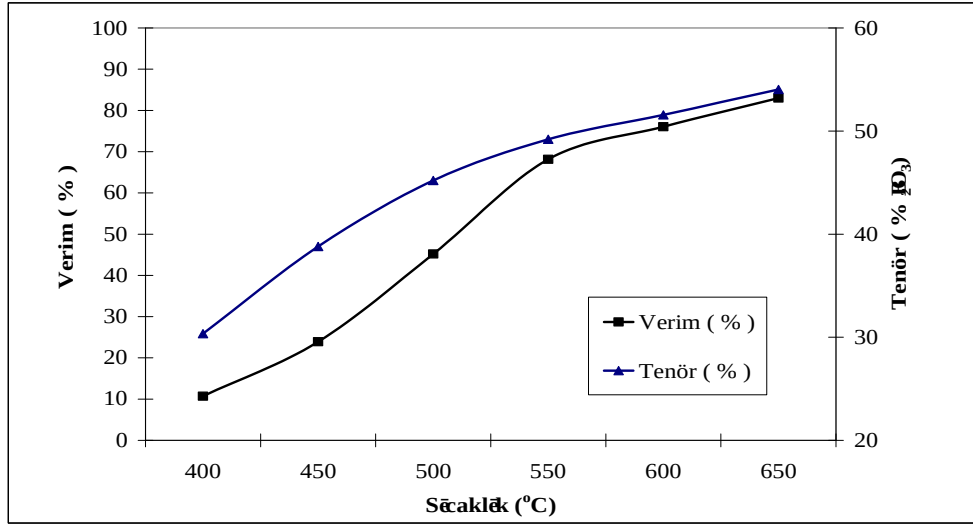
Çizelge 5.4 Espey -3 mm numunesi 0,50 mm'lik kışında optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalışması

Espey -3 mm -0,50 mm numunesi	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Elde edilen konsantre	26,89	46,57	40,93
Artık	73,11	24,72	59,07
Besleme malı	100,00	27,14	100,00

Espey -3 mm -0,50 mm artık numunesini geri kazanmak amacıyla yapılan çalışma sonucunda; besleme malı tenörü % 27,14 B₂O₃ iken, % 46,57 B₂O₃ tenörlü konsantre % 40,91 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 24,72'de düşürülmüştür. Bu sonuçlarla birlikte elde edilen ürün borik asit tesisine besleme yapmak için kullanılabilir.

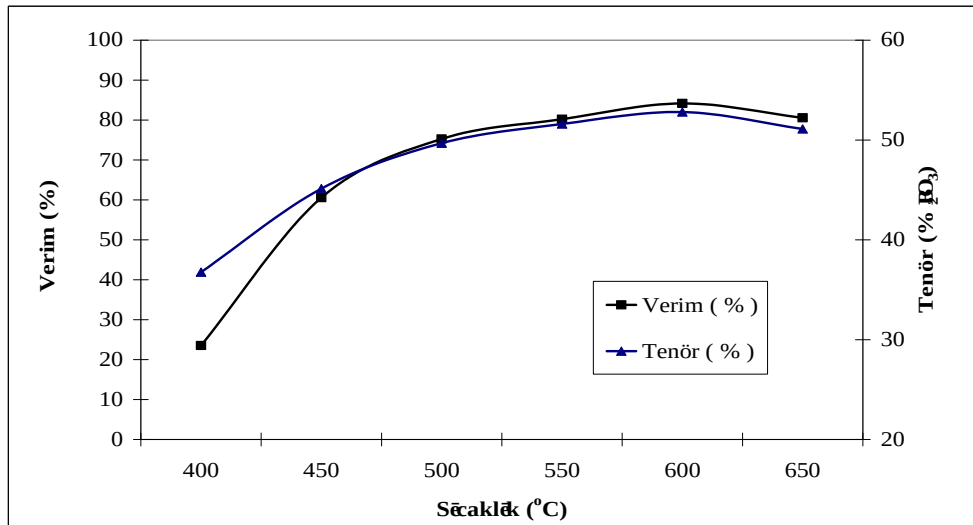
5.1.2 Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesi ile yapılan dekrepitasyon deneyleri

Espey -10 mm numunesinde de 0,50 mm'lik altı atılmak ve elde edilen numunenin % B₂O₃ miktarı % 32,62 olarak hesap edilmiştir. Yaklaşık 100 gr. olarak fışına beslenen numunelerden elde edilen sonuçlar çizelge 5.5'de verilmiştir.



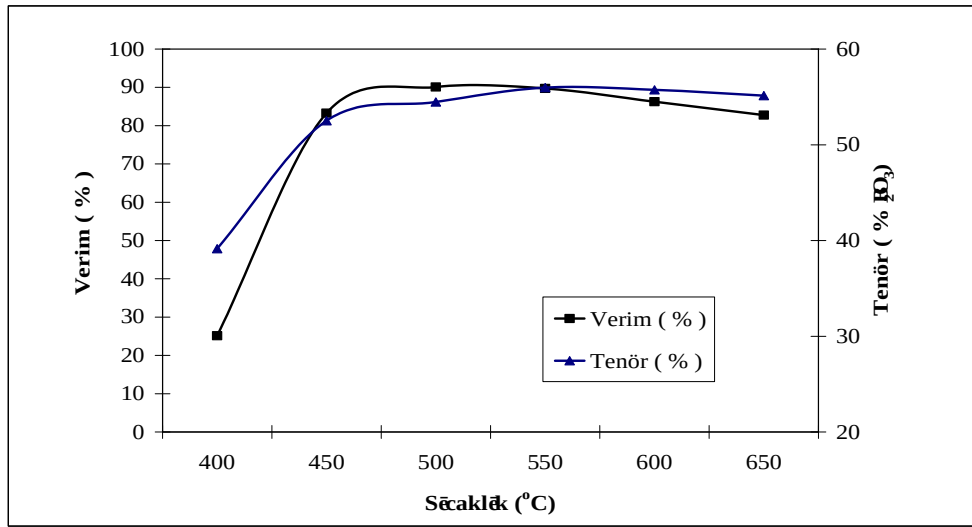
Şekil 5.9 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çeşitli sıcaklıklarda 10 dakikalık sürede elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Şekil 5.9'da 10 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 30,35 B₂O₃ % 10,70 verim ile, 450 °C sonunda % 38,80 B₂O₃ % 23,92 verimle, 500 °C sonunda % 45,21 B₂O₃ % 45,20 verimle, 550 °C sonunda % 49,20 B₂O₃ % 68,16 verimle, 600 °C sonunda % 51,57 B₂O₃ % 76,06 verimle, 650 °C sonunda % 54,03 B₂O₃ % 82,98 verim ile kazanılmıştır. 10 dakikalık süre sonunda en uygun 650 °C'de % 82,98 verimle % 54,03 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



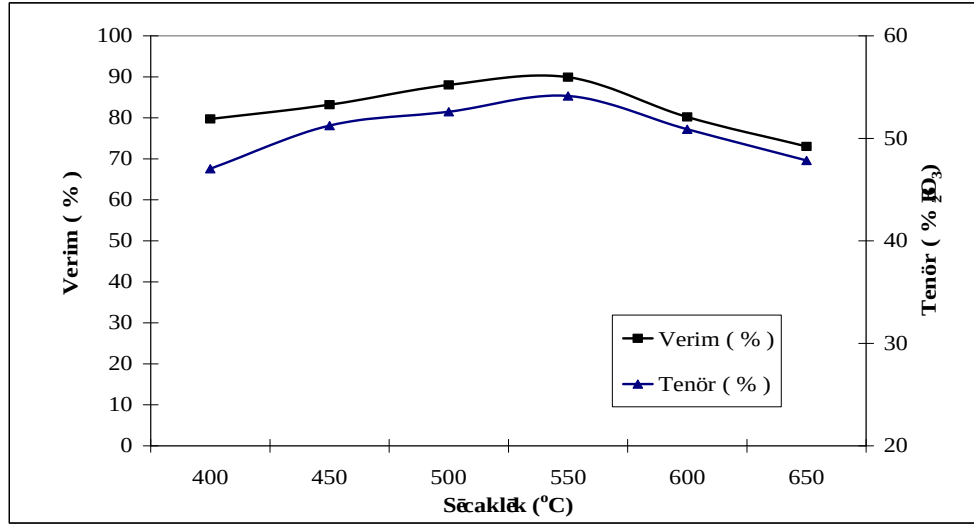
Şekil 5.10 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çeşitli sıcaklıklarda 20 dakikalık sürede elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Şekil 5.10'da 20 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 36,76 B₂O₃ % 23,52 verim ile, 450 °C sonunda % 45,13 B₂O₃ % 60,58 verimle, 500 °C sonunda % 49,68 B₂O₃ % 75,26 verimle, 550 °C sonunda % 51,60 B₂O₃ % 80,21 verimle, 600 °C sonunda % 52,81 B₂O₃ % 84,16 verimle, 650 °C sonunda % 51,11 B₂O₃ % 80,56 verim ile kazanılmaktadır. 20 dakikalık süre sonunda en uygun 600 °C'de % 84,16 verimle % 52,81 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



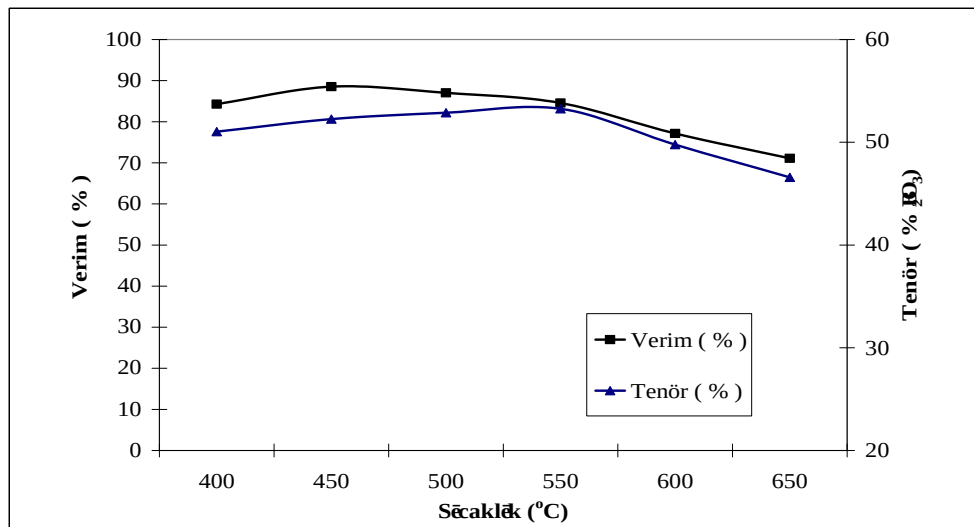
Şekil 5.11 Espey -10 mm düşük tenörlü kölemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 30 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.11'de 30 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 42,54 B₂O₃ % 65,02 verim ile, 450 °C sonunda % 48,45 B₂O₃ % 77,95 verimle, 500 °C sonunda % 51,38 B₂O₃ % 82,28 verimle, 550 °C sonunda % 52,56 B₂O₃ % 84,79 verimle, 600 °C sonunda % 51,20 B₂O₃ % 82,11 verimle, 650 °C sonunda % 48,27 B₂O₃ % 75,17 verim ile kazanılmaktadır. 30 dakikalık süre sonunda en uygun 550 °C'de % 84,79 verimle % 52,56 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



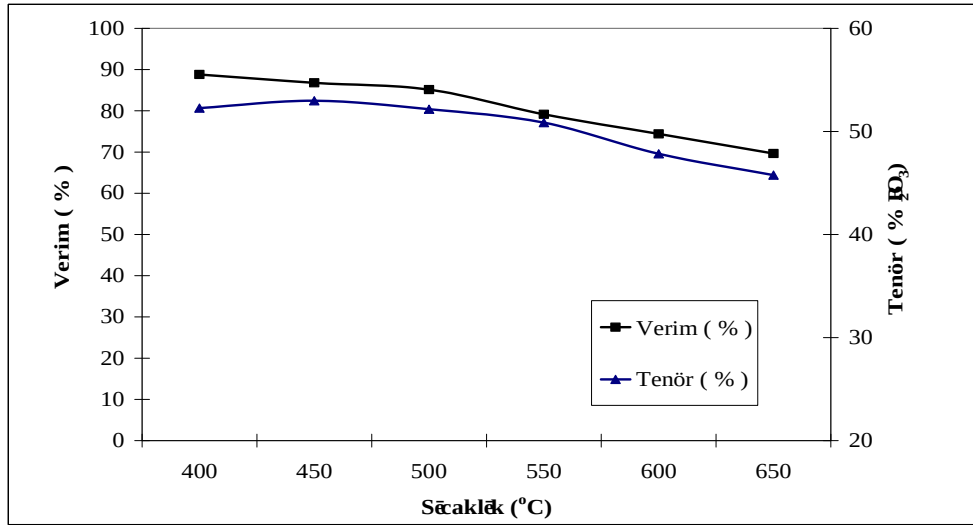
Şekil 5.12 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu unun çeşitli sıcaklıklarda 40 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.12’de 40 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrpitasyon çalışması sonucunda 400 °C’de % 47,04 B₂O₃ % 79,72 verim ile, 450 °C sonunda % 51,24 B₂O₃ % 83,21 verimle, 500 °C sonunda % 52,60 B₂O₃ % 88,01 verimle, 550 °C sonunda % 54,13 B₂O₃ % 89,91 verimle, 600 °C sonunda % 50,89 B₂O₃ % 80,23 verimle, 650 °C sonunda % 47,85 B₂O₃ % 73,03 verim ile kazanılmıştır. 40 dakikalık süre sonunda en uygun 550 °C’de % 89,91 verimle % 54,13 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



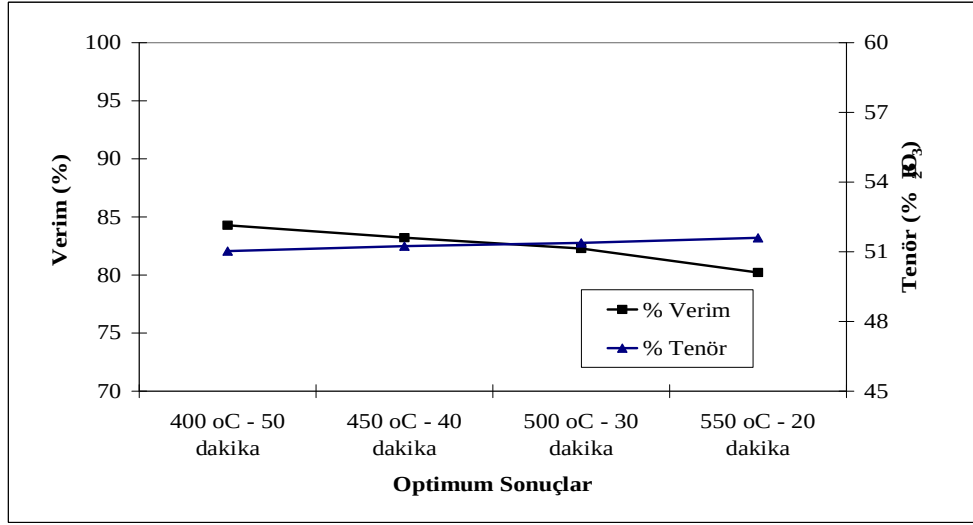
Şekil 5.13 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu unun çeşitli sıcaklıklarda 50 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.13'de 50 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrupitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 51,03 B₂O₃ % 84,28 verim ile, 450 °C sonunda % 52,25 B₂O₃ % 88,54 verimle, 500 °C sonunda % 52,87 B₂O₃ % 87,01 verimle, 550 °C sonunda % 53,26 B₂O₃ % 84,56 verimle, 600 °C sonunda % 49,77 B₂O₃ % 77,13 verimle, 650 °C sonunda % 46,58 B₂O₃ % 71,10 verim ile kazanılmıştır. 50 dakikalık süre sonunda en uygun 450 °C'de % 85,78 verimle % 52,87 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



Şekil 5.14 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çeşitli sıcaklıklarda 60 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiğini

Şekil 5.14'de 60 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrupitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 52,26 B₂O₃ % 88,80 verim ile, 450 °C sonunda % 52,98 B₂O₃ % 86,78 verimle, 500 °C sonunda % 52,15 B₂O₃ % 85,14 verimle, 550 °C sonunda % 50,86 B₂O₃ % 79,15 verimle, 600 °C sonunda % 47,83 B₂O₃ % 74,40 verimle, 650 °C sonunda % 45,76 B₂O₃ % 69,66 verim ile kazanılmıştır. 60 dakikalık süre sonunda en uygun 400 °C'de % 88,80 verimle % 52,26 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



Şekil 5.15 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik sıcaklık ve sürelerde yapılan dekrepitasyon çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Dekrepitasyon çalışmalarında, 650 °C sıcaklıkta kısmi bir sinterleşme baklamak verim ve tenör değerleri azalmaktadır. Şekil 4.9'daki DTA ve TG eğrileri de bu durumu desteklemektedir. 700 °C'de numunelerin sinterleşmeye başladığı görülmüş ve daha yüksek sıcaklıklarda deneme yapılmamıştır [70]. Yapılan çalışmalar neticesinde düşük sıcaklıklarda ileri sürelerde dekrepitasyonun uygulanabileceği ya da yüksek sıcaklıklarda kısa süreli çalışmalar sonucunda optimum değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Grafik ve tablolardan görüleceği üzere 500 °C'den sonra yapılan dekrepitasyonlarda verim ve tenör açısından çok büyük değişiklik gözükmemektedir. Burada en iyi sonuç olarak 450 °C'de yaklaşık 40 dakikalık sürede % 51,24 B₂O₃ tenör ve % 83,21 verimle konsantrite üretilmiştir. Optimum sonuca göre yapılan komple analiz değerleri çizelge 5.6'da verilmiştir. Söz konusu sıcaklık ve sürelerin daha önce yapılan çalışmalarla ve DTA-TG eğrileriyle desteklendiği görülmektedir [70, 80, 81].

İstenilen tenör ve verim miktarına göre sıcaklık aralıkları ve sürelerde değişiklikler yapılmaması mümkündür.

Çizelge 5.6 Espey -10 mm düşük tenörlü numunenin optimum sonucunda yapılan komple analiz değerleri

Bileşim (%)	Espey - 10 mm deney numunesi (%)	450 °C - 40 dakika dekrepitasyon değerleri	
		Konsantre (%)	Artık (%)
B ₂ O ₃	32,62	51,24	15,11
SiO ₂	9,49	3,57	22,70
Al ₂ O ₃	1,72	0,82	4,75
CaO	22,04	30,98	24,30
Fe ₂ O ₃	0,64	0,58	2,25
MgO	5,10	1,49	6,58
K ₂ O	1,00	0,27	2,06
Na ₂ O	0,08	0,02	0,13
SrO	2,31	2,87	0,57
SO ₄	0,08	0,04	0,50
As (ppm)	718,68	665,00	1.080,00
TiO ₂	0,38	0,05	0,36

Çizelge 5.6'dan görüleceği üzere; Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit numunesi ile yapılan optimum deney sonucunda besleme malî tenörü % 32,62 B₂O₃ iken 450 °C'de 40 dakikalık süre sonucunda % 51,24 B₂O₃ tenörlü konsantre % 83,21 verimle üretilmiştir. Artık taki B₂O₃ tenörü ise % 15,11'e düşürülmüştür. Aynı konsantre Fe tenörü yönünden değerlendirildiğinde beslemedeki % 0,64 Fe₂O₃ değeri konsantrede % 0,58 Fe₂O₃ye düşürülmüştür. Bunun nedeni; Fe₂O₃'ün kil mineralleri içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır [57]. Konsantre arsenik açısından değerlendirilecek olursa beslemede 718,68 ppm olan arsenik, konsantrede 665 ppm'e kadar düşürülerek satılabilir ürün elde edilmeye çalışılmaktadır. Tesiste üretilen konsantrenin minimum bor tenörü % 42 B₂O₃, arsenik maksimum 500 ppm ve Fe₂O₃ ise maksimum % 0,90 olup, elde edilen konsantre bu özellikleri de sağlayacak niteliktedir.

Bu çalĖmalara g re;

5.1.2.1 Espey -10 mm d k k ten rl  stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonu lara g re belirli tane boyutlar nda yap lan çalĖmalar

Burada elde edilen optimum s caklık ve s re değerlerinden yola çek larak numunenin belirli tane boyutlar nda yap lan çalĖmalar nda elde edilen sonu lar çizelge 5.7 de verilmektedir.

Çizelge 5.7 Espey -10 mm d k k ten rl  kolemanit numunesinin belirli tane boyutlar nda yap lan dekrepitasyon çalĖma sonucu elde edilen değerler

Tane Boyutu (mm)	Elde Edilen �r�nler	450 �C - 40 dk. dekrepitasyon değerleri		
		Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+5	Konsantre	69,24	53,32	87,81
	Art�k	30,76	16,66	12,19
	Besleme mal�	100,00	40,64	100,00
-5+1,6	Konsantre	66,23	52,23	86,75
	Art�k	33,77	15,65	13,25
	Besleme mal�	100,00	35,19	100,00
-1,6 +0,50	Konsantre	60,09	50,60	84,46
	Art�k	39,91	14,02	15,54
	Besleme mal�	100,00	24,77	100,00

Çizelge 5.7 den g r lecek i  zere; belirli ten r ve tane boyutu aral klar nda optimum sonuca g re yap lan dekrepitasyon çalĖmalar sonucunda; +5 mm numunesinde besleme mal  ten r  % 40,64 B₂O₃ iken, % 53,32 B₂O₃ ten rl  konsantre % 87,81 verimle  retilmektedir. Art ktaki bor ten r  ise % 16,66 ya d k r lm kt r. -5+1,6 mm de ise besleme mal ten r  % 35,19 B₂O₃ iken, % 52,23 B₂O₃ ten rl  konsantre % 86,75 verimle  retilmektedir. Art ktaki bor ten r  ise % 15,65 e d k r lm kt r. -1,6+0,50 mm de ise besleme mal ten r  % 24,77 B₂O₃ iken, % 50,60 B₂O₃ ten rl  konsantre % 84,46 verimle  retilmektedir. Art ktaki bor ten r  ise % 14,02 ye d k r lm kt r. Tane boyut aral ğ ek   ld k  e ten r ve verimlerde d k kler meydana gelmektedir. Bunun nedeni ince tanelerde safs zl klar n giderek artmas ndan kaynaklanmaktadır.

5.1.2.2 Espey -10mm d k k ten rl  stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonu lara g re at lan -0,50 mm numune ile yap lan çalĖmalar

ÇalĖmalar s ras nda 0,50 mm lik eleğin kullan lmas ndan dolay  at lan ve dekrepitasyon yap lmayan k   m optimum sonu lara g re tekrar yap lan dekrepitasyon

sonucunda 0,125 mm'lik elekten elenmiş ve atığa giden numunenin bir kısmının geri kazanılmasına çalışılmaktadır. Ancak, çizelgede görüleceği üzere istenilen verimde zenginleşme sağlanamamıştır. Elde edilen ürünün değeri değerlendirilmesi mümkün görülmemektedir.

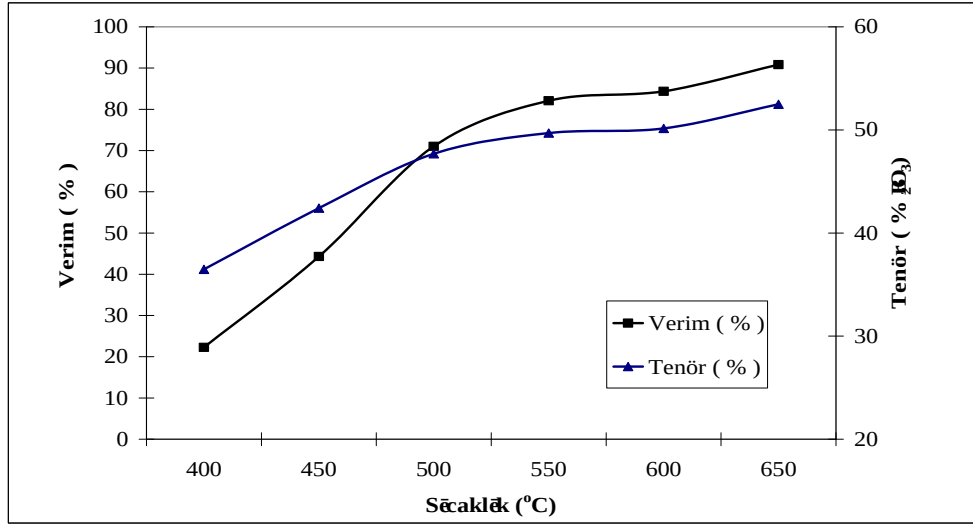
Çizelge 5.8 Espey -10 mm numunesi 0,50 mm'lik kışmında optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalışması

Espey -10 mm -0,50 mm numunesi	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Elde edilen konsantre	21,50	34,04	40,97
Artık	78,50	13,43	59,03
Besleme malı	100,00	13,52	100,00

Espey -10 mm -0,50 mm artık numunesini geri kazanmak amacıyla yapılan çalışma sonucunda; besleme malı tenörü % 13,52 B₂O₃ iken, % 34,04 B₂O₃ tenörlü konsantre % 40,97 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 13,43'e düşürülmüştür. Bu sonuçlarla birlikte elde edilen konsantre üründe istenilen tenöre ulaşamamıştır.

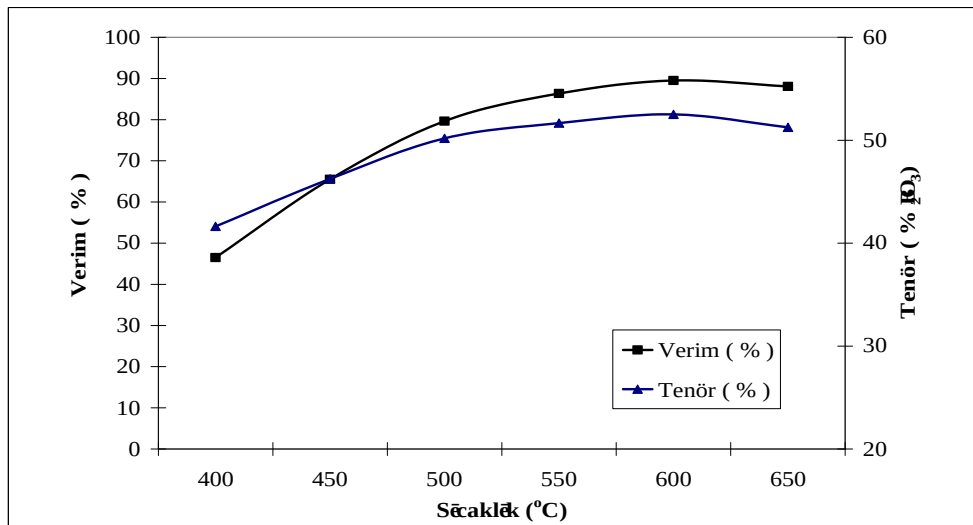
5.1.3 Hisarcık -25+3 mm deneysel çalışmalar:

Hisarcık -25+3 mm numunesinde de 0,50 mm'in altı atılmak ve elde edilen numunenin % B₂O₃ miktarı % 30,27 olarak hesap edilmiştir. Yaklaşık 100'er gr. olarak fırına beslenen numunelerden elde edilen sonuçlar çizelge 5.9'da verilmiştir.



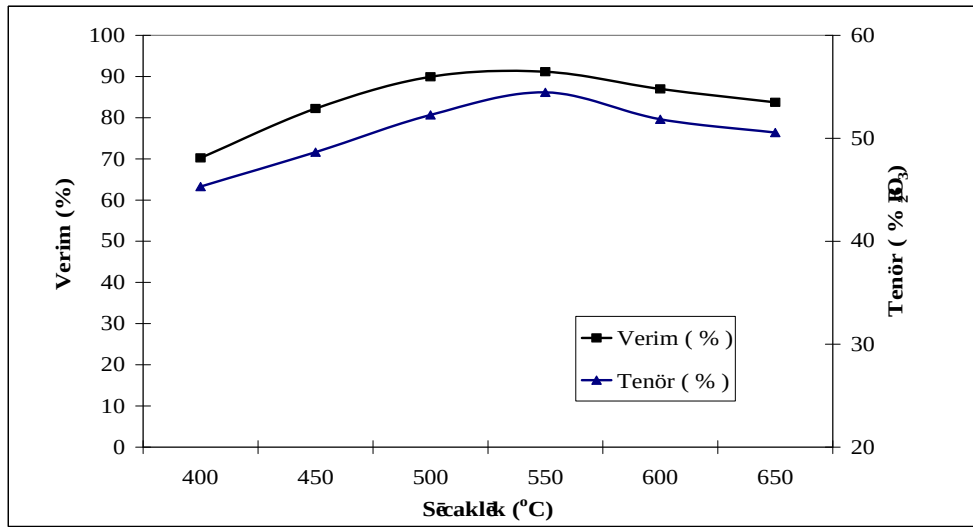
Şekil 5.16 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 10 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.16'da 10 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 36,48 B_2O_3 % 22,28 verim ile, 450 °C sonunda % 42,41 B_2O_3 % 44,29 verimle, 500 °C sonunda % 47,68 B_2O_3 % 71,03 verimle, 550 °C sonunda % 49,70 B_2O_3 % 82,08 verimle, 600 °C sonunda % 50,15 B_2O_3 % 84,36 verimle, 650 °C sonunda % 52,49 B_2O_3 % 90,83 verim ile kazanılmıştır. 10 dakikalık süre sonunda en uygun 650 °C'de % 90,83 verimle % 52,49 B_2O_3 tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



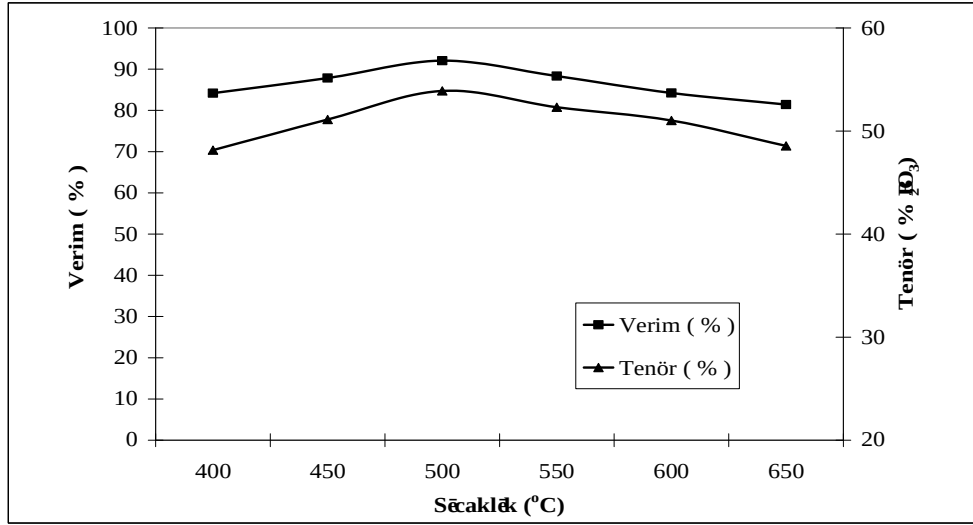
Şekil 5.17 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 20 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.17'de 20 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 41,63 B₂O₃ % 46,52 verim ile, 450 °C sonunda % 46,25 B₂O₃ % 65,53 verimle, 500 °C sonunda % 50,18 B₂O₃ % 79,65 verimle, 550 °C sonunda % 51,67 B₂O₃ % 86,36 verimle, 600 °C sonunda % 52,51 B₂O₃ % 89,53 verimle, 650 °C sonunda % 51,26 B₂O₃ % 88,08 verim ile kazanılmıştır. 20 dakikalık süre sonunda en uygun 600 °C'de % 89,53 verimle % 52,51 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



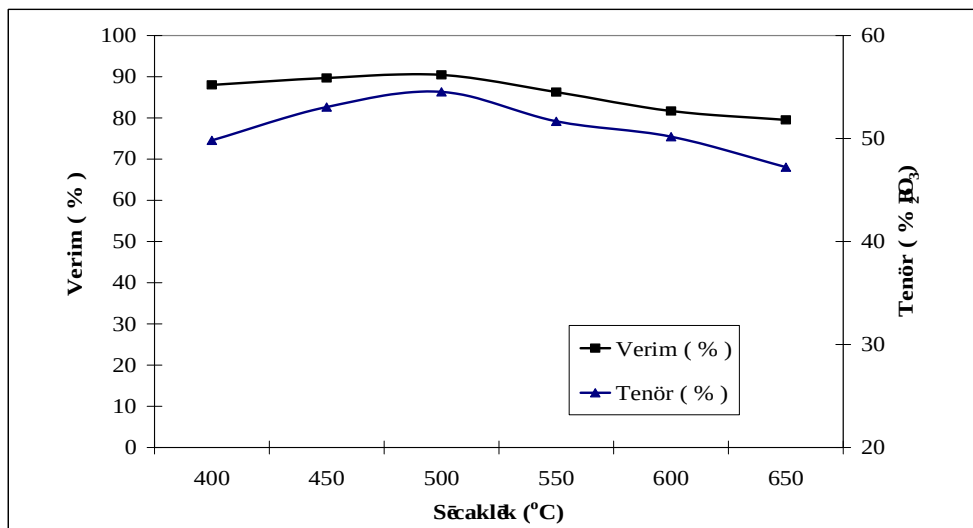
Şekil 5.18 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 30 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.18'de 30 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 43,31 B₂O₃ % 70,25 verim ile, 450 °C sonunda % 48,65 B₂O₃ % 82,13 verimle, 500 °C sonunda % 52,27 B₂O₃ % 89,93 verimle, 550 °C sonunda % 54,46 B₂O₃ % 91,58 verimle, 600 °C sonunda % 51,85 B₂O₃ % 86,98 verimle, 650 °C sonunda % 50,56 B₂O₃ % 83,72 verim ile kazanılmıştır. 30 dakikalık süre sonunda en uygun 550 °C'de % 91,58 verimle % 54,46 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



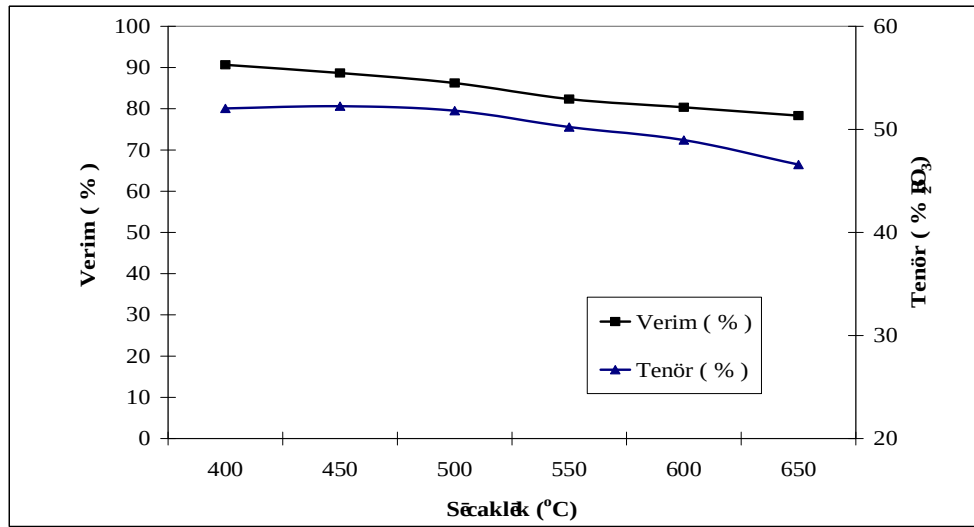
Şekil 5.19 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 40 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.19'da 40 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 48,14 B₂O₃ % 83,44 verim ile, 450 °C sonunda % 51,12 B₂O₃ % 87,84 verimle, 500 °C sonunda % 53,89 B₂O₃ % 92,05 verimle, 550 °C sonunda % 52,30 B₂O₃ % 88,32 verimle, 600 °C sonunda % 51,02 B₂O₃ % 84,23 verimle, 650 °C sonunda % 48,56 B₂O₃ % 81,43 verim ile kazanılmaktadır. 40 dakikalık süre sonunda en uygun 500 °C'de % 92,05 verimle % 53,89 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



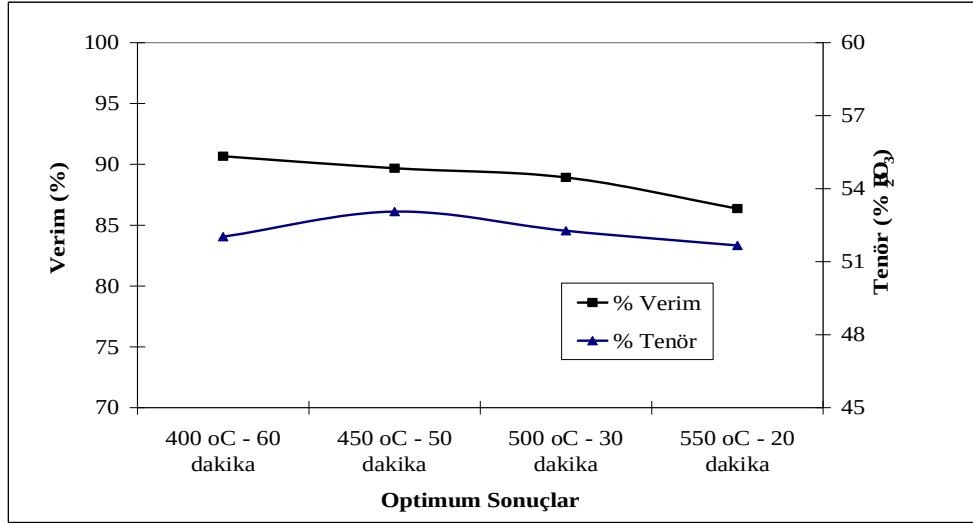
Şekil 5.20 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 50 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.20'de 50 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 49,82 B₂O₃ % 87,35 verim ile, 450 °C sonunda % 53,06 B₂O₃ % 89,68 verimle, 500 °C sonunda % 54,11 B₂O₃ % 91,58 verimle, 550 °C sonunda % 51,67 B₂O₃ % 87,59 verimle, 600 °C sonunda % 50,18 B₂O₃ % 81,68 verimle, 650 °C sonunda % 47,22 B₂O₃ % 79,39 verim ile kazanılmıştır. 50 dakikalık süre sonunda en uygun 500 °C'de % 91,58 verimle % 54,11 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



Şekil 5.21 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun çeşitli sıcaklıklarda 60 dakikalık sürede elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.21'de 60 dakikalık sürede sıcaklığa bağlı olarak, dekrepitasyon çalışması sonucunda 400 °C'de % 52,03 B₂O₃ % 90,67 verim ile, 450 °C sonunda % 52,25 B₂O₃ % 88,66 verimle, 500 °C sonunda % 51,82 B₂O₃ % 86,24 verimle, 550 °C sonunda % 50,22 B₂O₃ % 82,35 verimle, 600 °C sonunda % 48,96 B₂O₃ % 80,33 verimle, 650 °C sonunda % 46,58 B₂O₃ % 78,35 verim ile kazanılmıştır. 60 dakikalık süre sonunda en uygun 400 °C'de % 90,6 verimle % 52,03 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



Şekil 5.22 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik sıcaklık ve sürelerde yapılan dekrepitasyon çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Dekrepitasyon çalışmalarında, 650 °C sıcaklıkta kısmi bir sinterleşme baklamak verim ve tenör değerleri azalmaktadır. Şekil 4.13'teki DTA ve TG eğrileri de bu durumu desteklemektedir. 700 °C'de numunelerin sinterleşmeye başladığı görülmüş ve daha yüksek sıcaklıklarda deneme yapılmamıştır [70]. Yapılan çalışmalar neticesinde düşük sıcaklıklarda ileri sürelerde dekrepitasyonun uygulanabileceği ya da yüksek sıcaklıklarda kısa süreli çalışmalar sonucunda optimum değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Grafik ve tablolardan görüleceği üzere 500 °C'den sonra yapılan dekrepitasyonlarda verim ve tenör açısından çok büyük değişiklik gözükmemektedir. Burada en iyi sonuç olarak 450 °C'de yaklaşık 50 dakikalık sürede % 53,06 B₂O₃ tenör ve % 89,68 verimle konsantre üretilmiştir. Optimum sonuca göre yapılan komple analiz değerleri çizelge 5.10'da verilmiştir. Söz konusu sıcaklık ve sürelerin daha önce yapılan çalışmalarla ve DTA-TG eğrileriyle desteklendiği görülmektedir [70, 80, 81].

İstenilen tenör ve verim miktarına göre sıcaklık aralıkları ve sürelerde değişiklikler yapılması mümkündür.

Çizelge 5.10 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü numunenin optimum sonucunda yapılan komple analiz değerleri

Bileşim (%)	Hisarcık -25+3 mm Deney Numunesi (%)	450 °C - 50 dakika dekrepitasyon deneyleri	
		Konsantre (%)	Artık (%)
B ₂ O ₃	30,27	53,06	10,13
SiO ₂	12,35	3,04	23,20
Al ₂ O ₃	1,54	0,95	4,14
CaO	20,85	32,40	21,10
Fe ₂ O ₃	0,56	0,41	2,08
MgO	5,24	2,34	8,47
K ₂ O	0,71	0,26	2,11
Na ₂ O	0,07	0,02	0,07
SrO	1,66	1,92	0,90
SO ₄	0,18	0,15	0,86
As (ppm)	967,00	820,00	1.215,00
TiO ₂	0,37	0,08	0,36

Çizelge 5.10'dan görüleceği üzere; Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesi ile yapılan optimum deney sonucunda besleme malî tenörü % 30,27 B₂O₃ iken 450 °C'de 50 dakikalık süre sonucunda % 53,06 B₂O₃ tenörlü konsantre % 89,68 verimle üretilmiştir. Artıktaki B₂O₃ tenörü ise % 10,13'e düşürülmüştür. Aynı konsantre Fe tenörü yönünden değerlendirildiğinde beslemedeki % 0,56 Fe₂O₃ değeri konsantrede % 0,41 Fe₂O₃'e düşürülmüştür. Bunun nedeni; Fe₂O₃'ün kil mineralleri içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Hisarcık bölgesi killerin yapısında bor bulunmamaktadır. Espey bölgesinde ise killerin içinde bir miktar bor bulunmaktadır [57]. Konsantre arsenik açısından değerlendirilecek olursa beslemede 967 ppm olan arsenik, konsantrede 800 ppm'e kadar düşürülerek satılabilir ürün elde edilmeye çalışılmaktadır. Tesiste üretilen konsantrenin minimum bor tenörü % 42 B₂O₃, arsenik maksimum 500 ppm ve Fe₂O₃ ise maksimum % 0,90 olup, elde edilen konsantre bu özellikleri de sağlayacak niteliktedir.

Bu çalışmalara göre;

5.1.3.1 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalar

Burada elde edilen optimum sıcaklık ve süre değ erlerinden yola çıkılarak numunenin belirli tane boyutlarında yapılan çalışmalarında elde edilen sonuçlar çizelge 5.11'de verilmektedir.

Çizelge 5.11 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan dekrepitasyon çalışması sonucu elde edilen değ erler

Tane Boyutu (mm)	Elde Edilen Ürünler	450 °C - 50 dk. dekrepitasyon deneyleri		
		Aj ıklık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+5	Konsantre	66,65	53,83	92,47
	Artık	33,35	8,76	7,53
	Besleme Malē	100,00	35,36	100,00
-5+1,6	Konsantre	43,32	47,98	81,82
	Artık	56,68	8,15	18,18
	Besleme Malē	100,00	20,76	100,00
-1,6 +0,50	Konsantre	25,53	39,05	60,99
	Artık	74,47	7,94	39,01
	Besleme Malē	100,00	12,40	100,00

Çizelge 5.11'den görüleceğ i üzere; belirli tenör ve tane boyutu aralıklarındā optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalışmaları sonucunda; +5 mm numunesinde besleme malē tenörü % 35,36 B₂O₃ iken, % 53,83 B₂O₃ tenörlü konsantre % 92,47 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 8,76'ya düşürülmüştür. -5+1,6 mm'de ise besleme malē tenörü % 20,76 B₂O₃ iken, % 47,98 B₂O₃ tenörlü konsantre % 81,82 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 8,15'e düşürülmüştür. -1,6+0,50 mm'de ise besleme malē tenörü % 12,40 B₂O₃ iken, % 39,05 B₂O₃ tenörlü konsantre % 60,99 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 7,94'e düşürülmüştür. Tane boyut aralığ ı küçüldükçe tenör ve verimlerde düşükl er meydana gelmektedir. Bunun nedeni ince tanelerde safsızlıkl arı giderek artmasıdır.

5.1.3.2 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stok numunesinin dekrepitasyon deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar

Çalışmalar sırasında 0,50 mm'lik eleğin kullanılmamasından dolayı atılan ve dekrepitasyon yapılmayan kışın optimum sonuçlara göre tekrar yapılan dekrepitasyon sonucunda 0,125 mm'lik elekten elenmiş ve atığa giden numunenin bir kısmının geri kazanılmasına çalışılmaktadır. Ancak, çizelgede görüleceği üzere istenilen verimde zenginleşme sağlanamamıştır. Elde edilen ürünün değerlendirilmesi mümkün görülmemektedir.

Çizelge 5.12 Hisarcık -25+3 mm numunesi 0,50 mm'lik kışında optimum sonuca göre yapılan dekrepitasyon çalışması

Hisarcık -25+3 mm -0,50 mm numunesi	Ajallık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Elde edilen konsantre	18,36	28,53	37,14
Artık	81,64	10,86	62,86
Besleme malı	100,00	11,33	100,00

Hisarcık -25+3 mm -0,50 mm artık numunesini geri kazanmak amacıyla yapılan çalışma sonucunda; besleme malıtenörü % 11,33 B₂O₃ iken, % 28,53 B₂O₃ tenörlü konsantre % 37,14 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 10,86'ya düşürülmüştür. Bu sonuçlarla birlikte elde edilen konsantre üründe istenilen tenöre ulaşamamıştır.

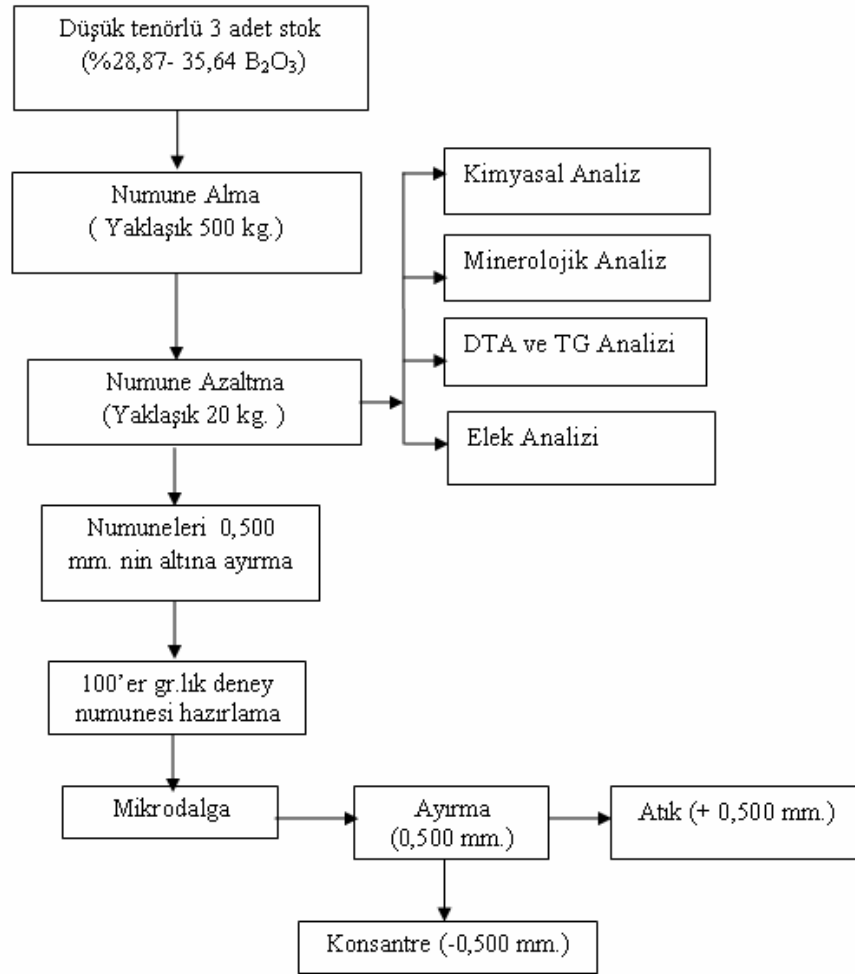
Çizelge 5.13 Dekrepitasyon çalışmaları sonucunda olunan nihai sonuçlar

Numuneler	Besleme malē		Dekrepitasyon Sonuēlarē				Verim (%)	Dekrepitasyon sonrasē elde edilen optimum sonuē
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Miktar (%)		B ₂ O ₃ (%)			
			Konsantre	Artēk	Konsantre	Artēk		
Espey - 3 mm	100	43,73	73,18	26,82	53,82	16,23	90,05	450 °C - 40 dk.
Espey -10 mm	100	36,56	59,37	40,63	51,24	15,11	83,21	450 °C - 40 dk.
Hisarcēk +25-3 mm	100	36,90	62,38	37,62	53,06	10,13	89,68	450 °C - 50 dk.

Çizelge 5.13'de belirtildiği üzere yapılan dekrepitasyon çalışmalarında, optimum sonuçlara 450 °C civarında 40-50 dk. arasında ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Burada, Espey -3 mm numunesinin tenörü % 53,82 B₂O₃, Espey -10 mm numunesinin tenörü % 51,24 B₂O₃ ve Hisarcık -25+3 mm numunesinin tenörü % 53,06 B₂O₃ olarak elde edilmiştir. Endüstriyel kartlarda 450 °C'nin uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak, elde edilen konsantre ürün talebine göre DTA-TG eğrilerinde de görüldüğü üzere 400 °C ile 500 °C sıcaklıklar arasında numuneler büyük oranda kristal suyunu kaybedip, patlamaktadırlar. Yapılan bir çok çalışmada da bu durum tespit edilmiştir [61, 62, 63, 70]. Kristal suyunu kaybedip kütle kayıpları artan numunelerin tenörü hiçbir işleme tabi tutulmadan % 10-20 arasında yükselmektedir.

5.2 Mikrodalga Çalışmaları

Çalışmalarda, Arçelik MD 554 (intellowave) mutfak tipi mikrodalga fırın kullanılmaktadır. Yaklaşık 100 gr. civarında hazırlanan numuneler cam beher ve erlenle yapılan çalışmalar sonucunda değişik Watt güçleri ayarlandıktan sonra belirli sürelerde deneylere tabi tutulmuştur. Bu çalışmada 360 Watt, 600 Watt, 900 Watt ve 1200 Watt güçlerinde denemeler yapılmaktadır. 360 Watt gücünde yapılan çalışmalarda herhangi bir zenginleşme durumu ortaya çıkmadığından değişik erlendirmelerde kullanılmamaktadır. Diğer watt güçlerinde ise Espey -3 mm, Espey -10 mm ve Hisarcık -25+3 mm numunesine ait denemeler tamamlanmaktadır. Şekil 5.23'de mikrodalga ile yapılan çalışmanın akış şeması verilmiştir.



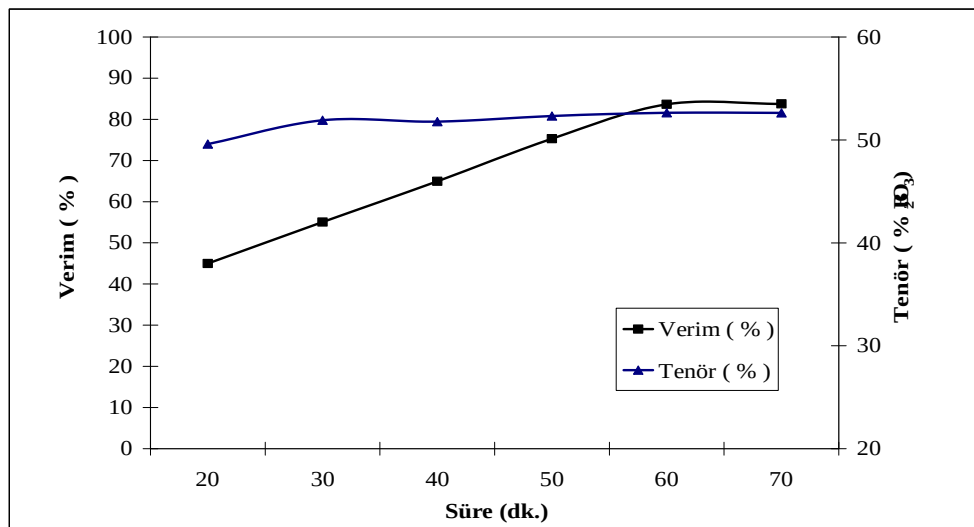
Şekil 5.23 Mikrodalga akın keması

5.2.1 Espey -3 mm mikrodalga deneysel çalışmaları

Espey -3 mm numunesinin 0,50 mm'nin altına atıldıktan sonra, yaklaşık 100'er gr. olarak alınan numuneler değişik süre ve (watt) güçlerinde mikrodalgaya beslenmiştir. Öncelikle, 360 watt'a yaklaşık 1 saat süreyle bekletilmiş, fakat zenginleştirmeye dair herhangi bir tespit yapılamamıştır. Daha sonra 600 watt gücünde yapılan deneylerde süre arttıkça kolemanitlerin patlamaya başladıkları tespit edilmiştir. Belli bir süre sonra sinterleşme başlamak ve sinterleşmenin başladığı süreden itibaren belirli aralıklarla numune karıştırılmaktadır. Çalışmalarda kolemanit ile kil aglomera kekinde bütünleşmekte ve giderek büyük bir kütle haline gelmekte ve camsılaşmaktadır [86]. Aynı çalışmalara 900 ve 1200 watt'a devam edilmek olup, deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 5.14'de ve grafiklerde verilmiştir.

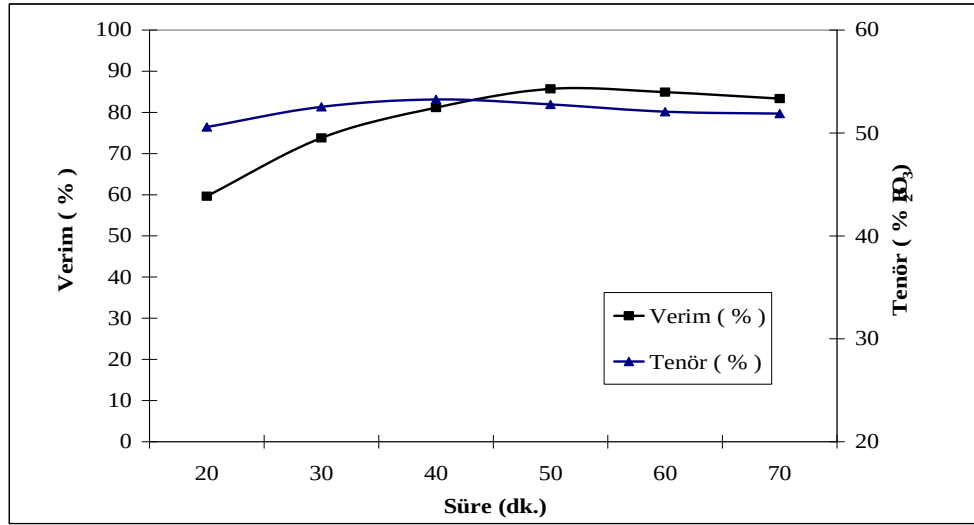
Çizelge 5.14 Espey -3 mm numunesinin mikrodalga çalâkmalarē sonucu süre ve güce göre deĝ iken tenör ve verim deĝ erleri

Süre (dk)	Elde Edilen Ürünler	600 watt			900 watt			1200 watt		
		Aĝ ārlāk (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Aĝ ārlāk (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Aĝ ārlāk (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Konsantre	35,03	49,60	44,99	47,51	50,58	59,66	60,26	50,90	73,33
	Artāk	64,97	32,69	55,01	52,49	30,96	40,34	39,74	28,06	26,67
	Besleme malē	100,00	38,61	100,00	100,00	40,28	100,00	100,00	41,82	100,00
30	Konsantre	41,17	51,91	55,04	54,87	52,55	67,21	64,70	52,83	81,83
	Artāk	58,83	29,67	44,96	45,13	31,17	32,79	35,30	21,51	18,17
	Besleme malē	100,00	38,83	100,00	100,00	42,90	100,00	100,00	41,78	100,00
40	Konsantre	48,32	51,78	64,95	64,14	53,26	81,16	68,68	53,61	85,34
	Artāk	51,68	26,13	35,05	35,86	22,11	18,84	31,32	20,20	14,66
	Besleme malē	100,00	38,52	100,00	100,00	42,09	100,00	100,00	43,15	100,00
50	Konsantre	58,26	52,33	75,29	69,41	52,78	85,72	69,93	53,66	85,95
	Artāk	41,74	23,97	24,71	30,59	19,95	14,28	30,07	20,40	14,05
	Besleme malē	100,00	40,49	100,00	100,00	42,74	100,00	100,00	43,66	100,00
60	Konsantre	66,89	52,64	83,67	67,57	52,06	84,94	66,16	53,11	84,82
	Artāk	33,11	20,75	16,33	32,43	19,23	15,06	33,84	18,59	15,18
	Besleme malē	100,00	42,08	100,00	100,00	41,41	100,00	100,00	41,43	100,00
70	Konsantre	66,79	52,63	83,77	66,16	51,89	83,36	66,21	51,10	83,04
	Artāk	33,21	20,51	16,23	33,84	20,25	16,64	33,79	20,45	16,96
	Besleme malē	100,00	41,96	100,00	100,00	41,18	100,00	100,00	40,74	100,00
Ham besleme malē tenörü		38,99								



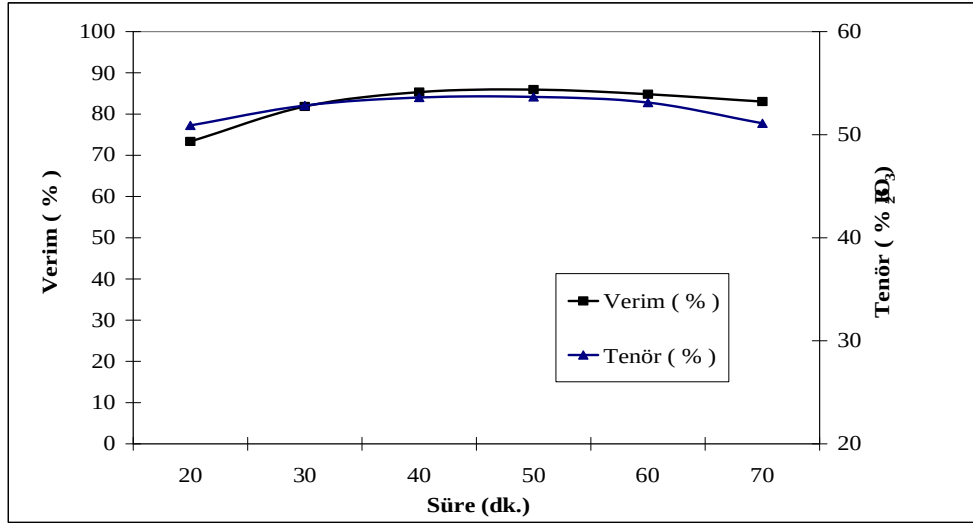
ġekil 5.24 Espey -3 mm dükük tenörlü kolemanit stoĝunun 600 w gücünde deĝ iken sürelerde yapıdan mikrodalga çalâkmalarēsonucunda elde edilen tenör ve verim grafiĝ i

Şekil 5.24'de mikrodalga çalışmalarında süreye bağlı olarak 600 watt gücünde, 20. dk'da 49,60 B₂O₃ % 44,99 verim ile, 30 dk. sonunda % 51,91 B₂O₃ % 55,04 verimle, 40 dk. sonunda % 51,78 B₂O₃ % 64,95 verimle, 50 dk. sonunda % 52,33 B₂O₃ % 75,29 verimle, 60 dk. sonunda % 52,64 B₂O₃ % 83,67 verimle, 70 dk. sonunda % 52,63 B₂O₃ % 83,77 verim ile kazanılmaktadır. 600 W sıcaklıkta en uygun 60. dakikada % 83,67 verimle % 52,64 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



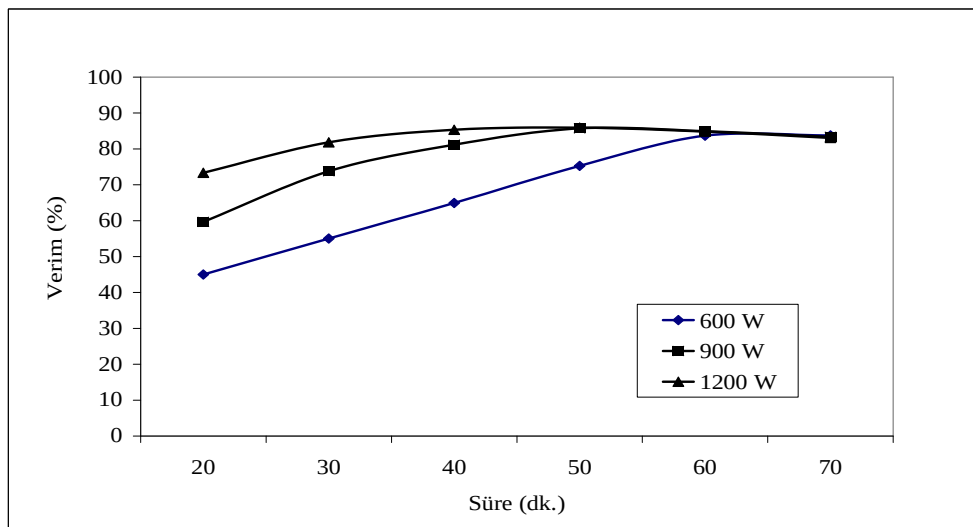
Şekil 5.25 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun 900 w gücünde değişik sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarında elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.25'de mikrodalga çalışmalarında süreye bağlı olarak 900 watt gücünde, 20. dk'da 50,58 B₂O₃ % 59,66 verim ile, 30 dk. sonunda % 52,55 B₂O₃ % 67,21 verimle, 40 dk. sonunda % 53,26 B₂O₃ % 81,16 verimle, 50 dk. sonunda % 52,78 B₂O₃ % 85,72 verimle, 60 dk. sonunda % 52,06 B₂O₃ % 84,94 verimle, 70 dk. sonunda % 51,89 B₂O₃ % 83,36 verim ile kazanılmaktadır. 900 w sıcaklıkta en uygun 50. dakikada % 85,72 verimle % 52,78 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



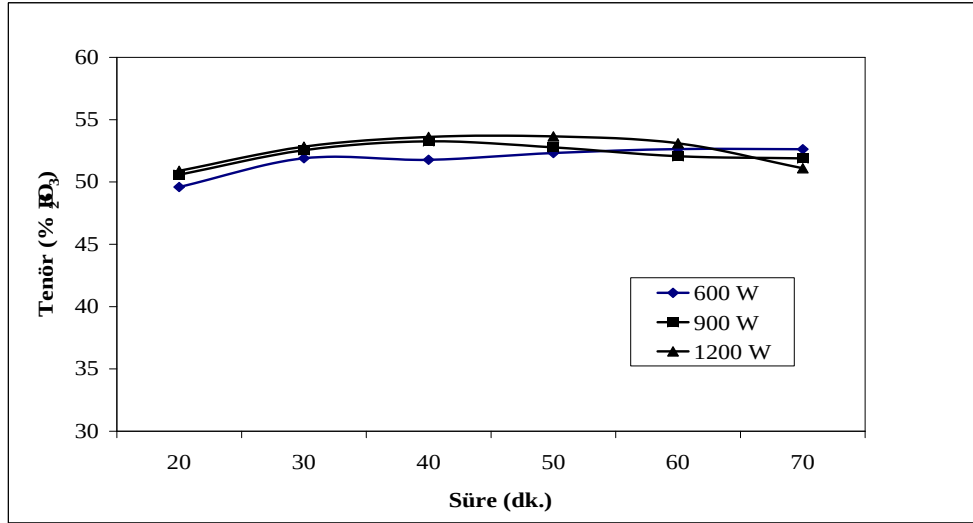
Şekil 5.26 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun 1200 w gücünde deşirilen sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarının sonucunda elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.26'da mikrodalga çalışmalarının sonucunda süreye bağlı olarak 1200 watt gücünde, 20. dk'da % 50,90 B₂O₃ % 73,33 verim ile, 30 dk. sonunda % 52,83 B₂O₃ % 81,83 verimle, 40 dk. sonunda % 53,61 B₂O₃ % 85,34 verimle, 50 dk. sonunda % 53,66 B₂O₃ % 85,95 verimle, 60 dk. sonunda % 53,11 B₂O₃ % 84,82 verimle, 70 dk. sonunda % 51,10 B₂O₃ % 83,04 verim ile kazanılmaktadır. 1200 w sıcaklıkta en uygun 50. dakikada % 85,95 verimle % 53,66 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



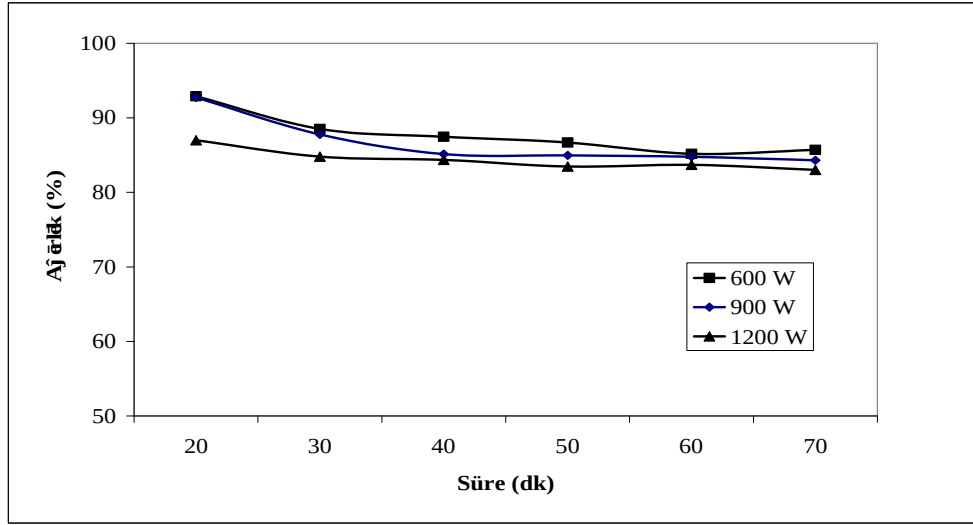
Şekil 5.27 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun süre ve güce göre deşirilen verim değerleri

Şekil 5.27’de mikrodalga çalışmalarında süreye ve watt’a bağlı olarak değişen % verim değerleri incelendiğinde, 20. dakikadan itibaren başlayan çalışmalarda, verim süreye ve watt gücüne bağlı olarak artmakta olup, 60. dakikadan itibaren verimler 600, 900 ve 1200 watt’larda birleşmektedir. 50. dakika sonunda % 85,95 maksimum verime ulaşılmıştır. Tüm watt’lardaki verimler 60. dakikadan itibaren düşmüktür.



Şekil 5.28 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre değişen tenör değerleri

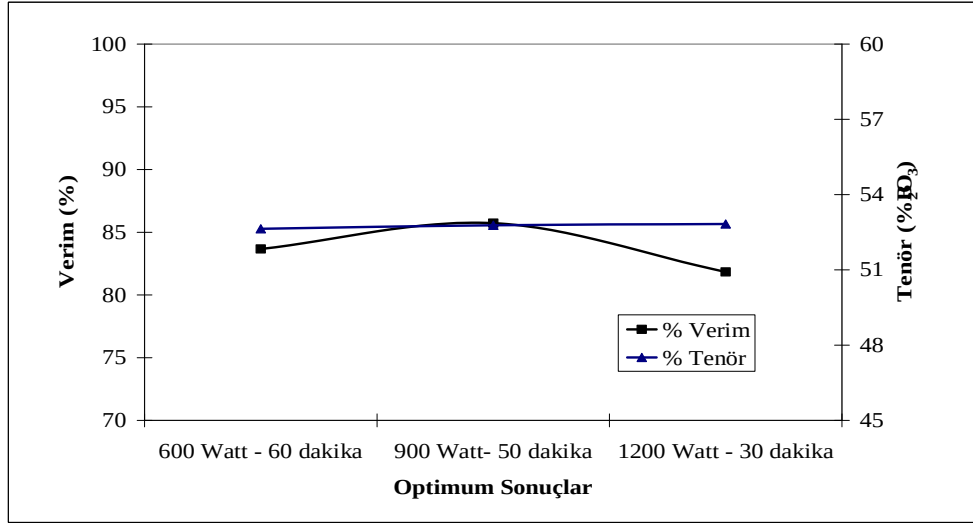
Şekil 5.28’de mikrodalga çalışmalarında süreye ve watt’a bağlı olarak değişen % B_2O_3 değerleri incelendiğinde, 20. dakikadan itibaren başlayan çalışmalarda, tenör süreye ve watt gücüne bağlı olarak artmakta olup, 60. dakikadan itibaren tenörler düşmeye başlamıştır. 50. dakika sonunda 1200 watt güçte % 53,66 B_2O_3 tenörlü konsantre elde edilmiştir.



Şekil 5.29 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çeşitli süre ve güce göre değişen % ağırlık grafiği

Şekil 5.29’da mikrodalga deneyleri sonucunda süreye ve watt’a bağlı olarak kütle kaybının giderek fazlalaştığı görülmekte olup, 60. dakikadan sonra kütle kaybı miktarlarının ayneseviyelere geldiğinden dolayı dekrepatasyon işleminin tamamlandığı görülmektedir.

Grafik ve tablolardan görüleceği üzere güç arttıkça % verim ve % B_2O_3 değerleri daha kısa sürede artmaktadır. 900 W gücünde 50. dakikada % 85,72 verimle, % 52,78 B_2O_3 tenörüne ulaşılmış olup, bu süre ve watt gücü optimum olarak kabul edilmiştir. 60 dakika sonunda bütün güçlerde verim % 80’in üzerinde gerçekleşmiştir. 70. dakikadan sonra 900 ve 1200 wattlarda sinterleşme artması ve deneyler yapılamamıştır.



Şekil 5.30 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik güç ve sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Yapılan çalışmalar neticesinde düşük güçlerde ileri sürelerde mikrodalganın uygulanabileceği ya da yüksek güçlerde kısa süreli çalışmalar sonucunda optimum değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Grafik ve tablolardan görüleceği üzere 600, 900 ve 1200 wattlarda yapılan çalışmalardan elde edilen optimum sonuçlara göre 900 w 50 dakikalık sürede % 52,78 B₂O₃ tenör ve % 85,72 verimle konsantre üretilmiştir. Optimum sonuca göre yapılan komple analiz değerleri ise çizelge 5.15’de gösterilmiştir.

Söz konusu güç ve sürelerde nikel - krom-nikel thermocouple’ü CEM DT-613 Çift Girişli Dijital Termometre cihazı ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Mikrodalgadan çıkan ürünün değişik yerlerinde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde sıcaklığın 350 °C ile 450 °C’lerde değiştiği tespit edilmiştir. Aynı ölçümler diğer numuneler içinde yapılmıştır.

İstenilen tenör ve verim miktarına göre güç aralıkları ve sürelerde değişiklikler yapılması mümkündür.

Çizelge 5.15 Espey -3 mm düşük tenörlü numunenin mikrodalga çalışmalarında elde edilen optimum sonuç değerleri

Bileşim (%)	Espey - 3 mm Deney Numunesi (%)	900 Watt- 50 dakika mikrodalga deneyleri	
		Konsantre (%)	Artık (%)
B ₂ O ₃	38,99	52,78	19,95
SiO ₂	10,56	3,85	25,48
Al ₂ O ₃	2,84	1,17	7,82
CaO	20,28	31,20	18,90
Fe ₂ O ₃	0,81	0,74	4,69
MgO	2,67	0,86	4,87
K ₂ O	0,75	0,31	2,79
Na ₂ O	0,07	0,04	0,15
SrO	2,98	3,34	1,32
SO ₄	0,11	0,04	0,14
As (ppm)	1.010,00	220,00	1.145,00
TiO ₂	0,63	0,06	0,61

Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesi ile yapılan optimum deney sonucunda besleme mal tenörü % 38,99 B₂O₃ iken 900 watt 40 dakikalık süre sonucunda % 52,78 B₂O₃ tenörlü konsantre % 85,72 verimle üretilmiştir. Artıktaki B₂O₃ tenörü ise % 19,95'e düşürülmüştür. Aynı konsantre Fe tenörü yönünden değerlendirildiğinde beslemedeki % 0,81 Fe₂O₃ değeri konsantrede % 0,74 Fe₂O₃'e düşürülmüştür. Bunun nedeni; Fe₂O₃'ün kil mineralleri içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır [57]. Konsantre arsenik açısından değerlendirilecek olursa beslemede 1.010,00 ppm olan arsenik, konsantrede 220 ppm'e kadar düşürülerek satılabilir ürün elde edilmeye çalışılmaktadır. Tesiste üretilen konsantrenin minimum bor tenörü % 42 B₂O₃, arsenik maksimum 500 ppm ve Fe₂O₃ ise maksimum % 0,90 olup, elde edilen konsantre bu özellikleri de sağlayacak niteliktedir.

Bu çalĖmalara g re;

5.2.1.1 Espey -3 mm d kk k ten rl  stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonu lara g re belirli tane boyutlar nda yap lan çalĖmalar

Burada elde edilen optimum g   ve s re de erlerinden yola ç   arak numunenin belirli tane boyutlar nda yap lan çalĖmalar nda elde edilen sonu lar Çizelge 5.16 da verilmektedir.

Çizelge 5.16 Espey -3 mm d kk k ten rl  kolemanit numunesinin belirli tane boyutlar nda yap lan mikrodalga çalĖma sonucu elde edilen de erler

Tane Boyutu (mm)	Elde Edilen �r�nler	900 Watt - 40 dk. mikrodalga deneyleri		
		A������ (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+3,15	Konsantre	74,38	53,52	87,06
	Art��	25,62	23,10	12,94
	Besleme mal�	100,00	44,80	100,00
-3,15+1,12	Konsantre	71,96	51,74	86,70
	Art��	28,04	20,36	13,30
	Besleme mal�	100,00	42,72	100,00
-1,12 +0,50	Konsantre	61,97	50,37	84,18
	Art��	38,03	15,42	15,82
	Besleme mal�	100,00	34,38	100,00

Çizelge 5.16 dan g r lece i  zere; belirli ten r ve tane boyutu aral klar nda optimum sonuca g re yap lan mikrodalga çalĖmalar  sonucunda; +3,15 mm numunesinde besleme mal  ten r  % 44,80 B₂O₃ iken, % 53,52 B₂O₃ ten rl  konsantre % 87,06 verimle  retilmektedir. Art  taki bor ten r  ise % 23,10 a d      m kt r. -3,15+1,12 mm de ise besleme mal ten r  % 42,72 B₂O₃ iken, % 51,74 B₂O₃ ten rl  konsantre % 86,70 verimle  retilmektedir. Art  taki bor ten r  ise % 20,36 ya d      m kt r. -1,12+0,50 mm de ise besleme mal ten r  % 34,38 B₂O₃ iken, % 50,37 B₂O₃ ten rl  konsantre % 84,18 verimle  retilmektedir. Art  taki bor ten r  ise % 15,42 ye d      m kt r. Tane boyut aral                ten r ve verimlerde d       meydana gelmektedir. Bunun nedeni ince tanelerde safs        n giderek artmas ndand r.

5.2.1.2 Espey -3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar

Çalışmalar sırasında 0,50 mm'lik eleğin kullanılmamasından dolayı atılan ve dekrepitasyon yapılmayan kışın optimum sonuçlara göre 0,125 mm'lik elekten elenerek atılan giden numunenin bir kısmının kurtarılmasına çalışılmaktadır. Ancak, çizelgede görüleceği üzere istenilen verimde zenginleşme sağlanamamaktadır.

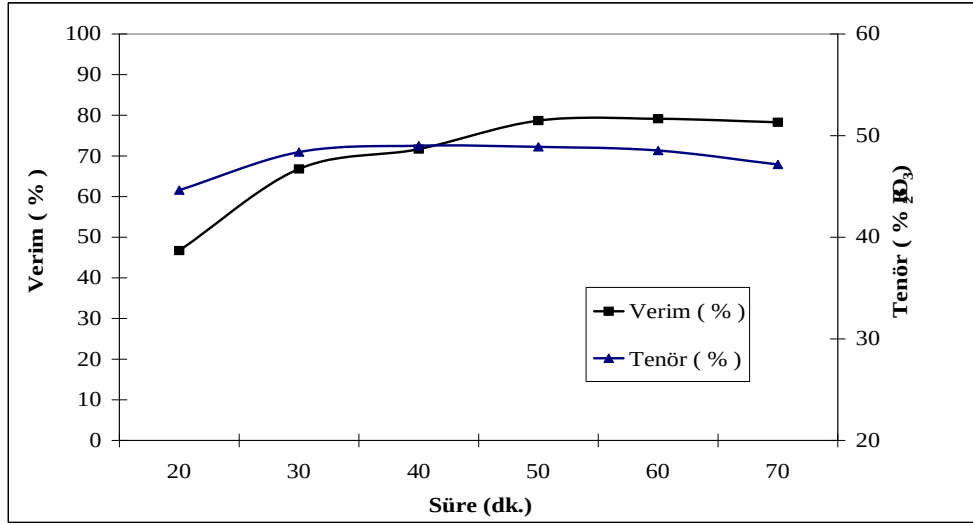
Çizelge 5.17 Espey -3 mm numunesi -0,50 mm'lik kışında optimum sonuca göre yapılan mikrodalga çalışması

Espey -3 mm -0,50 mm Numunesi	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Elde edilen konsantre	26,89	42,40	39,82
Artık	73,11	26,39	60,18
Besleme malı	100,00	27,14	100,00

Espey -3 mm -0,50 mm artık numunesini geri kazanmak amacıyla yapılan çalışma sonucunda; besleme malı tenörü % 27,14 B₂O₃ iken, % 42,40 B₂O₃ tenörlü konsantre % 39,82 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 26,39'a düşürülmüştür. Bu sonuçlarla birlikte elde edilen ürün borik asit tesisine besleme yapmak için kullanılabilir.

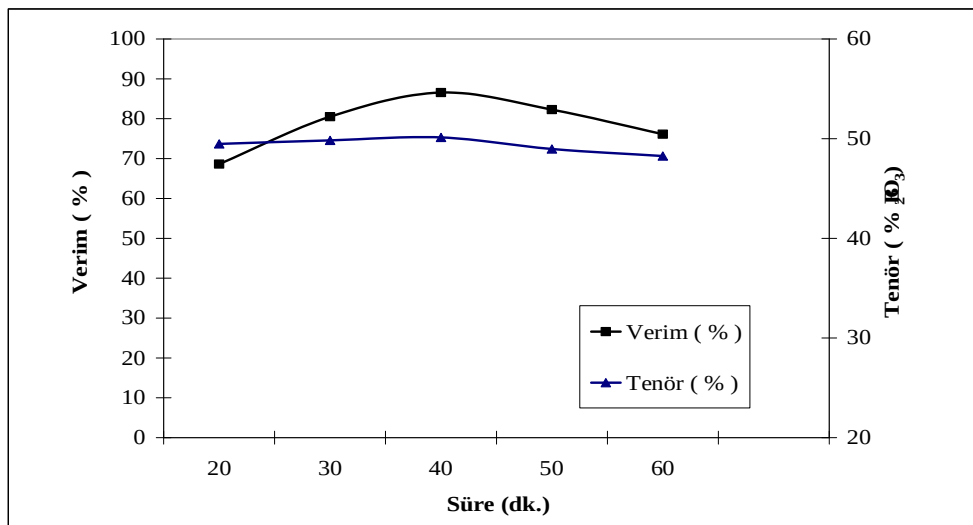
5.2.2 Espey -10 mm mikrodalga deneysel çalışmalar

Espey -10 mm numunesinin 0,500 mm'in altı atıldıktan sonra, yaklaşık 100'er gr. olarak alınan numuneler de iki süre ve (watt) güçlerde mikrodalgaya beslenmiştir. 360 Watt'a deneme yapılmamıştır. 600 watt gücünde yapılan denemelerde süre arttıkça kolemanitlerin patlamaya başladıkları tespit edilmiştir. Belli bir süre sonra sinterleşme başlamış ve sinterleşmenin başladığı süreden itibaren belirli aralıklarla numune karıştırılmaktadır. Aynı çalışmalara, 900 ve 1200 watt'a da devam edilmiş olup, deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 5.18'de ve grafiklerde verilmiştir.



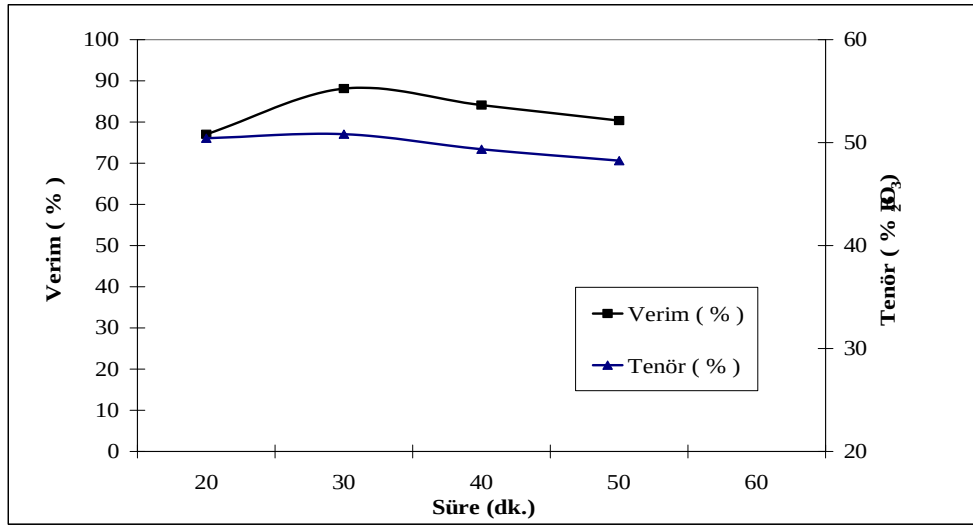
Şekil 5.31 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun 600 w gücünde deş ikik sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarēsonucunda elde edilen tenör ve verim grafiğ i

Şekil 5.31de mikrodalga çalışmalarēsonucunda süreye bağ lē olarak 600 Watt gücünde, 20. dkda 44,63 B₂O₃ % 46,71 verim ile, 30 dk. sonunda % 48,38 B₂O₃ % 66,80 verimle, 40 dk. sonunda % 49,01 B₂O₃ % 71,68 verimle, 50 dk. sonunda % 48,90 B₂O₃ % 78,68 verimle, 60 dk. sonunda % 48,54 B₂O₃ % 79,13 verimle, 70 dk. sonunda % 47,16 B₂O₃ % 78,27 ile kazanılmaktadır. 600 w gücünde en uygun 60. dakikada % 79,13 verimle % 48,54 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



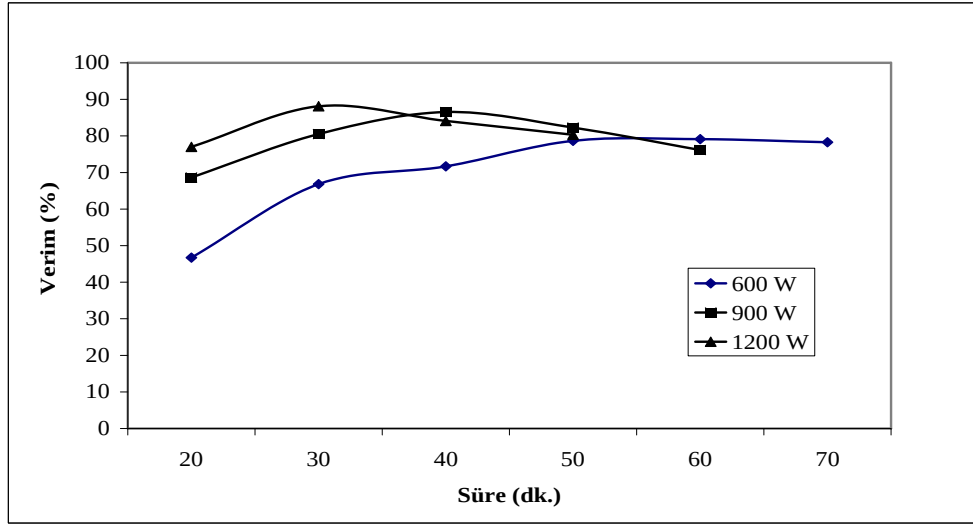
Şekil 5.32 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun 900 w gücünde deş ikik sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarēsonucunda elde edilen tenör ve verim grafiğ i

Şekil 5.32’de mikrodalga çalışmalarında süreye bağlı olarak 900 watt gücünde, 20 dk’da 49,48 B₂O₃ % 68,64 verim ile, 30 dk. sonunda % 49,83 B₂O₃ % 80,52 verimle, 40 dk. sonunda % 50,12 B₂O₃ % 86,55 verimle, 50 dk. sonunda % 48,96 B₂O₃ % 82,28 verimle, 60 dk. sonunda % 48,25 B₂O₃ % 76,14 verim ile kazanılmaktadır. 900 w sıcaklıkta en uygun 30. dakikada % 86,55 verimle % 50,12 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



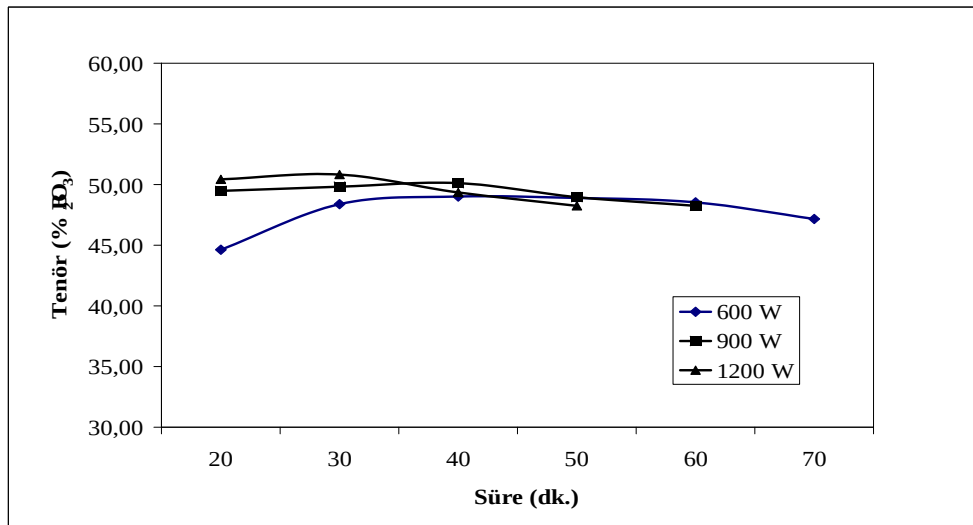
Şekil 5.33 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 1200 w gücünde değişik sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarında elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.33’de mikrodalga çalışmalarında süreye bağlı olarak 1200 watt gücünde, 20. dk’da 50,43 B₂O₃ % 77,02 verim ile, 30 dk. sonunda % 50,82 B₂O₃ % 88,13 verimle, 40 dk. sonunda % 49,35 B₂O₃ % 84,09 verimle, 50 dk. sonunda % 48,25 B₂O₃ % 80,33 verim ile kazanılmaktadır. 1200 w sıcaklıkta en uygun 30. dakikada % 88,13 verimle % 50,82 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



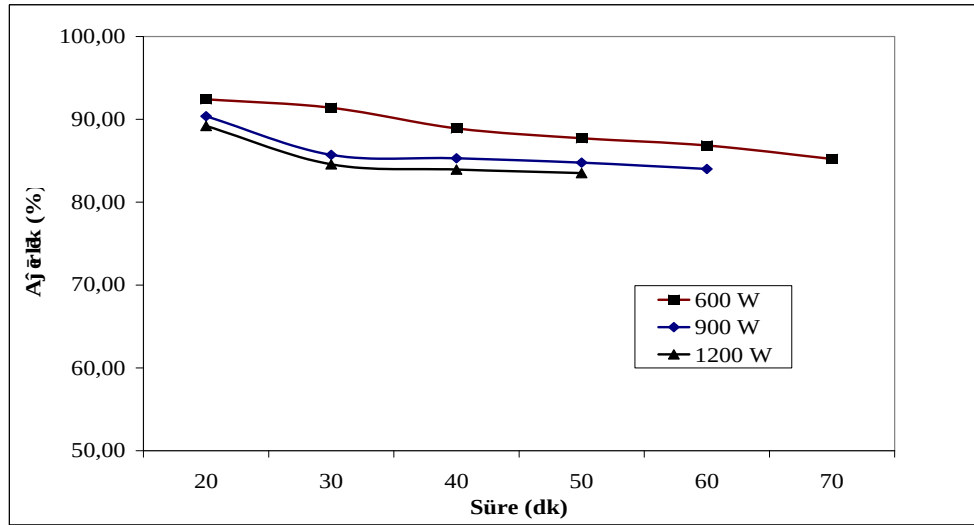
Şekil 5.34 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğun süre ve güce göre değişen verim değerleri

Şekil 5.34’de mikrodalga çalışmalarında süreye ve watt’a bağlı olarak değişen % verim değerleri incelendiğinde, 20. dakikadan itibaren başlayan çalışmalarda, verim, süreye ve watt gücüne bağlı olarak artmakta olup, 1200 watt 30. dakikadan itibaren, 900 watt 40. dakikadan itibaren ve 600 watt ise 60. dakikadan itibaren düşmeye başlamıştır. 1200 watt 30 dakika sonunda maksimum % 88,13 verime ulaşmıştır.



Şekil 5.35 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğun süre ve güce göre değişen tenör değerleri

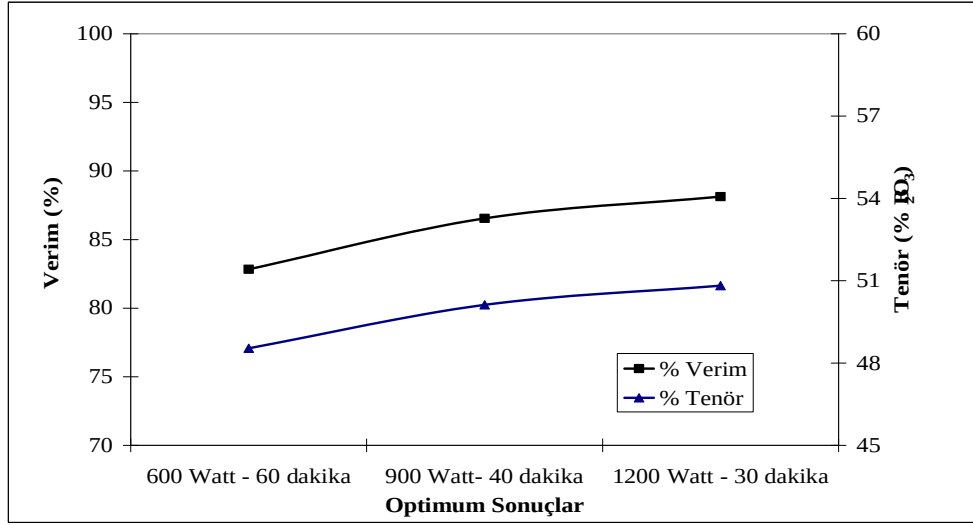
Şekil 5.35’de mikrodalga çalışmalarında süreye ve watt’a bağlı olarak değişen $\% \text{B}_2\text{O}_3$ değerleri incelendiğinde, 20. dakikadan itibaren başlayan çalışmalarda, tenör süreye ve watt gücüne bağlı olarak artmaktadır. 30. dakikadan itibaren 900 ve 1200 watt güçlerde tenörler düşmeye başlamıştır. 600 watt gücünde ise 60. dakikadan itibaren tenörler düşmeye başlamıştır. 1200 watt 30 dakika sonunda $\% 50,82 \text{B}_2\text{O}_3$ maksimum tenöre ulaşmıştır.



Şekil 5.36 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun çekitli süre ve güce göre değişen $\% \text{ağırlık}$ grafiği

Şekil 5.36’da mikrodalga deneyleri sonucunda süreye ve watt’a bağlı olarak kütle kaybının giderek fazlalaştığı görülmekte olup, 900 ve 1200 watt’larda 30. dakikadan sonra, 600 watt’a ise 70. dakikadan sonra kütle kaybı miktarlarının aynı seviyelere geldiği görülmektedir. Buradan mikrodalga çalışmalarının tamamlandığı görülmektedir.

Grafik ve tablolardan görüleceği üzere güç arttıkça verim ve $\% \text{B}_2\text{O}_3$ değerleri daha kısa sürede artmakta olup, 900 watt gücünde 40. dakikada $\% 86,55$ verimle, $\% 50,12 \text{B}_2\text{O}_3$ tenörüne ulaşmıştır. 50 dakikadan sonra 1200 watt’a, 60 dakikadan sonra 900 watt’a ve 70 dakikadan sonra ise 600 watt’a akılderecede sinterleşme olduğu undan çalışmalara devam edilememiştir.



Şekil 5.37 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik güç (watt) ve sürelerde yapılan mikrodalga çalışmalarında elde edilen tenör ve verim grafiği

Yapılan çalışmalar neticesinde düşük güçlerde ileri sürelerde mikrodalganın uygulanabileceği ya da yüksek güçlerde kısa süreli çalışmalar sonucunda optimum değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Grafik ve tablolardan görüleceği üzere 600, 900 ve 1200 wattlarda yapılan çalışmalardan elde edilen optimum sonuçlara göre 900 watt 40 dakikalık sürenin optimum sonuca en uygun olduğu tespit edilmiştir. Optimum sonuca göre yapılan komple analiz değerleri ise çizelge 5.19'da verilmektedir.

Çizelge 5.19 Espey -10 mm düşük tenörlü numunenin mikrodalga çalışmalarında elde edilen optimum sonuç değerleri

Bileşim (%)	Espey - 10 mm Deney Numunesi (%)	900 Watt- 40 dakika mikrodalga deneyleri	
		Konsantre (%)	Artık (%)
B ₂ O ₃	32,62	50,12	11,57
SiO ₂	9,49	4,03	20,90
Al ₂ O ₃	1,72	1,12	4,21
CaO	22,04	32,50	25,60
Fe ₂ O ₃	0,64	0,56	2,46
MgO	5,10	1,67	6,36
K ₂ O	1,00	0,48	1,99
Na ₂ O	0,08	0,02	0,11
SrO	2,31	2,63	1,17
SO ₄	0,08	0,08	0,58
As (ppm)	719,00	353,00	1.155,00
TiO ₂	0,38	0,05	0,40

Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit numunesi ile yapılan optimum deney sonucunda besleme malîtenörü % 32,62 B₂O₃ iken 900 watt 40 dakikalık süre sonucunda % 50,12 B₂O₃ tenörlü konsantre % 86,55 verimle üretilmiştir. Artıktaki B₂O₃ tenörü ise % 11,57'ye düşürülmüştür. Aynı konsantre Fe tenörü yönünden değerlendirildiğinde beslemedeki % 0,64 Fe₂O₃ değeri konsantrede % 0,56 Fe₂O₃'ye düşürülmüştür. Bunun nedeni; Fe₂O₃'ün kil mineralleri içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır [57]. Konsantre arsenik açısından değerlendirilecek olursa beslemede 719 ppm olan arsenik, konsantrede 353 ppm'e kadar düşürülerek satılabilir ürün elde edilmeye çalışılmaktadır. Tesiste üretilen konsantrenin minimum bor tenörü % 42 B₂O₃, arsenik maksimum 500 ppm ve Fe₂O₃ ise maksimum % 0,90 olup, elde edilen konsantre bu özellikleri de sağlayacak niteliktedir.

Bu çalĖmalara g re;

5.2.2.1 Espey -10 mm d k k ten rl  stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonu lara g re belirli tane boyutlar nda yap lan çalĖmalar

Burada elde edilen optimum s caklık ve s re değerlerinden yola çek larak numunenin belirli tane boyutlar nda yap lan çalĖmalar nda elde edilen sonu lar Çizelge 5.20 de verilmektedir.

Çizelge 5.20 Espey -10 mm d k k ten rl  kolemanit numunesinin belirli tane boyutlar nda yap lan mikrodalga çalĖma sonucu elde edilen değerler

Tane Boyutu (mm)	Elde edilen �r�nler	900 Watt - 40 dk. mikrodalga deneyleri		
		AĞ (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+5	Konsantre	68,68	51,67	86,42
	Art�k	31,32	17,80	13,58
	Besleme mal�	100,00	40,64	100,00
-5+1,6	Konsantre	65,95	51,19	84,92
	Art�k	34,05	17,61	15,08
	Besleme mal�	100,00	35,19	100,00
-1,6 +0,5	Konsantre	56,15	50,88	82,06
	Art�k	43,85	14,24	17,94
	Besleme mal�	100,00	24,77	100,00

Çizelge 5.20 den g r lecek i  zere; belirli ten r ve tane boyutu aral klar nda optimum sonuca g re yap lan mikrodalga çalĖmalar  sonucunda; +5 mm numunesinde besleme mal  ten r  % 40,64 B₂O₃ iken, % 51,67 B₂O₃ ten rl  konsantre % 86,42 verimle  retilmektedir. Art ktaki bor ten r  ise % 17,80  d k r lm kt r. -5+1,6 mm de ise besleme mal  ten r  % 35,19 B₂O₃ iken, % 51,19 B₂O₃ ten rl  konsantre % 84,92 verimle  retilmektedir. Art ktaki bor ten r  ise % 17,61  d k r lm kt r. -1,6+0,50 mm de ise besleme mal  ten r  % 24,77 B₂O₃ iken, % 50,88 B₂O₃ ten rl  konsantre % 82,06 verimle  retilmektedir. Art ktaki bor ten r  ise % 14,24  d k r lm kt r. Tane boyut aral Ği k   ld k e ten r ve verimlerde d k  kler meydana gelmektedir. Bunun nedeni ince tanelerde safs zl klar n giderek artmas ndand r.

5.2.2.2 Espey -10 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,50 mm numune ile yapılan çalışmalar

Çalışmalar sırasında 0,50 mm'lik eleğin kullanılmamasından dolayı atılan ve dekrepitasyon yapılmayan kışın optimum sonuçlara göre 0,125 mm'lik elekten elenerek atılan giden numunenin bir kısmının kurtarılmasına çalışılmaktadır. Ancak, çizelgede görüleceği üzere istenilen verimde zenginleşme sağlanamamaktadır.

Çizelge 5.21 Espey -10 mm numunesi 0,50 mm'lik kışmında optimum sonuca göre yapılan mikrodalga çalışması

Espey -10 mm -0,50 mm numunesi	Ağırlık (%)	B₂O₃ (%)	Verim (%)
Elde edilen konsantre	21,50	33,34	40,53
Artık	78,50	13,16	59,47
Besleme malı	100,00	13,52	100,00

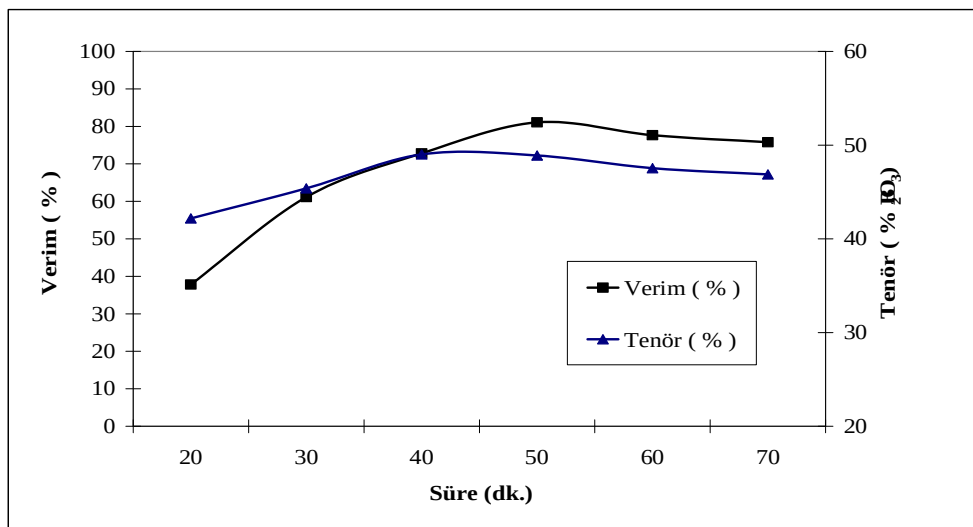
Espey -10 mm -0,50 mm artık numunesini geri kazanmak amacıyla yapılan çalışma sonucunda; besleme malı tenörü % 13,52 B₂O₃ iken, % 33,34 B₂O₃ tenörlü konsantre % 40,53 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 13,16'ya düşürülmüştür. Bu sonuçlarla birlikte elde edilen konsantre ürün tenörü düşük kaldığı için değeri değerlendirilemeyecektir.

5.2.3 Hisarcık -25+3 mm mikrodalga deneysel çalışmalar

Hisarcık -25+3 mm numunesinin 0,50 mm'inin altı atıldıktan sonra, yaklaşık 100'er gr. olarak alınan numuneler değeri iki süre ve (watt) güçlerde mikrodalgaya beslenmiştir. 360 watt'da deneme yapılmamıştır. 600 watt gücünde yapılan denemelerde süre arttıkça kolemanitlerin patlamaya başladıkları tespit edilmiştir. Belli bir süre sonra sinterleşme başlaması ve sinterleşmenin başladığı süreden itibaren belirli aralıklarla numune karıştırılmaktadır. Aynı çalışmalara, 900 ve 1200 watt'da devam edilmekte olup, deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 5.22'de ve grafiklerde verilmektedir.

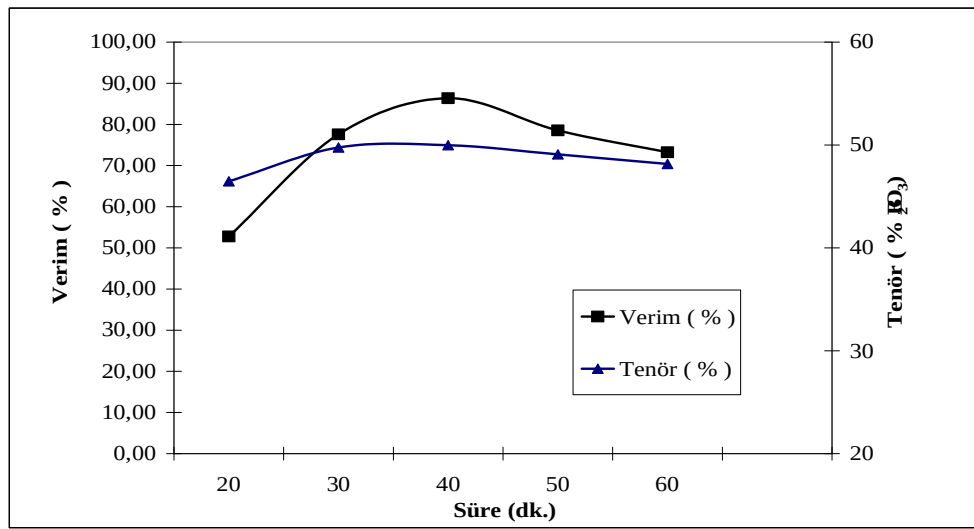
Çizelge 5.22 Hisarcık -25+3 mm numunesinin mikrodalga çalıklar sonucı süre ve güce göre değ iken tenör ve verim değ erleri

Süre (dk)	Elde Edilen Ürünler	600 watt			900 watt			1200 watt		
		Ağ ır lık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Ağ ır lık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Ağ ır lık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Konsantre	26,97	42,18	37,82	42,87	46,47	65,26	53,26	48,85	78,29
	Artık	77,03	24,32	62,18	57,13	18,56	34,74	44,74	16,73	21,71
	Besleme malē	104,00	30,11	100,00	100,00	30,53	100,00	98,00	33,50	100,00
30	Konsantre	40,61	45,38	61,13	48,42	49,76	79,60	49,36	50,61	89,34
	Artık	59,39	19,73	38,87	51,58	11,97	20,40	50,64	13,13	10,66
	Besleme malē	100,00	30,15	100,00	100,00	30,27	100,00	100,00	31,63	100,00
40	Konsantre	48,75	49,01	72,80	53,71	49,98	86,37	49,98	49,94	86,41
	Artık	51,25	17,42	27,20	46,29	9,15	13,63	50,02	12,85	13,59
	Besleme malē	100,00	32,82	100,00	100,00	31,08	100,00	100,00	31,39	100,00
50	Konsantre	54,50	48,90	81,07	50,77	49,09	78,53	56,23	48,50	83,19
	Artık	45,50	13,68	18,93	49,23	13,84	21,47	43,77	12,59	16,81
	Besleme malē	100,00	32,87	100,00	100,00	31,74	100,00	100,00	32,78	100,00
60	Konsantre	52,41	47,54	77,65	47,81	48,15	74,78	-		
	Artık	47,59	15,07	22,35	52,19	14,88	25,22			
	Besleme malē	100,00	32,09	100,00	100,00	30,79	100,00			
70	Konsantre	52,03	46,87	75,79	-			-		
	Artık	48,48	16,07	24,21						
	Besleme malē	100,51	32,18	100,00						
Ham besleme malētenörü		30,27								



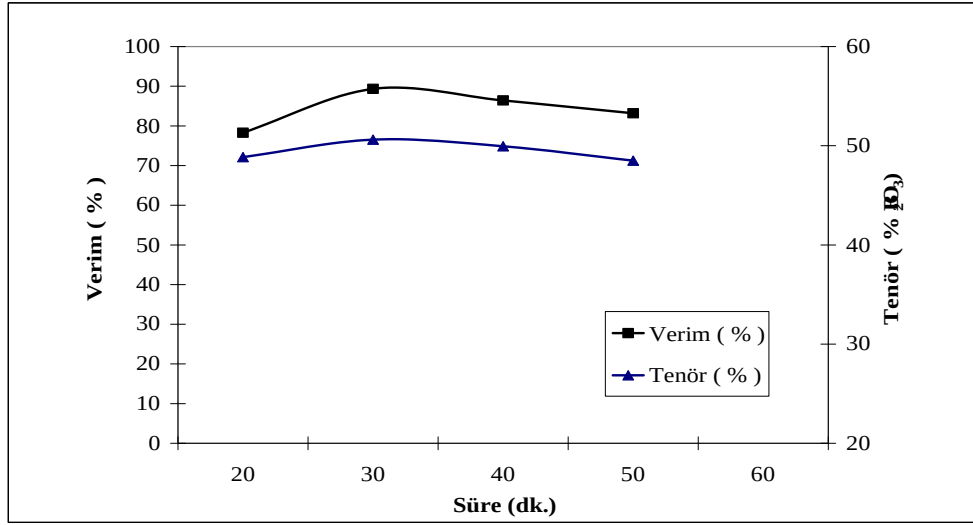
Şekil 5.38 Hisarcık -25+3 mm. düşük tenörlü kolemanit stoşunun 600 w gücünde değ işik sürelerde yapılan mikrodalga çalıklarında elde edilen tenör ve verim grafiğ i

Şekil 5.38'de mikrodalga çalışmalarında süreye bağlı olarak 600 Watt gücünde, 20. dk'da 42,18 B₂O₃ % 37,82 verim ile, 30 dk. sonunda % 45,38 B₂O₃ % 61,13 verimle, 40 dk. sonunda % 49,01 B₂O₃ % 72,80 verimle, 50 dk. sonunda % 48,90 B₂O₃ % 81,07 verimle, 60 dk. sonunda % 47,54 B₂O₃ % 77,65 verimle, 70 dk. sonunda % 46,87 B₂O₃ % 75,79 verim ile kazanılmaktadır. 600 w gücünde en uygun 50. dakikada % 81,07 verimle % 48,90 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



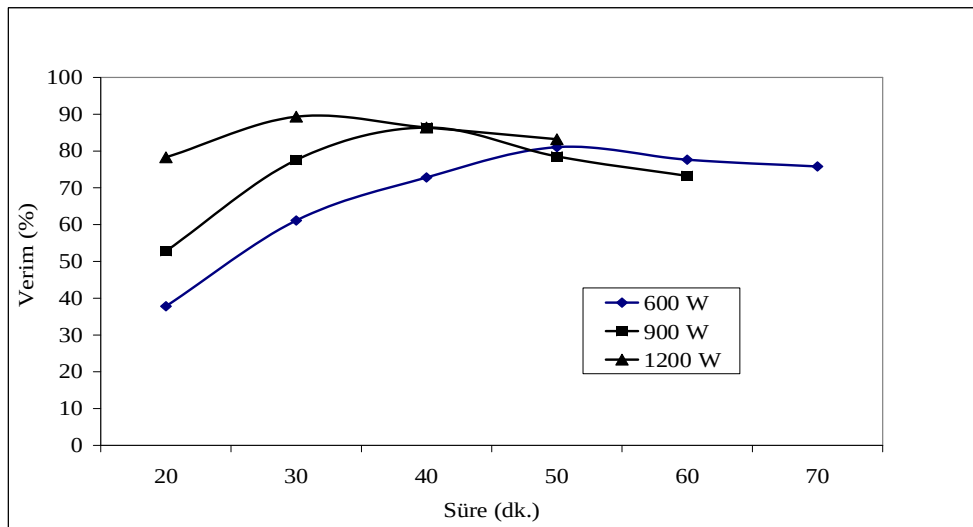
Şekil 5.39 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun 900 w gücünde değişik sürelerde mikrodalga çalışmalarında elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.39'da mikrodalga çalışmalarında süreye bağlı olarak 900 Watt gücünde, 20. dk'da 46,47 B₂O₃ % 65,26 verim ile, 30 dk. sonunda % 49,76 B₂O₃ % 79,60 verimle, 40 dk. sonunda % 49,98 B₂O₃ % 86,37 verimle, 50 dk. sonunda % 49,09 B₂O₃ % 78,53 verimle, 60 dk. sonunda % 48,15 B₂O₃ % 74,78 verim ile kazanılmaktadır. 900 w gücünde en uygun 40. dakikada % 86,37 verimle % 49,98 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmektedir.



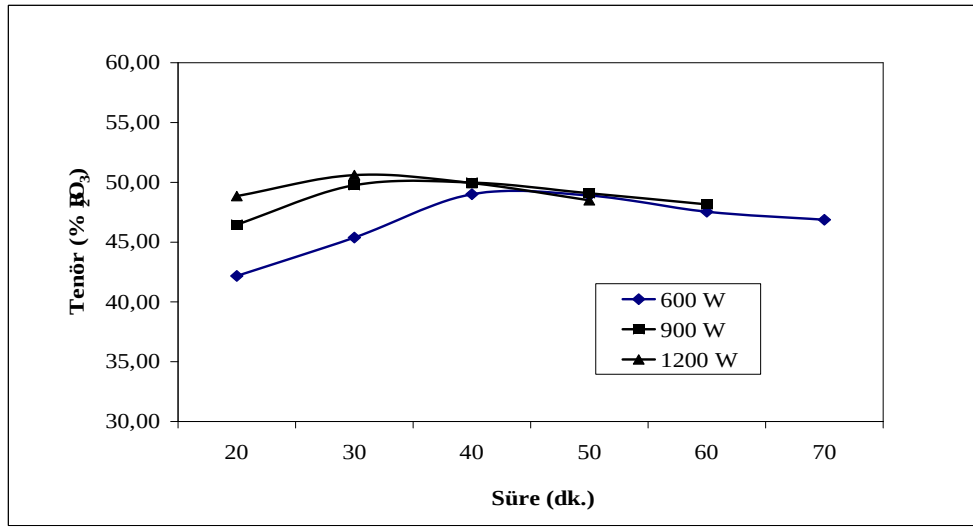
Şekil 5.40 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun 1200 w gücünde değişik sürelerde mikrodalga çalışmalarında elde edilen tenör ve verim grafiği

Şekil 5.40'da mikrodalga çalışmaları sonucunda süreye bağlı olarak 1200 Watt gücünde, 20. dk'da 48,85 B₂O₃ % 78,29 verim ile, 30 dk. sonunda % 50,61 B₂O₃ % 89,34 verimle, 40 dk. sonunda % 49,94 B₂O₃ % 86,41 verimle, 50 dk. sonunda % 48,50 B₂O₃ % 83,19 verim ile kazanılmıştır. 1200 w gücünde en uygun 30. dakikada % 89,34 verimle % 50,61 B₂O₃ tenörlü konsantre ürün elde edilmiştir.



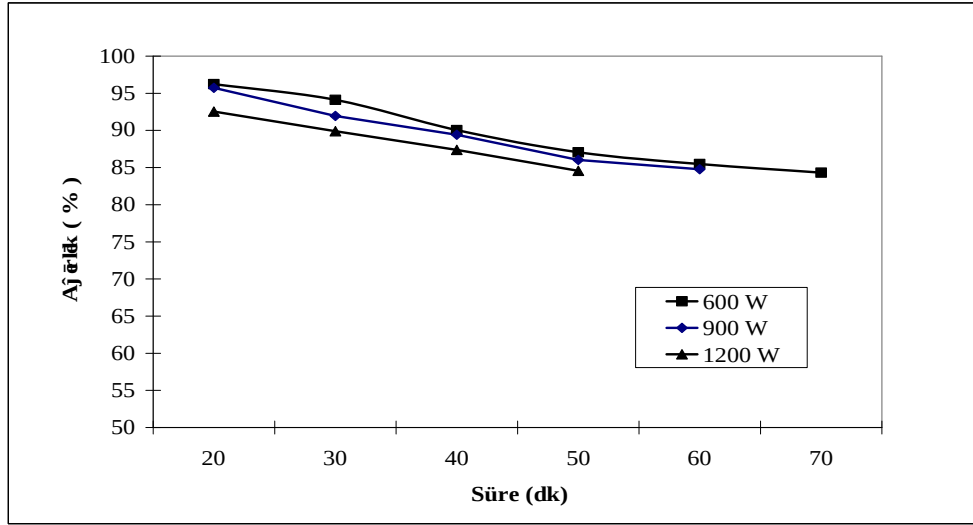
Şekil 5.41 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğuunun süre ve güce göre elde edilen verim değerleri

Şekil 5.41’de mikrodalga çalışmalarında süreye ve watt’a bağlı olarak değişen % verim değerleri incelendiğinde, 20. dakikadan itibaren başlayan çalışmalarda, verim, süreye ve watt gücüne bağlı olarak artmakta olup, 1200 watt 30. dakikadan itibaren, 900 watt 40. dakikadan itibaren ve 600 watt ise 50. dakikadan itibaren düşmeye başlamıştır. 1200 watt 30. dakika sonunda maksimum % 89,34 verime ulaşmıştır.



Şekil 5.42 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre değişen tenör değerleri

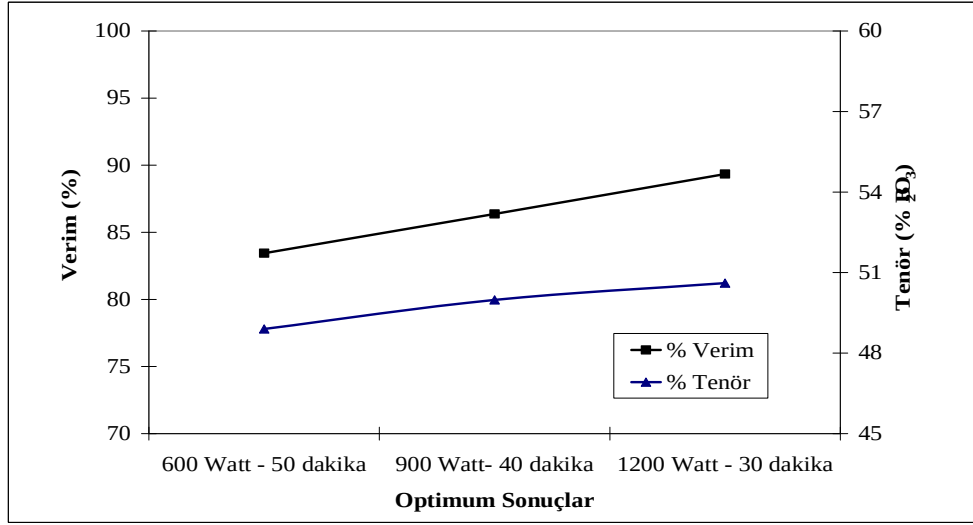
Şekil 5.42’de mikrodalga çalışmalarında süreye ve watt’a bağlı olarak değişen % B_2O_3 değerleri incelendiğinde, 20. dakikadan itibaren başlayan çalışmalarda, tenör süreye ve watt gücüne bağlı olarak artmakta olup, 30. dakikadan itibaren 900 ve 1200 watt güçlerde tenörler düşmeye başlamıştır. 600 watt güçte ise 50. dakikadan itibaren tenörler düşmeye başlamıştır. 1200 watt 30 dakika sonunda % 50,61 B_2O_3 maksimum tenörüne ulaşmıştır.



Şekil 5.43 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun süre ve güce göre değişen % ağırlık grafiği

Şekil 5.43’de mikrodalga deneyleri sonucunda süreye ve watt’a bağlı olarak kütle kaybının giderek fazlaştığı görülmekte olup, 50. dakikadan sonra kütle kaybı miktarlarının aynı seviyelere geldiği görülmektedir. Buradan mikrodalga işleminin tamamlandığı görülmektedir.

Grafik ve tablolardan görüleceği üzere güç arttıkça verim ve % B_2O_3 değerleri daha kısa sürede artmakta olup, 1200 w gücünde 30. dakikada % 89,34 verimle, % 50,61 B_2O_3 tenörüne ulaşılmıştır. 50 dakikadan sonra 1200 Watt’a, 60 dakikadan sonra 900 Watt’a ve 70 dakikadan sonra ise 600 Watt’a akare derecede sinterleşme olduğu undan çalışmalara devam edilememiştir [86].



Şekil 5.44 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğunun değişik güç ve sürelerde mikrodalga çalışmalarında elde edilen optimum tenör ve verim grafiği

Yapılan çalışmalar neticesinde düşük güçlerde ileri sürelerde mikrodalganın uygulanabileceği ya da yüksek güçlerde kısa süreli çalışmalar sonucunda optimum değerlere ulaşılabileceği görülmüştür. Grafik ve tablolardan görüleceği üzere 600, 900 ve 1200 wattlarda yapılan çalışmalardan elde edilen optimum sonuçlara göre 900 watt 40 dakikalık sürede % 49,98 B_2O_3 tenör ve % 86,37 verimle konsantre ürün elde edilmiştir. Optimum sonuca göre yapılan komple analiz değerleri ise Çizelge 5.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.23 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü numunenin mikrodalga çalışmalarında elde edilen optimum sonuç değerleri

Bileşim (%)	Hisarcık -25+ 3 mm Deney Numunesi (%)	900 Watt- 40 dakika mikrodalga deneyleri	
		Konsantre (%)	Artık (%)
B ₂ O ₃	30,27	49,98	9,15
SiO ₂	12,35	3,58	24,20
Al ₂ O ₃	1,54	0,63	4,30
CaO	20,85	35,30	24,80
Fe ₂ O ₃	0,56	0,37	2,04
MgO	5,24	1,48	7,96
K ₂ O	0,71	0,25	2,33
Na ₂ O	0,07	0,03	0,07
SrO	1,66	1,74	1,06
SO ₄	0,18	0,12	0,80
As (ppm)	967,00	580,00	1.380,00
TiO ₂	0,37	0,05	0,39

Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesi ile yapılan optimum deney sonucunda besleme mal tenörü % 30,27 B₂O₃ iken 900 watt 40 dakikalık süre sonucunda % 49,98 B₂O₃ tenörlü konsantre % 86,37 verimle üretilmiştir. Artıktaki B₂O₃ tenörü ise % 9,15'e düşürülmüştür. Aynı konsantre Fe tenörü yönünden değerlendirildiğinde beslemedeki % 0,56 Fe₂O₃ değeri konsantrede % 0,37 Fe₂O₃'e düşürülmüştür. Bunun nedeni; Fe₂O₃'ün kil mineralleri içerisinde bulunmasından kaynaklanmaktadır [57]. Konsantre arsenik açısından değerlendirilecek olursa beslemede 967 ppm olan arsenik, konsantrede 580 ppm'e kadar düşürülerek satılabilir ürün elde edilmeye çalışılmaktadır. Tesiste üretilen konsantrenin minimum bor tenörü % 42 B₂O₃, arsenik maksimum 500 ppm ve Fe₂O₃ ise maksimum % 0,90 olup, elde edilen konsantre bu özellikleri de sağlayacak niteliktedir.

Bu çalāmalara göre;

5.2.3.1 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre belirli tane boyutlarında yapılan çalāmalar

Burada elde edilen optimum sıcaklık ve süre değerlerinden yola çıkılarak numunenin belirli tane boyutlarında yapılan çalāmalarında elde edilen sonuçlar Çizelge 5.24'de verilmektedir.

Çizelge 5.24 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü kolemanit numunesinin belirli tane boyutlarında yapılan mikrodalga çalāma sonucu elde edilen değerler

Tane Boyutu (mm)	Elde Edilen Ürünler	900 Watt - 40 dk. mikrodalga deneyleri		
		Ajālāk (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
+5	Konsantre	65,31	52,64	92,47
	Artık	34,69	9,33	7,53
	Besleme malē	100,00	35,36	100,00
-5+1,6	Konsantre	44,52	47,54	80,62
	Artık	55,48	9,17	19,38
	Besleme malē	100,00	20,76	100,00
-1,6 +0,50	Konsantre	25,19	37,69	60,99
	Artık	74,81	8,12	39,01
	Besleme malē	100,00	12,40	100,00

Çizelge 5.24'den görüleceği üzere; belirli tenör ve tane boyutu aralıklarında optimum sonuca göre yapılan dekrepatasyon çalāmaları sonucunda; +5 mm numunesinde besleme malē tenörü % 35,36 B₂O₃ iken, % 52,64 B₂O₃ tenörlü konsantre % 92,47 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 9,33'e düşürülmüştür. -5+1,6 mm'de ise besleme malē tenörü % 20,76 B₂O₃ iken, % 47,54 B₂O₃ tenörlü konsantre % 80,62 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 9,17'ye düşürülmüştür. -1,6+0,50 mm'de ise besleme malē tenörü % 12,40 B₂O₃ iken, % 37,69 B₂O₃ tenörlü konsantre % 60,99 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 8,12'ye düşürülmüştür. Tane boyut aralığı küçüldükçe tenör ve verimlerde düşümler meydana gelmektedir. Bunun nedeni ince tanelerde safsızlıkların giderek artmasındanadır.

5.2.3.2 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stok numunesinin mikrodalga deneyleri sonucu elde edilen optimum sonuçlara göre atılan -0,500 mm numune ile yapılan çalışmalar

Çalışmalar sırasında 0,50 mm'lik eleğin kullanılmasından dolayı atılan ve dekrepatasyon yapılmayan kışın optimum sonuçlara göre 0,125 mm'lik elekten elenerek atılan giden numunenin bir kısmının kurtarılmasına çalışılmaktadır. Ancak, çizelgede görüleceği üzere istenilen verimde zenginleşme sağlanamamıştır.

Çizelge 5.25 Hisarcık -25+3 mm numunesi 0,50 mm'lik kışında optimum sonuca göre yapılan mikrodalga çalışması

Hisarcık -25+3 mm -0,50 mm Numunesi	Ajartık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Elde edilen konsantre	17,08	29,09	35,24
Artık	82,92	11,01	64,76
Besleme malı	100,00	11,33	100,00

Hisarcık -25+3 mm -0,50 mm artık numunesini geri kazanmak amacıyla yapılan çalışma sonucunda; besleme malıtenörü % 11,33 B₂O₃ iken, % 29,09 B₂O₃ tenörlü konsantre % 35,24 verimle üretilmiştir. Artıktaki bor tenörü ise % 11,33'e düşürülmüştür. Bu sonuçlarla birlikte elde edilen konsantre ürün tenörü düşük kaldığı için değerlendirilemeyecektir.

Çizelge 5.26 Mikrodalga çalışmaları sonucunda oluşan nihai sonuçlar

Numuneler	Besleme Malē		Mikrodalga sonrasē				Verim (%)	Mikrodalga sonrasēelde edilen optimum sonuē
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Miktar (%)		B ₂ O ₃ (%)			
			Konsantre	Artēk	Konsantre	Artēk		
Espey - 3 mm	100	42,74	69,41	30,59	52,78	19,95	85,72	900 Watt - 50 dk.
Espey -10 mm	100	34,61	59,77	40,23	50,12	11,57	86,50	900 Watt - 40 dk.
Hisarcēk +25 -3 mm	100	31,08	53,71	46,29	49,98	9,15	86,37	900 Watt - 40 dk.

Çizelge 5.26'da belirtildiği üzere yapılan mikrodalga çalışmalarında, optimum sonuçlara 900 watt civarında 40-50 dk. arasında ulaşılmıştır. Burada, Espey -3 mm numunesinin tenörü % 52,78 B₂O₃, Espey -10 mm numunesinin tenörü % 50,12 B₂O₃ ve Hisarcık -25+3 mm numunesinin tenörü % 49,98 B₂O₃ olarak elde edilmiştir. Ancak, elde edilen konsantre ürün talebine göre 600 watt ve 1200 watt'ta uygulanabilmektedir.

Fırında ve mikrodalga da yapılan çalışmalar sonucunda her iki dekrepatasyon yönteminin de uygun olduğu belirlenmiştir. Mikrodalgada da numunelerin dekrepatasyona uğradığı ve elde edilen tenör ve verim açısından fırın konsantre ürün değerlerine ulaşabildiği belirlenmiştir. Endüstriyel anlamda halen her iki yöntemde kolemanit cevherlerinde uygulanabilirliği bulunmamaktadır. Ancak, fırın yönteminin uygulayabilirliğinin daha fazla olduğu ve ilk yatırıma yüksek olan mikrodalga yönteminin uygulanmasını kimlik mümkün olmadığı bilinmektedir. Mikrodalga fırından farklı olarak içine konulan ürünün aynı anda tümüne değilde belirli bir kısıma etki etmektedir. Fırında ise malzemenin tümü aynı anda etkilenmektedir. Bu yüzden elde edilen konsantre ürünlerde fırından çıkan konsantreler daha ufalanmış olarak çıkmaktadır. Mikrodalgada ise malzeme bölge bölge etkilendiğinden farklı ve iri boyutlarda ürün almak mümkün gözükmemektedir.

5.3 Manyetik Separatör Çalışmaları

Espey -3 mm, Espey -10 mm ve Hisarcık +25-3 mm numuneleri ile ilgili olarak daha temiz ve yüksek tenörlü ürün elde edebilmek amacıyla manyetik separatörün etkisini ortaya koyabilmek açısından, PERMROLL marka tabii magnetit yüksek alan kitledeli manyetik separatör kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda;

Manyetik separatörün dönük hızı 42 dev/dk., numune besleme miktarı ise 7 gr/dk. olarak alınmıştır. Numuneler 20'er kez separatörden geçirilmiştir. Buna göre;

5.3.1 Espey -3 mm düşük tenörlü stoğu manyetik separatör çalışmaları

Espey -3 mm numunesi belirli tane boyutlarına ayrıştıp, her tane boyutunda manyetik separatöre besleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.27 Espey -3 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu una ait manyetik separatör sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Numune Adı	Ağırlık (%)	Genel Ağırlık (%)	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
-5+3,15	Konsantre	95,44	11,35	10,83	45,02	13,96
	Artık	4,56		0,52	29,36	0,44
	Toplam	100,00		11,35	44,31	
-3,15+1,6	Konsantre	87,86	16,77	14,73	44,54	18,79
	Artık	12,14		2,04	29,04	1,69
	Toplam	100,00		16,77	42,66	
-1,6+0,900	Konsantre	78,04	19,07	14,88	44,11	18,80
	Artık	21,96		4,19	28,12	3,37
	Toplam	100,00		19,07	40,60	
-0,900+0,700	Konsantre	64,58	9,97	6,44	42,90	7,91
	Artık	35,42		3,53	19,20	1,94
	Toplam	100,00		9,97	34,51	
-0,700+0,500	Konsantre	49,80	18,52	9,22	42,59	11,25
	Artık	50,20		9,30	18,47	4,92
	Toplam	100,00		18,52	30,48	
-0,500	Konsantre	28,22	24,32	6,86	41,63	8,18
	Artık	71,78		17,46	17,50	8,75
	Toplam	100,00		24,32	24,31	
TOPLAM			100,00	62,97	43,75	78,89
				37,03	19,91	21,11
				100,00	34,92	100,00

Çizelge 5.27’de görüldüğü üzere yapılan çalışmalarda iri boyutlu tane aralıklarında zenginleşmenin olmadığı en yüksek verim artışı -3,15+1,600 mm tane boyutunda olduğu görülmüştür. Kümülatif olarak ise % 43,75 B₂O₃ tenörüne % 78,89 verimle ulaşılmıştır. Spekt değer olarak istenilen tenöre ulaşma açısından uygun bir yöntem olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

5.3.2 Espey -10 mm düşük tenörlü stoğu manyetik separatör çalışmaları

Espey -10 mm numunesi belirli tane boyutlarına ayrıştıp, her tane boyutunda manyetik separatöre besleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.28 Espey -10 mm düşük tenörlü kolemanit stoğu una ait manyetik separatör sonuçları

Tane Boyutu (mm)	Numune Adı	Ağırlık (%)	Genel Ağırlık (%)	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
-10+5	Konsantre	98,83	22,25	21,99	39,36	31,41
	Artık	1,17		0,26	35,11	0,33
	Toplam	100,00		22,25	39,31	
-5+3,15	Konsantre	94,41	7,15	6,75	35,46	8,69
	Artık	5,59		0,40	16,50	0,24
	Toplam	100,00		7,15	34,40	
-3,15+1,60	Konsantre	90,08	19,79	17,83	34,62	22,40
	Artık	9,92		1,96	15,16	1,08
	Toplam	100,00		19,79	32,69	
-1,60+0,70	Konsantre	62,01	19,83	12,30	33,70	15,04
	Artık	37,99		7,53	13,29	3,63
	Toplam	100,00		19,83	25,95	
-0,70+0,315	Konsantre	28,37	17,50	4,96	32,55	5,86
	Artık	71,63		12,54	12,22	5,56
	Toplam	100,00		17,50	17,99	
-0,315	Konsantre	7,64	13,48	1,03	32,01	1,20
	Artık	92,36		12,45	10,10	4,56
	Toplam	100,00		13,48	11,77	
TOPLAM			100,00	64,86	35,94	84,59
				35,14	12,08	15,41
				100,00	27,56	100,00

Çizelge 5.28’de görüldüğü üzere yapılan çalışmalarda iri boyutlu tane aralıklarında zenginleşmenin olmadığı en yüksek verim artışı -3,15+1,600 mm tane boyutunda olduğu görülmüştür. Kümülatif olarak ise % 35,94 B₂O₃ tenörüne %84,59 verimle ulaşılmıştır. Spektreler olarak istenilen tenöre ulaşma açısından problem bulunmaktadır. Bu yüzden Espey -10 mm’de manyetik separatörlerin ancak bir ön zenginleştirme olarak kullanılabileceği, nihai bir zenginleştirme yapılmadıkça mümkün olmadığı belirlenmiştir.

5.3.3 Hisarcık -25+3 mm düşük tenörlü stoğu manyetik separatör çalışmaları

Hisarcık -25+3 mm numunesi belirli tane boyutlarına ayrıldı, her tane boyutunda manyetik separatöre besleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 5.29’da verilmiştir.

Çizelge 5.29 Hisarcık -25+3 mm. düşük tenörlü kolemanit stoğu una ait manyetik seperatör sonuçları

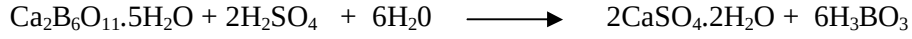
Tane Boyutu (mm)	Numune Adı	Ağırlık (%)	Genel Ağırlık (%)	Ağırlık (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
-25+15	Konsantre	99,75	25,05	24,99	39,13	36,33
	Artık	0,25		0,06	41,95	0,10
	Toplam	100,00		25,05	39,14	
-15+5	Konsantre	99,12	46,00	45,60	28,48	47,29
	Artık	0,88		0,40	21,69	0,28
	Toplam	100,00		46,00	28,42	
-5+3	Konsantre	95,27	4,07	3,88	23,15	3,36
	Artık	4,73		0,19	16,25	0,10
	Toplam	100,00		4,07	22,82	
-3+1,60	Konsantre	78,86	6,85	5,40	16,98	2,96
	Artık	21,14		1,45	14,17	0,75
	Toplam	100,00		6,85	16,39	
-1,60+0,70	Konsantre	38,63	9,53	3,68	14,92	1,97
	Artık	61,37		5,85	12,61	2,89
	Toplam	100,00		9,53	13,50	
-0,70+0,315	Konsantre	19,05	5,72	1,09	13,94	0,57
	Artık	80,95		4,63	12,86	2,15
	Toplam	100,00		5,72	13,07	
-0,315	Konsantre	7,39	2,78	0,21	13,15	0,11
	Artık	92,61		2,57	11,21	1,13
	Toplam	100,00		2,78	11,35	
TOPLAM			100,00	84,84	29,83	92,77
				15,16	13,01	7,23
				100,00	27,28	100,00

Çizelge 5.29'da görüldüğü üzere Hisarcık numunesinde manyetiklik özelliğinin olmadığı yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Kümülatif olarak ise % 29,83 B₂O₃ tenörüne % 92,77 verimle ulaşılmıştır. Ancak, çizelgeden de görüleceği üzere manyetik özellik açısından Hisarcık -25+3 mm numunesinin besleme mal tenörüne yakın bir tenörde olduğuundan dolayı Manyetik seperatörle zenginleştirmeye uygun olmadığı görülmüştür.

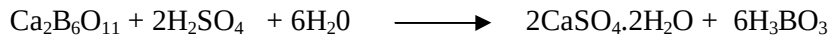
5.4 Optimum Sonuçlarla Elde Edilen Konsantre Ürünlerin Borik Asit Yapısında Kullanılma ve Etkileri

Espey -3 mm, Espey -10 mm ve Hisarcık -25+3 mm numuneleri ile yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen konsantre ürünlerin tenörleri % 50 B₂O₃'ün üzerinde olmasından dolayı

Borik Asit tenörü olan % 56,25 B₂O₃ tenörüne çok yaklaşımdır. Aşağıda Konsantre Kolemanitten Borik Asit üretimi için verilen formüle göre;



oranında borik asit elde edilmesine rağmen, nihai ürün olarak alınan kolemanit konsantrelerinde formül değişmektedir. Burada bulunan 5 mol suyunu kaybeden numunelerin kimyasal formülü şu şekilde olmaktadır.



Çalışmalarda kullanılacak numune miktarlarına Emet Bor İşletme Müdürlüğü Borik Asit tesisinde kullanılan konsantrasyon oranlarına göre ayarlamak için, 5 gr. Optimum sonuçlara göre elde edilen numune, 4 ml H₂SO₄ ve 40 ml su kullanarak yapılan konsantrasyon oranlarında artma meydana gelmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.30'da verilmektedir.

Çizelge 5.30 Optimum sonuçlara göre elde edilen numunelere ait H₃BO₃ (gr/lt) konsantrasyon oranı

Numune Adı	Tane Boyutu (mm)	Besleme Malı Konsantrasyon oranı (g/lt)	Dekrepitasyona uğramak	
			Fırın (g/lt)	Mikrodalgada (g/lt)
Espey - 3 mm	+3,15	75,64	117,42	114,95
	-3,15+1,12	71,19	100,73	100,12
	-1,12+0,50	68,10	97,64	94,55
Espey i 10 mm	+5	63,28	96,41	87,76
	-5+1,6	60,31	82,81	76,32
	-1,6+0,50	57,10	76,86	68,10
Hisarcık -25+3 mm	+5	55,02	81,58	79,10
	-5-1,6	51,91	72,45	71,69
	1,6-0,50	48,20	64,27	63,65
Fabrikaya beslenen konsantre			70,89	

Çizelge 5.30'dan elde edilen sonuçlara göre besleme malı tesise beslenen ürün ve optimum sonuçlarla borik asit üretimi yapılmaktadır. Yapılan borik asit H₃BO₃ (gr/lt) konsantrasyonuna göre elde edilen dekrepite ürünlerde konsantrasyon oranı Espey -3 mm numune +3,15 mm'de 75,65 g/lt'den, fırında 117,42 g/lt'ye mikrodalgada ise 114,95 g/lt'ye, -3,15+1,12 mm'de 71,19 g/lt'den, fırında 100,73 g/lt'ye mikrodalgada ise 100,12 g/lt'ye,

1,12+0,50 mm'de 68,10 g/lt'den, f'ında 97,64 g/lt'ye mikrodalgada ise 94,54 g/lt'ye yükselmiktir. Espey -10 mm +5 mm'de 63,28 g/lt'den, f'ında 96,41 g/lt'ye mikrodalgada ise 87,76 g/lt'ye, -5+1,6 mm'de 60,31 g/lt'den, f'ında 82,81 g/lt'ye mikrodalgada ise 76,32 g/lt'ye, -1,6+0,50 mm'de 57,10 g/lt'den, f'ında 76,86 g/lt'ye mikrodalgada ise 68,10 g/lt'ye yükselmiktir. Hisarcık -25+3 mm +5 mm'de 55,02 g/lt'den, f'ında 81,58 g/lt'ye mikrodalgada ise 79,10 g/lt'ye, -5+1,6 mm'de 51,91 g/lt'den, f'ında 72,45 g/lt'ye mikrodalgada ise 71,69 g/lt'ye, +1,6-0,50 mm'de 48,20 g/lt'den, f'ında 64,27 g/lt'ye mikrodalgada ise 63,65 g/lt'ye yükseltilmiştir. Aynı kokullarda yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek tenörlü ürünlerin beslenmesi durumunda kullanılacak sülfürik asit miktarının azalacağı ayrıca kil ve diğer empürilerden kaynaklanan problemlerin giderilebileceği tespit edilmiştir.

Bunlara ilaveten, fabrikaya beslenen numuneye göre çözünmenin kısa zamanda ve çözeltinin daha berrak şekilde olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen Espey -3 mm, Espey -10 mm ve Hisarcık -25+3 mm numunelerinin konsantrasyon değerlerinin fabrika kokullarına sağladığı tespit edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucunda; Emet Bor K işletme Müdürlüğü stoklarında bulunan 100.000 ton üzerindeki değerlendirilemeyen stokların kuru yöntemlerle zenginleştirilebilmesi amacıyla her stok için belirli parametrelerde özellikle yeni bir zenginleştirme yöntemi olabilecek mikrodalga fırın uygulanmıştır.

Stok sahalarından alınan Espey -3 mm, Espey -10 mm ve Hisarcık -25+3 mm numuneleri Emet Bor K işletme Müdürlüğü laboratuvarına getirilerek fiziksel, kimyasal, minerolojik ve ışıanalizlerine tabi tutulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda;

Espey -3 mm numunesinin B_2O_3 tenörü % 35,64, Espey -10 mm numunesinin B_2O_3 tenörü % 28,87, Hisarcık -25+3 mm numunesinin B_2O_3 tenörü % 29,57 olarak tesbit edilmektedir.

Numunelerin düşük tenörlü olmasından dolayı içeriğindeki kil miktarı fazladır. Yapılan dekrepitasyon ve mikrodalga çalışmalarında kolemanitin ısıtılma zamanı içerisindeki 5 mol suyu kaybetmesi sırasında patlayarak ufalanması killerin ise ufalanmaması özelliğinden yararlanılarak, tespit edilen tane boyutundan elenmesiyle konsantre ve artık olarak alınmıştır.

1 mm ve 0,5 mm'lik elekler kullanılarak yapılan ön deneyler sonucunda 0,5 mm'lik eleğin uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında kullanılan her stok numunesi 0,5 mm'lik elekten elenmiş ve elek altı boyutu optimum deney sonuçlarına göre tekrar değerlendirilmek amacıyla ayrı bir yere stoklanmıştır. Numuneler 0,5 mm'lik elekten elendikten sonra elde edilen % B_2O_3 tenörleri, Espey -3 mm numunesinde %35,64'ten % 38,99'a, Espey -10 mm numunesinde % 28,87'den % 32,62 ve Hisarcık -25+3 mm numunesinde % 29,57'den % 30,27'ye yükselmiştir.

Deneylere tabi tutulan numunelerin temsili olabilmesi için kontrollü olarak -3 mm'nin altına indirilmesi sağlanmıştır. Yaklaşık 100'er gr. olarak alınan numuneler, kapalı kaplarda fırına koyulmuş ve değişik sıcaklık (400, 450, 500, 550, 600, 650 °C) ile süre (10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dk.) lerde dekrepitasyona tabi tutulmuştur.

Yapılan dekrepitasyon çalışmalarının sonucunda, kısa sürelerde sıcaklık arttıkça tenör ve verim artmış, ancak uzun sürelerde sıcaklık arttıkça tenör ve verimde düşümler gözlemlenmiştir. Sıcaklık arttıkça maliyetin artmasından dolayı düşük sıcaklık ve biraz daha uzun sürelerin uygun olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; Espey -3 mm numunesinde optimum sonuç olarak 450 °C de 40 dakika dekrepitasyon süresi sonunda konsantre % 53,82 B_2O_3 tenör ve % 90,05

verim ile elde edilmektedir. Espey -10 mm numunesinde ise optimum sonuç olarak 450 °C de 40 dakika dekrepitasyon süresi sonunda konsantre % 51,24 B₂O₃ tenör ve % 83,21 verim ile elde edilmektedir. Son olarak, Hisarcık -25+3 mm numunesinde optimum sonuç olarak 450 °C de 50 dakika dekrepitasyon süresi sonunda konsantre % 53,06 B₂O₃ tenör ve % 89,68 verim ile elde edilmektedir. Yapılan dekrepitasyon çalışmalarında üç numunenin de hemen hemen aynı kartlara sağladığı görülmektedir. Ayrıca, diferansiyel termal analiz (DTA) cihazında yapılan analizlerden görüldüğü üzere 386 °C'de kristal suyunu kaybetmeye başlayan numuneler için optimum dekrepitasyon sıcaklığı 450 °C olduğu ve 40-50 dakikalık süresinde endüstriyel anlamda uygulanabileceği önerilmektedir. Ekonomik anlamda yapılacak değerlendirmeler sonucunda en uygun verim ve tenöre ulaşılabilecektir.

Dekrepitasyon çalışmalarında sonuçta fırın için önerilen akın keması şekil 6.1'de gösterilmektedir.

Mikrodalga deneylerinde ise yapılan çalışmalar sonucunda zenginleştirmenin yapılabilişini ortaya konmuştur. Mikrodalga fırınlar madencilikte genellikle ya ön ıklem ya da kurutma amacıyla kullanılmaktadır. Ancak, burada mikrodalga fırın ile yapılan denemeler sonucunda mikrodalgalarda da bor minerallerinin zenginleştirilebileceği tespit edilmektedir. Mikrodalga çalışmalarında sonuçta çekitli güç (600 w, 900 w ve 1200 w) ve sürelerde (20, 30, 40, 50, 60 ve 70 dk.) yapılan çalışmalarda optimum sonuçlar tespit edilmektedir. Buna göre; Espey -3 mm numunesinde optimum sonuç olarak 900 watt'ta 50 dakika sonucunda konsantre % 52,78 B₂O₃ tenör ve % 85,72 verim ile elde edilmektedir. Espey -10 mm numunesinde ise optimum sonuç olarak 900 Watt'ta 40 dakika mikrodalga süresi sonunda konsantre % 50,12 B₂O₃ tenör ve % 86,50 verim ile üretilmiştir. Son olarak, Hisarcık -25+3 mm numunesinde, optimum sonuç olarak 900 Watt'ta 40 dakika mikrodalgaya maruz kalması sonunda, konsantre % 49,98 B₂O₃ tenör ve % 86,37 verim ile üretilmiştir. Yapılan mikrodalga çalışmalarında üç numunenin de aynı kartlara sağladığı görülmekte olup, mikrodalgada da zenginleştirme yapılabileceği tespit edilmektedir.

Mikrodalga ve fırında yapılan dekrepitasyon çalışmalarında % 50 B₂O₃ tenör ve % 80'in üzerinde verim elde edilmektedir. Her iki yönteminde avantaj ve dezavantajları göz önüne alındığında, teknolojinin yeni ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sebeplerinden dolayı mikrodalga yerine fırın kullanılması daha avantajlı görülmektedir.

Mikrodalga fırın çalışmalarında sonuçta önerilen akın keması ise şekil 6.2'de gösterilmektedir.

Optimum sonuçların belirlenmesine müteakip aynı numunelerin çeşitli tane boyutlarına göre de, fırında Espey numuneleri için 450 °C ve 40 dakika, Hisarcık numunesi için ise 450 °C ve 50 dakikada deneme çalışmalarına yapılmıştır. Buna göre;

Espey i 3 mm dekrepitasyon çalışmalarında; +3,15 mm'de % 54,61 B₂O₃ tenör ve % 89,11 verime, -3,15+1,12 mm'de % 52,21 B₂O₃ tenör ve % 88,34 verime, -1,12+0,500 mm'de ise % 50,24 B₂O₃ tenör ve % 86,30 verime ulaşılmıştır.

Espey i 10 mm dekrepitasyon çalışmalarında; +5 mm'de % 53,32 B₂O₃ tenör ve % 87,81 verime, -5+1,600 mm'de % 52,23 B₂O₃ tenör ve % 86,75 verime, -1,600+0,500 mm'de ise % 50,60 B₂O₃ tenör ve % 76,69 verime ulaşılmıştır.

Hisarcık i 25+3 mm dekrepitasyon çalışmalarında; +5 mm'de % 53,83 B₂O₃ tenör ve % 92,47 verime, -5+1,600 mm'de % 47,98 B₂O₃ tenör ve % 81,82 verime, -1,600+0,500 mm'de ise % 39,05 B₂O₃ tenör ve % 60,99 verime ulaşılmıştır.

Ayrıca, çalışmalarda artık olarak değerlendirilen -0,500 mm numuneleri, 0,125 mm'dik elekten elendikten sonra optimum kartlarda (450 °C ve 40 ve 50 dk.) tekrar denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Espey -3 mm'de % 46,67 B₂O₃ tenör ve % 40,93 verime, Espey -10 mm'de % 34,04 B₂O₃ tenör ve % 40,97 verime, Hisarcık -25+3 mm'de % 28,53 B₂O₃ tenör ve % 37,14 verime ulaşılmıştır.

Optimum sonuçların belirlenmesine müteakip aynı numunelerin çeşitli tane boyutlarına ayrılarakta, mikrodalga fırında 900 Watt ve 40 ve 50 dakikada deneme çalışmalarına yapılmıştır. Buna göre;

Espey i 3 mm mikrodalga çalışmalarında; +3,15 mm'de % 53,52 B₂O₃ tenör ve % 87,06 verime, -3,15+1,12 mm'de % 51,74 B₂O₃ tenör ve % 86,70 verime, -1,12+0,500 mm'de ise % 50,37 B₂O₃ tenör ve % 84,18 verime ulaşılmıştır.

Espey i 10 mm mikrodalga çalışmalarında.; +5 mm'de % 51,67 B₂O₃ tenör ve % 86,42 verime, -5+1,600 mm'de % 51,19 B₂O₃ tenör ve % 84,92 verime, -1,600+0,500 mm'de ise % 50,88 B₂O₃ tenör ve % 82,06 verime ulaşılmıştır.

Hisarcık i 25+3 mm mikrodalga çalışmalarında; +5 mm'de % 52,64 B₂O₃ tenör ve % 92,47 verime, -5+1,600 mm'de % 47,54 B₂O₃ tenör ve % 80,62 verime, -1,600+0,500 mm'de ise % 37,69 B₂O₃ tenör ve % 60,99 verime ulaşılmıştır.

Ayrıca, çalışmalarda artık olarak değerlendirilen -0,500 mm numuneleri, 0,125 mm'dik elekten elendikten sonra optimum kartlarda (900 watt ve 40 ve 50 dk.) tekrar denenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre; Espey -3 mm'de % 46,67 B₂O₃ tenör ve % 40,93 verime, Espey -10 mm'de % 34,04 B₂O₃ tenör ve % 40,97 verime, Hisarcık -25+3 mm'de % 29,09 B₂O₃ tenör ve % 35,24 verime ulaşılmıştır.

Çalışmalardan da görüleceği üzere ince boyutlarda yapılan dekrepitasyon ve mikrodalga çalışmalarında istenilen düzeyde aydın gerçekleştirilememiştir.

Bunun dışında; her üç numune için, mikrodalga yada yüksek frekanslarda yapılacak tesislere daha temiz ve yüksek tenörlü ürün verebilmek amacıyla manyetik separatörün etkisi araştırılmak, bu amaçla PERMROLL marka tabii manganatlı yüksek alan kitledeli manyetik separatör kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda;

Manyetik separatörün dönük hızı 42 dev/dk., numune besleme miktarı ise 7 gr/dk. olarak alınmıştır. Numuneler 20'er kez separatörden geçirilmiştir.

Buna göre;

Yapılan çalışmalarda Espey -3 mm'de iri boyutlu tane aralıklarında zenginleşmenin olmadığı en yüksek verim artışı -3,15+1,600 mm tane boyutunda olduğu görülmüştür. Kümülatif olarak ise % 43,75 B₂O₃ tenörüne % 78,89 verimle ulaşılmıştır. Spektreler olarak istenilen tenöre ulaşma açısından uygun bir yöntem olarak kullanılabilirliği görülmüştür.

Espey -10 mm'de yapılan çalışmalarda ise iri boyutlu tane aralıklarında zenginleşmenin olmadığı en yüksek verim artışı -3,15+1,600 mm tane boyutunda olduğu görülmüştür. Kümülatif olarak ise % 35,94 B₂O₃ tenörüne % 84,59 verimle ulaşılmıştır. Spektreler olarak istenilen tenöre ulaşamamıştır. Bu yüzden, Espey -10 mm'de manyetik separatörlerin ancak bir ön zenginleştirme olarak kullanılabileceği, nihai bir zenginleştirme yapılmadığı mümkün olmadığı belirlenmiştir.

Hisarcık numunesinde manyetizasyon özelliğinin olmadığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Kümülatif olarak ise % 27,87 B₂O₃ tenörüne % 92,60 verimle ulaşılmıştır. Ancak, çizelgeden de görüleceği üzere manyetik özellik açısından Hisarcık -25+3 mm numunesinin besleme malı tenörüne yakın bir tenörde olduğundan dolayı Manyetik separatörle zenginleştirmeye uygun olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak;

1- Dekrepitasyon ve Mikrodalga çalışmalarında düşük tenörlü numunelerin zenginleştirilmesi sonucu istenilen tenörlere ulaşılmıştır. Mikrodalga yönteminin endüstriyel alanda uygulamaya konulması çalışmalarına baklanmalı ve yöntemin avantajlarından yararlanılmalıdır.

2- Yapılan çalışmalar sonucunda stok yer ve maliyeti açısından büyük engel tekil eden stoklar optimum bir şekilde değerlendirilerek Türkiye ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.

3- Tespit edilen mikrodalga yöntemi sayesinde yak yöntemlerin getirdiği olumsuzluklar ortadan kalkacak ve yeni artık barajı ihtiyacı olmayacaktır.

4- Yapılan dekrepitasyon ve mikrodalga çalışmalarında her numunenin tespit edilen sıcaklık, güç (watt) ve sürelerde zenginleştirilebileceği, elde edilen konsantrelerin ise tenörlerinin % 50 B_2O_3 'ün üzerinde olmasından dolayı ikame olarak borik asitin yerine satılabileceği ya da kullanılabileceği, veya borik asitin içine belirli bir oranda katılarak yeni bir ürün portföyü oluşturulabileceği gündeme gelebilecektir.

5- Borik Asit üretiminde kullanılan besleme malı tesise beslenen ürün ve optimum sonuçlar ile elde edilen yüksek tenörlü ürünlerle yapılan borik asit üretimlerinde çözeltideki H_3BO_3 (gr/lt) konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir. Buna göre; daha yüksek tenörlü ürünlerin beslenmesi durumunda kullanılacak sülfürik asit miktarının azalacağı ayrıca kil ve diğer empüritelerden kaynaklanan problemlerin giderilebileceği görülmüştür. Ayrıca, çözünmenin kısa zamanda olduğu ve çözeltinin berrak şekilde olduğu, yapılan çalışmalar sırasında tespit edilmiştir.

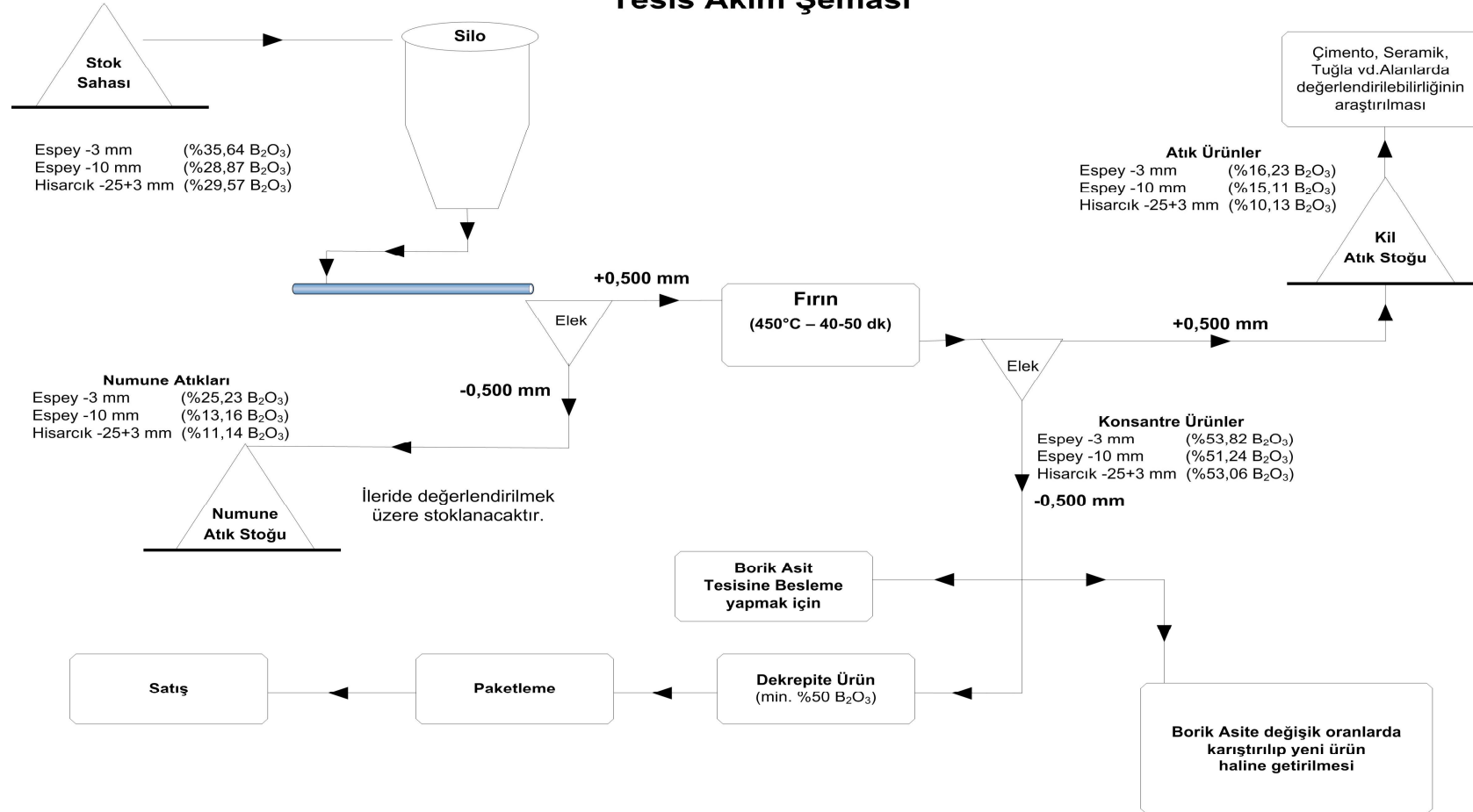
7- Artık olarak elde edilen ürünler ise baktı çimento, seramik ve tuğla sanayi olmak üzere diğer alanlarda kullanılabilecektir.

8- Tesisler için önerilen akım kemaları paralel yada seri şekilde de kullanılabilecek ve uygun olacak optimum tesis kartları belirlenecektir.

9- Ayrıca, mevcut bulunan stoklarda hiçbir şekilde üretim maliyeti, işletme maliyeti olmayacak ve elde edilen konsantre ürünler direkt olarak Borik Asit üretilmesi için tesise beslenebilecektir.

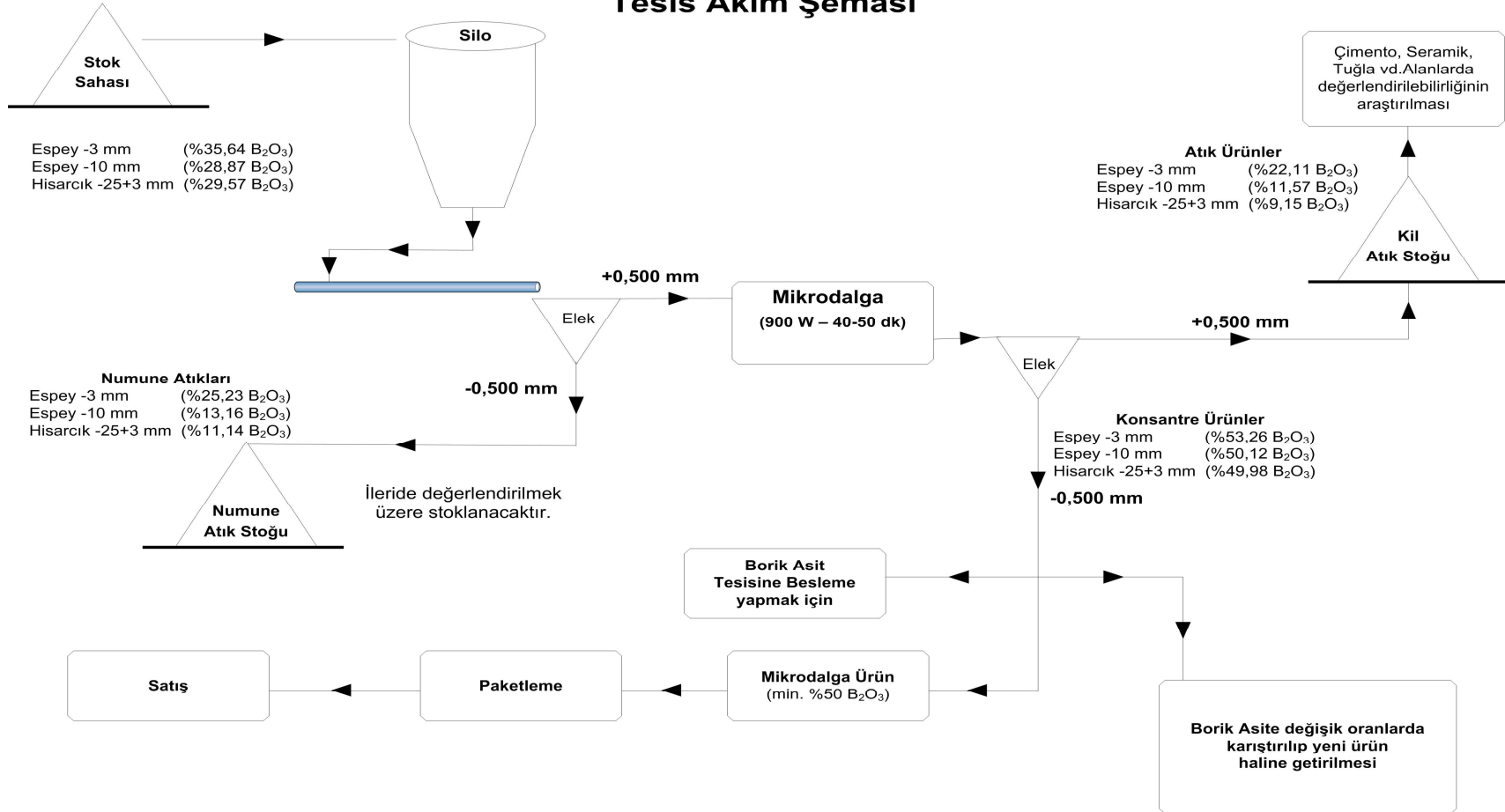
10- Elde edilecek konsantre ürünler tesisten çıktıktan sonra dekrepite veya mikrodalga ürün olarak paketlenip satışa hazır hale getirilebilecektir.

Dekrepitasyon (Fırın) için Önerilen Tesis Akım Şeması



Şekil 6.1 Dekrepitasyon (fırın) için önerilen akış şeması

Dekrepitasyon (Mikrodalga) için Önerilen Tesis Akım Şeması



Şekil 6.2 Dekrepitasyon (mikrodalga) için önerilen akım keması

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Yıldız, S., 2008, Emet Bor Kırılması Hisarcık Konsantratör Artıklarının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, Haziran.
- [2] Eti Maden Kırılmaları Genel Müdürlüğü, www.etimaden.gov.tr
- [3] Aykul, Ö., 2008, Eti Bor Emet-Hisarcık Kolemanit Artıklarının Dekrepatasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, DPÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, Ekim.
- [4] Eti Maden Kırılmaları Genel Müdürlüğü 2010 Yıllık Bor Sektör Raporu, 2011.
- [5] Poslu, K. ve Arslan, K. H., 1995, Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB MMO, Edt: Köse, Kadir Kırmir, Türkiye, s: 33-42
- [6] 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, Kırmir, Türkiye, s:18-27
- [7] Alp, M. S., Tanrıverdi, M., Kahraman, B., Batar T., 1995, Bor Minerallerinin ve Ürünlerinin Pazarlanma Koşulları Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Kırmir, Türkiye, 21-22 Nisan.
- [8] Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı 2002, Emet Bor Kırılması Hisarcık Eski Artık Barajının Bakılması ve Barajdaki Malzemenin Değerlendirilmesi, Kütahya, Türkiye, Ağustos.
- [9] Yamaç, A., Uçar, A., Demir, U., 2004, Emet Espey konsantratörü -25 mm bor artıklarının Hidrosiklon ile zenginleştirilmesi, DPÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye 23-25 Eylül.
- [10] Savaş, M., 1994, Eti Bank Emet Kolemanit Kırılması gölet artıklarının zenginleştirilme olanaklarının araştırılması O.G.Ü. M.M.F. Yüksek Lisans Tezi Eskişehir 1994, 106 s.
- [11] Kaya, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., 2001, Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve ekonomisi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Kırmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [12] Kaya, A.M., 2004, Bor madeninin Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 23-25 Eylül.
- [13] DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri ÇİT II, Bor Tuzları Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum, Çalışma Grubu Raporu Ankara, Türkiye.
- [14] www.kimyamuhendisi.com

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [15] Özkan, K.G., Çebi, H., Delice, S. ve Doğan, M., 1997, Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madencilik, II. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir.
- [16] Alma, M, Hakkı, Acemioğlu, B., 2001, Türkiye'nin Bor Kaynakları Kullanılan Yerleri ve Orman Ürünleri Endüstrisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Cilt IV. Sayı 2, Kahramanmaraş:62-72
- [17] Boncuoğlu, R., Yılmaz, M. T., Kocakerim, M. M. ve Tosunoğlu, V., 2002, Utilization of borogypsum as set Retarder in Portland Cement Production, Cement and Concrete Research, p: 471-475.
- [18] Erdoğan, Y., Zeybek M.S. ve Demirbağ, A., 1998, Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes, Cement and Concrete Research, p: 605-609.
- [19] BOR LTD. www.boraxtr.com
- [20] Alonso, R.N. ve Helvacı C., Mining and Concentration of Borates in Argentina.
- [21] Kekoğlu Ü. ve Polat M., 1987, Bor Endüstrisine Genel Bakış, Madencilik Dergisi TMMOB Maden Mühendisleri Odası cilt:26 sayı1 Ankara s:5-16
- [22] Helvacı C., 2004, Türkiye Borat Yatakları Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, Mayıs.
- [23] Akyol, E. ve Akgün, F., 1990, Bigadiç, Kestelek, Emet ve Kırka Boratlı Neojen Tortulların Palinolojisi, MTA Dergisi 111, S:165-173
- [24] Arslan, H., 2002, Emet Bor Tesisinin Jeolojisi ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Lisans Tezi, DPÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, Haziran.
- [25] Koca, M., 2007, Emet Kolemanit Konsantratör -3 mm Artıklarından Kalsinasyon Ve Briketleme ile Satılabilir Ürün Eldesinin Araştırılması D.P.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- [26] Çebi, H., Delice, S., Poslu, K. ve Demircan, E., 1996, A New Approach to Borax Pentahydrate Production, Changing Scopes in Mineral Processing, Rotterdam.
- [27] Öztürk, N., Onal, G. ve Doğan, M.Z., 1998, Comparison of new processing methods in the evaluation of Kırka tincal ore, Innovations in Mineral and Coal Processing, Balkema, Rotterdam.
- [28] Demircioğlu, A., Kolemanitten boraks elde edilmesi konusunda bir etüd. M.T.A. Enstitüsü, Ankara.
- [29] Ceyhan, A. A. ve Bulutcu, A.N. 2005, Kolemanitten Borik Asit Üretiminde H₂SO₄ Konsantrasyonunun Filtrasyon Üzerine Etkisi, I. Bor Çalıştay Bildiriler Kitabı 28-29 Nisan, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [30] Okur, E., Çelik M.S. ve Önal, G., 1993, Kolemanit Tane Boyutunun Borik Asit Üretimine Etkisi, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, Türkiye.
- [31] Emet Bor İşletme Müdürlüğü Tanımlama Dosyası 2010, Emet, Kütahya.
- [32] Yılmaz, O., 2006, Balıkesir-Bigadiç Bor Artıklarının Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, Türkiye, Ekim.
- [33] Kocakukak, S., Koral, M., Köroğlu, H.J., Savakç O.T. ve Tolun, R., 1996, Effect of Temperature On Anhydrous Borax Compaction, Changing Scopes in Mineral Processing, Balkema. Rotterdam S:377-381
- [34] Özkan, K.G. ve Veasey T.J., 1996 , Effect of Simultaneous Ultrasonik Treatment on Colemanite Flotation, 6th International Mineral Processing Symposium , ed. Kemal, Arslan, Akar, Canbazolu, İzmir, Türkiye , s:277-281
- [35] Özkan, K.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997, Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madencilik, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [36] Akar, A., Mordoğan, H., Kemal, M., Batar, T., Kahraman, B., ve Helvacı C., 2005, Bor Cevherlerine Uygulanan Isıl İşlemler, 1.Ulusal Bor Çalıştay Bildiriler Kitabı, Gebze, S:209-216
- [37] Gülgönül, K., Özdemir, O., Mart, U. ve Çelik, M.S., Üleksitin Anyonik Rotasyonunda İşletim Etkileşim Mekanizması
- [38] Delice, S., Özkan, K.G. ve İpekoğlu, Ü., 1996, Investigation of tailings disposal problems of Etibank Bigadic Mines, Changing Scopes in Mineral Processing, Balkema, Rotterdam.
- [39] Delice, S., Özkan, K.G. ve İpekoğlu, Ü., 1998, Calculation of thickener dimensions for ulexite tailings from Eti-Holding's Bigadiç Concentrator, Innovations in Mineral and Coal Processing, Balkema, Rotterdam.
- [40] Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savak, M., 1997, Ses Ötesi Dalgaların Kolemanit Artıklarının Zenginleştirilmesinde Kullanılmasının Araştırılması 15. Madencilik Kongresi, Türkiye.
- [41] Gürpınar, G., 2007, Ses Ötesi Dalgaların Cevher Zenginleştirmede Kullanılabilirliğinin Araştırılması Doktora Tezi, OGU Maden Mühendisliği, Eskişehir.
- [42] Alp, K., Deveci, H. ve Özdağ, H., 2004, Processing Tincal Ores using Ultrasonic Waves, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eylül, Eskişehir.
- [43] Mergen, A., Demirhan, H., Bilen, M., Cebi, H. ve Gündüz, M., 2001, Tinkalden Borik Asit Üretimi, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi,
- [44] Bilici, M.S. Uğur, Karakoç, G., Akçin, H., Doğan, A., (Ankara-2000) : Kestelek konsantratör tesisi ara ürün stokları B_2O_3 içeriklerinin iyileştirilmesi çalışması

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [45] Kener, S. ve Özbayoğlu, G., 1992, Determination of Calcination Parameters of Ulexite and Possibility of Separation from Colemanite, 4. International Mineral Processing Symposium, edit Özbayoğlu, G., Antalya, Türkiye, s:538-547
- [46] Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M., ve Öztoprakçı M., 1996, Emet Konsantratör Artık Barajındaki Arsenik ve Kolemanitleri Seçimli Olarak Kazanma İhtimalleri
- [47] Sönmez E., 1991, İskenderli Tinkal Cevheri ve Konsantresinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 108 s.
- [48] Çebi, H., Özkan, K.G., Demircan, E. ve Mordoğan H., 1997, Kırıkda Üretilen Tinkal Kaba Konsantrenin İncelenmesi, Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Edit: Güyağüler, Ersayın, Bilgen s: 311-318
- [49] Bentli, K., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., 2002, Bor Artıklar ve Değerlendirme Stratejileri, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, Türkiye
- [50] Gül, A., Kaytaş, Y. ve Önal, G., 2004, Beneficiation of Bigadiç (Turkey) Boron Tailings, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, Çekme, Türkiye.
- [51] Ediz, N., Bentli, K., Tatar, K. ve Ceylan, T., 2004, Kestelek Bor İncelenmesi -3mm Klasifikatör Çökeni Ürünün Farklı Pervaneli Dağıtımlarda Zenginleştirilmesi, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, edit: Özdağ, H., Akdağ, H., Bozkurt, V., İnar, M., Eskişehir, Türkiye, s:93-98
- [52] Doğan, M.Z., Kaytaş, Y., Önal, G., Perek, K.T., 1997, Bigadiç ve Kestelek Bor Artıklarının Isıl İşlem, Elektrostatik Ayırma ve Flotasyon ile Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [53] Sönmez, E., Özdağ, H. ve Savaş, M., 1996, Beneficiation of Emet tailings by water absorption+mechanical attrition+magnetic separation, Changing Scopes in Mineral Processing, Rotterdam.
- [54] Akçin, H., Karakoç, G., Çetin E. ve Gökçek S., 2009, Emet ve Kestelek Kolemanit Cevherindeki Demir Oranının İncelenmesi, Ankara.
- [55] Hassoy, H., 2007, Nadir Toprak Elementleri Alakalı Sabit Mekanizmalı Rulo Tipi Kuru Manyetik Ayırıcılarda İşlem Parametreleri ile Ayırma Performansı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [56] Kaytaş Y., Önal, G. ve Günay, A., 1986, İBigadiç Kolemanit Artıklarının Değerlendirilmesi, 1. International Mineral Processing Symposium, İzmir, Türkiye s:238-249
- [57] Kayandan, K., Savaş, M. ve Ateş, S., 1997, Emet Kolemanit Cevherini Manyetik Separatör ile Zenginleştirme Çalışmaları Emet, Kütahya.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [58] Aytekin, Y., Badruk, M. ve Yamak, A., 1991, Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Müessesesi 3-0,2 mm konsantredeki demir tenörünün % 0,3 Fe altına indirilmesinin tespiti, İzmir.
- [59] Yakar, E., Hanyer, M., Kaytaç, Y. ve Çelik, M.S., 1994, Mechanism of electrostatic separation of boron minerals, Progress in Mineral Processing Technology, Balkema, Rotterdam.
- [60] Addemir, O., Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'nin Durumu, İstanbul
- [61] Tolun, R., Minerallerin Ayrılma Prensipleri ve Maden Sanayindeki Tatbikatı Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [62] Arslan, F., Arslan C. ve Çelik, M.S., 1999, Kolemanit dekrupitasyonu sırasında arsenik uzaklaştırılması çalışması
- [63] Suner F. ve Çelik M.S., 1995, Dekrupitasyon prosesinin termodinamik analizi.
- [64] Kener, S., Özbayoğlu, G. ve Demirci, K., 2000, Ismanbul uleksitin yapısı üzerindeki deflikliklerin tespit edilmesi,
- [65] Buyurgan, S, Yıldırım G., (Tübitak) : Dükük Tenörlü Bigadiç Kolemanit Cevherinin pilot tesis döner fırında kalsinasyonu ve zenginleştirilmesi
- [66] Etibank Pazarlama ve Satış Dairesi Pazar Arayış ve Geliştirme şubesi i (Kasım-1982)
- [67] Bentli, K., Bursalı L., Ediz, N., ve Tatar, K., 2004, Emet-Hisarçık kılam Artıklarının Zenginleştirilmesi ve Etiketlenmesi, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir.
- [68] Akçıl, A. ve Akar, A., 2001, Application of the Dry Process on Concentration of Boron Ores, 17 th International Mining Congress and Exhibition of Turkey.
- [69] Emrullahoğlu, Ö.F., Kara,M., Çelik, M.S. ve Tolun, R., 1993, Kalsine Kolemanit Artıklarının Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirilmesi, XIII. Madencilik Kongresi, Türkiye
- [70] Tolun, R., Yarari, B. ve Gündiler, K., Kolemanit Cevherlerinin Dekrupitasyon Yolu ile Zenginleştirilmesi.
- [71] Delice, S., Gündüz, M. ve Özkan, K.G., 1998 Recovery studies of ulexite ores from Eti-Holding Bigadiç Mine, Innovations in Mineral and Coal Processing, Balkema, Rotterdam.
- [72] Erkan, Z. E., Akar A. ve Savak, M., Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarçık Baraj Artıklarının Değerlendirilebilirliğinin Arayışması BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. S:161-174
- [73] Dunn, J.G., 1998, Applications of Thermal Methods of Analysis to Raw and Processed Minerals, Thermochimica Acta 324, p: 59-66.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [74] Ruoyu, C., Jun, L., Shuping, X. ve Shiyang G., 1997, Thermochemistry of Ulexite, Thermochemica Acta 306, p: 1-5.
- [75] Sönmez, E., ve Sadıkoğlu, M., Köka Tinkal Cevherinin Dekrepitasyon Yoluyla Zenginleştirilmesi, Eskişehir.
- [76] Köse, H., Batar, T., Kahraman, B., Ediz, N., ve Erdoğan, N., Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi.
- [77] Akçin, H., Uludağ, T., Kentürk, B., Ergül, T., Kayandan, K., Demirdağ, C., Yılmaz, O., Yalçınoğlu, Y. ve Mergen, A., 2006, Tüvenan Tinkaldan Kalsine Tinkal Üretimi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2-4 Kasım Ankara, Türkiye s: 315-320
- [78] Kayandan, K., Pehlevan, V., Çaylayan ve Türedi, S., 2004, Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Kalsinasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Edt: Özdağ H., Akdağ H., Bozkurt V., Köhar M., Eskişehir, Türkiye, s:59-64
- [79] Emrulloğlu, F.Ö., Yüzer, H., 1990, Etibank Bigadiç Kolemanit Cevheri -3mm Fraksiyonunun Laboratuvar Çapta Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması Akdeniz Üniv. Isparta Müh. Fak. Dergisi, ed: Yamak, A., sayı 5 s: 159-169
- [80] 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
- [81] Çelik, M.S., Batar, T., Akın, Y. ve Arslan, F., 1998, Kalsinasyon Yoluyla Bor Minerallerinin Zenginleştirilmesi, Minerals And Processing Vol.15, No.1., s:53-56
- [82] Badruk, M. ve Kökoğlu, Ü., 1999, Tinkal Cevherinin Kalsinasyon Klasifikasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, İzmir s:469-475
- [83] Çelik, M.S. ve Suner, F., 1995, A thermodynamic analysis of the decrepitation Process, Thermochemica Acta 245, s: 167-174
- [84] Aytekin, Y., Lübiç, C. ve Yamak, A., 1987, Emet Artıklar ile yapılan kalsinasyon çalışmaları İzmir.
- [85] Aytekin, Y., Bigadiç kolemanit artıkları ile değerlendirilmesi, Bornova, İzmir.
- [86] Eskibalçlı M. F., 2007, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirmede Mikrodalga Enerjisinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması Doktora Tezi, İstanbul.
- [87] Saral, H., 2007, Bazı Bor Türevlerinin Mikrodalga Yardımıyla Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- [88] www.soylenasil.com

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [89] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (MEGEP) Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Mikrodalga Fırınlar, 2007, Ankara.
- [90] Tranquilla, J. M., 2000, Microwave Treatment For Decarbonization of Fly Ash, EMR Microwave Technology Corporation.
- [91] Kingman, S.W., Vorster, W. ve Rowson, N.A, 2000, The Influence of Mineralogy on Microwave Assisted Grinding, Minerals Engineering, Vol.13, No. 7, p:313-327.
- [92] Tranquilla, J. M., Murray H.G., Larochelle, W.J., Thompson, L. M. ve Hickey R.M., 1998, An Engineering and Economic Model For Microwave Processing of Mine Tailings.
- [93] Tranquilla, J. M., Larochelle, W.J. ve Brooks, P., Design and Operation of a Microwave Pilot Plant for Calcining Refractory Gold Ores and Concentrates, EMR Microwave Technology Corporation, Kanada.
- [94] E, Yiğit, Özkan, K.G. ve Eskibalç M.F., 2008, Üleksitin öğütülmesinde mikrodalga enerjisinin etkilerinin araştırılması
- [95] Kocakukak S., Köroğlu, H.J., Ekinci, E. ve Tolun, R., 1994, Microwave processing of boric acid to produce granular boron oxide, Progress in Mineral Processing Technology, Balkema, Rotterdam.
- [96] Toraman, Ö. Y. ve Depçi, T., 2007, Kömürde Mikrodalga ile ön işleme Uygulamaları Madencilik, Cilt 46, Sayı 3, Sayfa 43-53.
- [97] Güngör, A. ve Atalay, Ü., 1999, Grindability of Microwave-Heated Ores, SME Annual Meeting, Denver, Colorado.
- [98] Cutmore, N., Evans, T., Crnokrak, D., Middleton, A. ve Stoddard, S., 2000, Microwave Technique for Analysis of Mineral Sands, Minerals Engineering, Vol.13, No. 7, p:729-736.
- [99] Haque, E. K., 1999, Microwave energy for mineral treatment processes-a brief review, International journal of mineral processing, p: 1-24.
- [100] Jones, D.A., Lelyveld, T.P., Mavrofidis, S.D., Kingman, S.W. ve Miles, N.J., 2002, Microwave Heating Applications in Environmental Engineering, Resources, Conservation and Recycling, p:75-90.
- [101] Akagün, H. Y., 2006, Mikrodalga Isılama Sistemlerinde Yarıklı Anten Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [102] <http://www.linn-high-therm.de/microwave-continuous-belt-units-mdbt.html>
- [103] Alp, A. ve Yıldız, K., Metalurjik proseslerde mikrodalga kullanımı araştırmaları Sakarya Üni. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [104] Kocakukak, S., Köroğlu, H.J., Savaşçı Ö.T. ve Tolun R., 1998, Mikrodalga Enerjisi kullanımı ile sodyum perborat üretimi çalışması
- [105] Kocakukak, S., Köroğlu, H.J., Ekinci E. ve Tolun R., 1998, Mikrodalga ile susuz boraks üretimi çalışması
- [106] Kocakukak, S., Köroğlu, H.J., Gözmen, T., Savaşçı Ö.T., ve Tolun R., 1996, Nemli Boraks pentahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması çalışması
- [107] Kocakukak, S., Köroğlu, H.J. ve Tolun R., 1997, Nemli Borik Asit mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması çalışmaları
- [108] Kocakukak, S., Ekinci, E., Akçay, K., Çolak, O., Köroğlu, H.J. ve Tolun R., 1993, Mikrodalga Enerjisi ile bor oksit B_2O_3 üretimi, IX. Symposium on chemistry and chemical engineering proceedings, 20-24 Eylül, Trabzon.
- [109] Eymir, Ç. ve Okur H., 2004, Uleksitin Mikrodalga Enerjisi ile dehidrasyonu çalışması Erzurum.
- [110] Aytekin, Y., Lübiç, C., Yamak, A., 1998, "Kolemanit cevherlerinin flotasyonla zenginleştirilebilirliği için araştırması II. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, s: 262, İzmir.
- [111] Ayaz, S. 2007, "Emet Hisarcık Bor Tesisi Kırge Gölet Artıkları ile Flotasyonla Kazanılması D.P.Ü. Yüksek Lisans Tezi 2007, Kütahya.
- [112] Aytekin, Y., Lübiç, C. ve Yamak, A., 1998, "Kırge Tinkal Cevherlerinin Flotasyonla Zenginleştirilebilirliği için Araştırması" II. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Makaleleri, S.267-280, İzmir.
- [113] Özkan K.G., Alp M.S., Veasey T.J., 1993, "Emet Kolemanit Cevheri Üzerindeki Flotasyon Çalışmaları Türkiye 13. Madencilik Kongresi, Türkiye
- [114] Bulut, G., Ören, E., Acarkan, N., Bakan, S., 2004, Tinkal Atığına Uygulanan Flotasyon Çalışmaları Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, Türkiye
- [115] Yılmaz, O., 2006, Balıkesir-Bigadiç Bor Artıkları ile Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı Balıkesir, Türkiye, Ekim.
- [116] Yazar, B., 1971, Kolemanit mineralinin Flotasyon yolu ile değerlendirilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara, Türkiye.
- [117] Göktepe, F., 2004, Bigadiç Bor Artıkları ile Flotasyonla Zenginleştirilebilirliği için ön Araştırması II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eylül, Eskişehir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [118] Dilek, E.C. ve Öresin, H., 1994, Recovery of Tincal Fines by Reverse Flotation in Boron Saturated Brine, Proceedings of International Mineral Processing Symposium, Çekme, Türkiye.
- [119] Gülgönül, K., Çelik, M.S. ve Çınar, M., Üleksit Flotasyonunda İlam Etki Mekanizması 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- [120] Carbo, A. D., Ramos, S. S., Yusa-Marco D. J., Moya-Moreno, M., Gimeno-Adelantado, J. V. ve Bosch-Reig, F., 2004, Electrochemical Determination of Boron in Minerals and Ceramic Materials, Analytica Chimica Acta 501, p: 103-111.
- [121] Alkan, M. ve Doğan, M., 2004, Dissolution Kinetics of Colemanite in Oxalic Acid Solutions, Chemical Engineering and Processing, p: 867-872.
- [122] Tunç, M., Kocakerim, M. M., Yapıcı S. ve Bayrakçıken, S., 1999, Dissolution Mechanism of Ulexite in H₂SO₄ Solution, Hydrometallurgy, p: 359-370.

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 öfütücüden 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 bakıldıkē andan itibaren 10 dk kaynatılır.

7. Kaynama bittikten sonra huni yıkanarak alınır.

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

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

10. Birkaç dakika yeniden kaynatılır ve soğutulur.

11. Süzölür ve üç defa sıcak su ile yıkanır.

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

13. Soğuyan çözeltiye, ayarlık 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.

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

$$0,017405 = \text{Eğer miligram}$$

S = 0,5 Normal NaOH sarfiyatē

F = 0,5 Normal NaOH faktörü

T = Numune tartēmē

Not:

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

2. Numuneler karāmamasē için kullandān her kap ve erlen numaralandēđē.

3. Yapđan bütün kimyasal iklemler sērasēnda ellerin ve çevre kartlarēnēn kuru ve temiz olmasēna dikkat edilir, acele etmeden itina ile yapđē.

4. Bütün iklemler kaynar saf su ile yapđē.

Faktör Hazērlama

25 mlōlik erlene 0,4-0,5 gr H₃BO₃ tartēđē (8-10 adet erlene). Her bir numuneye 60-70 ml saf su ilave edilir. Kaynamaya bakladēē andan itibaren 10 dk. Kaynatēđē. Su banyosunda soē utulur. Soē utulan çōzeltiye 3-5 damla metil kērmēzēē 3-5 damla fenolftalein damlatēđē. 4-5 gr mannit ilave edilir. Renk soē an kabuē u rengine dönene kadar 0,5N NaOH ile titre edilir.

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

F = Faktör

T = Tartēm

S = Kullandān NaOH miktarē

NOT : Borik asit tartēmadan önce 50 °Cō de 6 saat tutulur. Tüm Fō lerin ortalamasē alēnē ve çēkan sonuç 17,41 ile çarpđarak F deē eri bulunur.

% 0,1đik Metil Kērmēzēē Hazērlanēē

1 gr tartēm alēnē. 750 ml etil alkolde iyice çōzülür. Sonra adi sūzgeç kaē đēndan sūzülür. Kaē đē alkolle yavak yavak yēkanē. Saf su ile 1ltōye tamamlanē.

ÖZGEÇMİŞİ

20.05.1972 tarihinde Kütahya'da Emet İlçesinde doğan Ramazan BÜTÜNER, İlköğrenimini Emet Günlüce Kasabası İlkokulunda, Orta ve Lise eğitimi Elazığ Anadolu Lisesinde tamamladıktan sonra, 1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1996 yılında Lisans eğitimiinden birincilikle mezun olduktan sonra aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünden 1998 yılında Yüksek Mühendis ünvanını aldı. 1997-1998 yıllarında Değirnisaz Kömür İşletmelerinde Açık İşletme ve Lavvar tesislerinde çalıştı. 1998 yılından itibaren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletme Müdürlüğünde Etüt ve Kontrol Bakımühendisliğiinde Mühendis, Teknik Şef ve halen devam eden Bakımühendislik görevlerinde bulundu. 2006 yılında Dumlupınar Üniversitesinde doktora eğitimiine başladı. Evli ve iki çocuk babasıdır.