

EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET
ATIKLARININ JAMESON FLOTASYON
KOLONUNDA ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Senem KERENCİLER

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2008

**EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ JAMESON FLOTASYON
KOLONUNDA ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Senem KERENCİLER

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

Danışman: Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Yardımcı Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR

Ekim - 2008

KABUL ve ONAY SAYFASI

Senem KERENCİLER'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ JAMESON FLOTASYON KOLONUNDA ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

../...../2008

- Üye : Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA (Danışman)
- Üye : Prof. Dr. Yaşar ÜÇBAŞ
- Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR (Yrd. Danışman)
- Üye : Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL
- Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

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

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

EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ JAMESON FLOTASYON KOLONUNDA ZENGİNLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Senem KERENCİLER

Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Yardımcı Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR

ÖZET

Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Espey konsantratör tesisi ince bor artıkları (-3 mm) artık barajında depolanmaktadır. Her geçen gün dolmakta olan baraj, çevre görüntüsü ve kirliliği açısından sorun olmakta, ayrıca işletme giderlerine olumsuz etki yaratmaktadır. Barajdaki artığın B₂O₃ içeriği oldukça yüksek olup, yaklaşık %26.33'tür. Bu kaybın yeniden ekonomiye kazandırılması için uygun zenginleştirme yönteminin veya yöntemlerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu artıkların kazanılması ile yukarıda belirtilen olumsuz etkileri de en aza inecektir. Bu çalışmada; Artık barajında bulunan bor minerallerini kazanabilmek amacıyla teorik olarak iki aşamalı ve birbirinden farklı iki zenginleştirme yöntemi tasarlanmıştır. Bu yöntemlerin geçerliliği deneysel olarak araştırılmıştır.

Birinci aşamada; mekanik karıştırma ile dağıtma + kimyasal dağıtma + sınıflandırma ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda + 150 µm , -150 µm + 38 µm ve -38 µm olmak üzere üç ayrı fraksiyonda ürünler elde edilmiştir. Bu ürünlerden sadece +150 µm fraksiyonunda %43.76 B₂O₃ tenörlü konsantre %73.51 verim ile elde edilmiştir. Diğer fraksiyonlarda ise istenilen ekonomik değerlere ulaşamamıştır. Bu nedenle ikinci aşamada, - 150 µm boyut altı grubuna flotasyon yöntemi uygulanmış ve flotasyon deneylerinde ince tanelerin flotasyonunda performansı yüksek olan Jameson flotasyon kolonu kullanılmıştır. Uygun flotasyon koşullarını belirleyebilmek amacıyla; toplayıcı ve köpürtücü dozajı, jet uzunluğu ve hızı, bias faktörü, dalma derinliği, katı oranı ve şlam etkisi gibi faktörlerin verim ve tenöre etkileri araştırılmıştır. Belirlenen uygun flotasyon şartları sonucunda %99.47 verimle %46.63 B₂O₃ tenörlü konsantre elde edilmiştir.

Bu alanda ilk defa kullanılan Jameson flotasyon kolonundan tenörü ve verimi yüksek konsantre kazanılarak önemli soruna laboratuvar boyutunda çözüm bulunmuştur. Pilot ve endüstriyel boyutta bilimsel araştırmaların yapılmasında yarar vardır.

Anahtar Kelimeler: Bor, Bor flotasyonu, Jameson flotasyon kolonu, Kolemanit, Kolemanit flotasyonu.

RESEARCH ABOUT ENRICHMENT OF FINE RESIDUES WITH JAMESON FLOTATION COLON IN EMET ESPEY BORON FACILITY

Senem KERENCİLER

Master of Science Thesis, 2008

Thesis Supervisor : Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Thesis Supervisor Assist: Assist. Prof. Dr. Ali Uçar

SUMMARY

Fine boron residues (-3mm) has been stored in waste pool in the Eti Bor A.Ş. Emet Bor Espey Concentrator Facility. This waste pool is being grown and filled day by day, so problems are being consisted about environmental view and health and they also have a negative impact on operational costs. In this waste pool, B_2O_3 content has a high percent like 26.33 %. This loss should be gained by an appropriate enrichment method. Consequently, these negative impacts will be minimized. For solving boron enrichment problem in waste pools, two gradual enrichment methods have been designed and experimental studies have been done.

In the first step, mechanical admixture is done for boron enrichment. Dispensation of chemical dispersion and classification works are done in mechanical admixture. The product results are grouped in 3 fractions as +150 μ m, -150 μ m +38 μ m and -38 μ m. In +150 μ m fraction, 43.76% of B_2O_3 grade concentration has been achieved with 73.51% of efficiency. In the other fractions, there is not any appropriate economical enrichment value. Hence, in the second step, flotation method has been applied to -150 μ m size and in flotation experiments, Jameson Flotation Column, which has high performance on fine boron residues, has been used. For finding appropriate flotation conditions, collector and frothing material dosage, jet length and speed, bias factor, immersion depth, solid ratio and sludge effect factors' effects on efficiency and grade has been searched. In appropriate flotation conditions, 46.63% of B_2O_3 grade concentration has been procured with 99.47% of efficiency.

A solution has been developed in the laboratory environment with gaining high grade and efficiency about the concentration by Jameson Flotation Column, which was firstly used in this area. Academic researches should be done with pilot and industrial extent.

Keywords: Boron, Boron flotation, Jameson flotation column, Colemanite, Colemanite flotation.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yoğun uğraşlar sonucunda ortaya çıkan bu tez çalışması boyunca maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, üstün bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmanın başarıyla sonuçlanmasını sağlayan değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA'ya ve yardımcı tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR'a, şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yaptıkları yardımlar nedeni ile sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR, Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL, Arş. Gör. Oktay ŞAHBAZ ve Arş. Gör. Uğur DEMİR'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca destek ve görüşlerini her zaman yanımda hissettiğim, deneysel çalışmalarım ve yazım aşamasındaki yardımlarını benden esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Müge YARGAN, Seçil AYAZ, Tuba ÇÖMEZ ve Burcu Hatice ÜNAL'a yine sonsuz teşekkürler.

Kolemanit atık numunelerinin temininde gösterdikleri ilginden dolayı Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, bu günlere gelmemi sağlayan, en kötü günlerimde dahi benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatımın her aşamasında yanımda olan sevgili annem Nuran KERENCİLER'e, babam Bayram KERENCİLER'e, anneannem Fatma Şükran SÜMER'e, ablam İrem GÜL'e, eniştem Mehmet Doğan GÜL'e ve kuzenim Su SAVER'e minnettaram...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Borun Tanımı	3
2.2. Bor Mineralleri ve Kullanım Alanları.....	4
2.2.1. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	4
2.2.2. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	4
2.2.3. Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).....	5
2.2.4. Propertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	5
2.2.5. Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).....	5
2.2.6. Pandemit (Priseit) ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).....	5
2.2.7. Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	5
2.3. Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri	9
2.4. Borun Türkiye’de ve Dünya’daki Durumu.....	10
2.4.1. Dünya’da Durum	11
2.4.2. Türkiye’de Durum.....	12
3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	18
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri	18
3.1.1. Bor Atıklarının Uygun Bir Şekilde Değerlendirilmesinden Elde Edilecek Avantajlar	18
3.2. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri.....	18
3.3. Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması.....	19
3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması	20
3.5. Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması	20

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	21
4.1. Boyuta Göre Zenginleştirme	21
4.2. Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme	21
4.3. Manyetik Zenginleştirme	21
4.4. Dekrepitasyon Yöntemi ile Zenginleştirme	22
4.5. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme.....	22
4.6. Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme	22
4.6.1. Jameson Kolonu	24
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI.....	31
5.1. Malzeme ve Yöntem	31
5.2. Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyutu Analizleri.....	35
5.3. Mekanik Dağıtma Deneyleri.....	35
5.3.1. Karıştırma Hızının Belirlenmesi	36
5.3.2. Uygun Karıştırma Zamanının Belirlenmesi.....	38
5.3.3. Katı Oranının Belirlenmesi.....	39
5.3.4. Mekanik Dağıtmaya Yardımcı Kil Dağıtıcı Miktarının Belirlenmesi	41
5.4. Jameson Flotasyon Deneyleri	43
5.4.1. Köpürtücü Miktarının Belirlenmesi.....	44
5.4.2. Toplayıcı Miktarının Belirlenmesi.....	46
5.4.3. Bias Faktörünün Etkisi	48
5.4.4. Jet Uzunluğunun Belirlenmesi.....	50
5.4.5. Dalma Derinliğinin Belirlenmesi.....	52
5.4.6. Negatif Biasın Etkisi.....	54
5.4.7. Jet Hızının (Besleme Basıncı) Belirlenmesi	57
5.4.8. Katı Oranının Belirlenmesi.....	58
5.4.9. Şlamın Etkisinin Belirlenmesi	60
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR DİZİNİ	65
EKLER	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor mineral ve bor bileşiklerinin kullanım alanları	8
2.2. Dünya bor üreticileri	12
2.3. Espey Bor Zenginleştirme Tesisi akım şeması	16
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri	19
4.1. Jameson kolonu şematik görünümü	25
4.2. Düşey boru	25
5.1. Espey artık barajından alınan numune ile yapılan çalışmaların akım şeması	33
5.2. Jameson flotasyon hücresi deney düzeneği	34
5.3. Köpürtücü miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi	45
5.4. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişim	47
5.5. Pozitif biasa bağlı olarak tenör-verim değişim	49
5.6. Jet Uzunluğuna bağlı olarak tenör-verim değişim	51
5.7. Dalma Derinliğine bağlı olarak tenör-verim değişim	53
5.8. Negatif biasa bağlı olarak tenör-verim değişim	55
5.9. Negatif biasa (yıkama sulu) bağlı olarak tenör-verim değişim	56
5.10. Besleme basıncına bağlı olarak tenör-verim değişim	58
5.11. Katı Oranına bağlı olarak tenör-verim değişim	60
5.12. Şlam Etkisinin tenör-verim değişim	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor elementinin fiziksel özellikler	3
2.2. Borun kullanım alanları.....	6
2.3. Borun ürünlerinin kullanım alanları.....	7
2.4. Dünya bor rezervleri (Bin-Ton B ₂ O ₃)	11
3.1. Jameson Kolonunun metal cevherindeki uygulamaları.....	29
3.2. İnce kömür ve kömür şlamı uygulamaları.....	30
5.1. Numunenin kimyasal analizi.....	31
5.2. Numunenin tane boyut ve B ₂ O ₃ içeriği	32
5.3. 500 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	37
5.4. 1000 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	37
5.5. 1500 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	37
5.6. 2000 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	38
5.7. 5 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi	38
5.8. 10 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi	39
5.9. 15 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi	39
5.10. 20 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi	39
5.11. % 10 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi	40
5.12. % 20 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi	40
5.13. % 30 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi	40
5.14. % 40 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi	40
5.15. 200 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi	41
5.16. 300 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi	41
5.17. 400 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi	42
5.18. 500 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi	42
5.19. Numuneye uygulanan çeşitli işlemler sonucu boyut fraksiyonlarında B ₂ O ₃ tenör değişimi.....	42
5.20. Köpürtücü miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi.....	45
5.21. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.22. Pozitif biasa bağlı olarak tenör-verim değişimi	49
5.23. Jet Uzunluğuna bağlı olarak tenör-verim değişimi	51
5.24. Dalma Derinliğine bağlı olarak tenör-verim değişimi	53
5.25. Negatif biasa bağlı olarak tenör-verim değişimi	55
5.26. Negatif biasa (yıkama sulu) bağlı olarak tenör-verim değişimi	56
5.27. Besleme basıncına bağlı olarak tenör-verim değişimi	58
5.28. Katı Oranına bağlı olarak tenör-verim değişimi	59
5.29. Şlam etkisinin tenör-verim değişimi	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

Å

°C

 λ **Açıklama**10⁻⁸m

Santigrad derece

Lambda, XRD dalga boyu

Kısaltmalar

DPÜ

XRD

SEM

Açıklama

Dumlupınar Üniversitesi

X-Işını Difraksiyonu

Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Bor, ülkemizin sahip olduğu en önemli madenlerden biridir. Bazı alanlarda konsantre bor ürünleri kullanılabildiği gibi bor ürünleri genel olarak rafine bor bileşiklerine ve özel bor kimyasallarına dönüştürüldükten sonra geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bor ve Bor ürünleri şu anda 250 değişik alanda kullanılırken her geçen gün kullanım alanları artmaktadır [1].

Dünyada gelişen teknoloji adeta bor tüketiminin bir teşvikçisi olmakta ve gün geçtikçe gelişen yeni kullanım alanları boru dünya ekonomisinde biraz daha vazgeçilmez yapmaktadır. Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %72'sine sahip olan Türkiye üretim bakımından ABD'den sonra ikinci sıradadır. Ayrıca, Tüm dünya ülkeleri üleksit ve kolemanit mineralleri bakımından Türkiye'ye bağımlıdır. Ülkemizde işletilmekte olan başlıca bor minerallerinden Tinkal Eskişehir-Kırka, Kolemanit Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek, Üleksit ise Balıkesir-Bigadiç'te bulunmaktadır [2, 3].

Çalışmanın yapıldığı Emet bölgesi Kolemanit yataklarının B_2O_3 bazlı rezervi 225 milyon tondur. Espey konsantratörü cevher işleme kapasitesi 300.000 ton/yıl ve konsantre kolemanit elde etme kapasitesi ise 120.000 ton/yıl'dır. 150.000 ton atık her yıl Espey atık havuzunda birikmektedir [4]. Kolemanit, kırılabilir bir yapıya sahip olduğu için, konsantratörde ufalama devresinde oluşan ince kolemanit taneleri (-3 mm) gang mineralleri ile atık havuzunda toplanmaktadır. Atık barajının ortalama B_2O_3 içeriği %26.33 olarak tespit edilmiştir.

Türkiye'deki tüm tesislerde bor zenginleştirme kırma-yıkama-sınıflandırma ve triyaj gibi basit fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu zenginleştirme işlemleri sırasında önemli oranda kaba ve ince artık birikimi olmaktadır. Bu atıklar stoklama sorunlarına neden olurken atıklarla birlikte kaybedilen bor miktarı da ekonomik önem taşımaktadır [5]. Atık madenciliğinin amaçları arasında; evrensel kaynakların yeniden kazanımının maksimize edilmesi, atık maddelerdeki değerli mineralin tekrar elde edilmesi ve doğal kaynakların korunması ile doğaya ve dolayısıyla insanlığa zararı olan maddelerin veya minerallerin eliminesinin sağlanmasıdır [6]. Kaybedilen büyük miktardaki atıkların tekrar kazanılması için alternatif yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Böylece kaybolan atıklar tekrar değerlendirilerek ekonomimize büyük fayda sağlayacaktır. Bunun yanı sıra yıllarca süren çalışmalar sonucunda belli kapasiteye sahip olan atık barajları dolarak yeni bir atık barajı yapımına gidilmesi gerekmektedir. Artık barajı yapımı işlemi büyük masraflar ve yeni

yatırımlar gerektirmektedir. Artıkların yeniden değerlendirilmesi sayesinde bu tür olumsuzluklar ortadan kalkacak ve ekonomik açıdan büyük faydalar sağlanmış olacaktır [5].

Emet-Espey tesisinde de cevher zenginleştirme sonucu iri ve ince artıklar çıkmaktadır. Ortaya çıkan ince artıklar artık barajına verilmekte ve her geçen gün bu miktar artmaktadır. Bunun sonucu olarak çevresel ve ekonomik sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kırma-yıkama-sınıflandırma ile zenginleştirilen Emet-Espey bor tesisi ince artık olarak isimlendirilen ve yüksek değerde B_2O_3 içeren artıkları kazanmak ve çevresel problemleri ortadan kaldırıp ekonomiye kazanç sağlamaktır. Böylece artık barajına daha az miktarda malzeme gideceği için ilave artık barajı yapımına gerek kalmayacaktır ya da daha az bor içerecek olan artığın çeşitli sektörlerde kullanım olanakları ortaya çıkarsa sorun kökten çözülmüş olacaktır.

Yukarıda belirtilen amaçlara ulaşabilmek için bu çalışmada zenginleştirme işlemi teorik olarak iki aşamada tasarlanmıştır. Birinci aşamada ince artık (-3mm) numunesi yıkamaya ilaveten kimyasal dağıtma ve sınıflandırma ile zenginleştirmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise, birinci aşamada yeteri kadar zenginleşemeyen ince fraksiyonları (-150 μ m), zenginleştirilmesi sorunlu olan ince tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılan fakat ülkemizde endüstriyel uygulaması bulunmayan jameson flotasyon kolonu ile laboratuvar çapta zenginleştirmeye çalışılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Borun Tanımı

Kimyasal sembolü “B” olan bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82 ve ergime noktası 2190°C’dir. 51. yaygın element olarak yer kabuğunda boratlar ve bora silikatlar halinde bulunan bor elementi periyodik cetvelde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir. 150’den fazla mineralin bileşiminde yer almasına rağmen oksijene ilgisi nedeni ile doğada serbest olarak değil, oksijene bağlanmış bileşikler halinde bulunur [1, 7, 8, 9, 10]. Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Borun element olarak kullanışı daha az yaygın olup yenidir. Oysa borun en çok kullanılan türü olan boraks binlerce yıldan beri bilinmektedir. Bor madeni ilk bakışta beyaz bir kaya şeklinde olup, çok sert ve ısıya dayanıklı, doğada serbest bir element olarak değil, tuz bileşikleri şeklinde bulunmaktadır. Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengidir. Ancak çok gevrek ve sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmastan sonra en sert elementtir. Bor elmastan sonra ametaller arasında elektropozitifliği en yüksek olan elementtir. Oda sıcaklığında elektrik iletkenliği zayıftır, fakat yüksek sıcaklıklarda çok yüksektir [7, 9, 11, 12]. Bor elementinin fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de gösterilmektedir [13].

Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve Amerikanın kurak volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır [11].

Çizelge 2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri [13]

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

HK: Knoop sertliği değeri

Bor, yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, yanma sonucunda kolaylıkla aktarabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olduğundan katı yakıt hücresi olarak da kullanılmaktadır [11, 14].

2.2. Bor Mineralleri ve Kullanım Alanları

Bor mineralleri yapılarında bulunan Ca, Na ve Mg elementlerine göre sınıflandırılır. Sodyum kökenli olanlara tinkal (boraks), kalsiyum kökenli olanlara kolemanit ve sodyum-kalsiyum kökenli olanlara üleksit denilir. Ticari önem taşıyan bor mineralleri genellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum bazlı boratlardır [7].

Ticari önem taşıyan bor mineralleri [7, 8, 9, 12, 15, 16] ;

- Boraks (Tinkal): $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (%36.6 B_2O_3)
- Kernit (Razorit): $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (%51.0 B_2O_3)
- Üleksit : $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (%43.0 B_2O_3)
- Propertit: $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (%49.6 B_2O_3)
- Kolemanit: $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (%50.8 B_2O_3)
- Pandermit (Priseit): $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (%49.8 B_2O_3)
- Borasit: $\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$ (%62.2 B_2O_3)
- Szaybelit: $\text{MgBO}_2(\text{OH})$ (%41.4 B_2O_3)
- Hidroborasit: $\text{CaMgBO}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (%50.5 B_2O_3)

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 bazı maddeler nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde de bulunabilir. Sertliği 2-2,5 ve özgül ağırlığı 1,7 gr/cm^3 'dür. B_2O_3 içeriği %36.5'dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir [15, 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 uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95 gr/cm^3 ve B_2O_3 içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Kırka 'da Na-borat kütesinin alt kısımlarındadır. Dünya 'da ise Arjantin ve ABD 'de bulunur [10, 12, 13, 17, 18].

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

Tabiatta masif, karnabahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroborasit ve propertit ile birlikte oluşmuştur. B_2O_3 içeriği %43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, Dünya'da ise Arjantin 'de bulunmaktadır [6, 12, 13, 19].

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

Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ışınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. B_2O_3 içeriği %49.6'dır. Kestelek yataklarında üleksit ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak, Emet'te tekdüze tabakalı birincil olarak ve Doğanlar, İğdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak oluşmuştur [6, 13, 17].

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

Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5 ve özgül ağırlığı $2,42 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. B_2O_3 içeriği %50.8'dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, Dünyada A.B.D.'de bulunur [6, 10, 12, 13, 16, 18].

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 oluşmuş olup kireçtaşına benzer. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B_2O_3 içeriği %49.8'dir [6, 13].

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

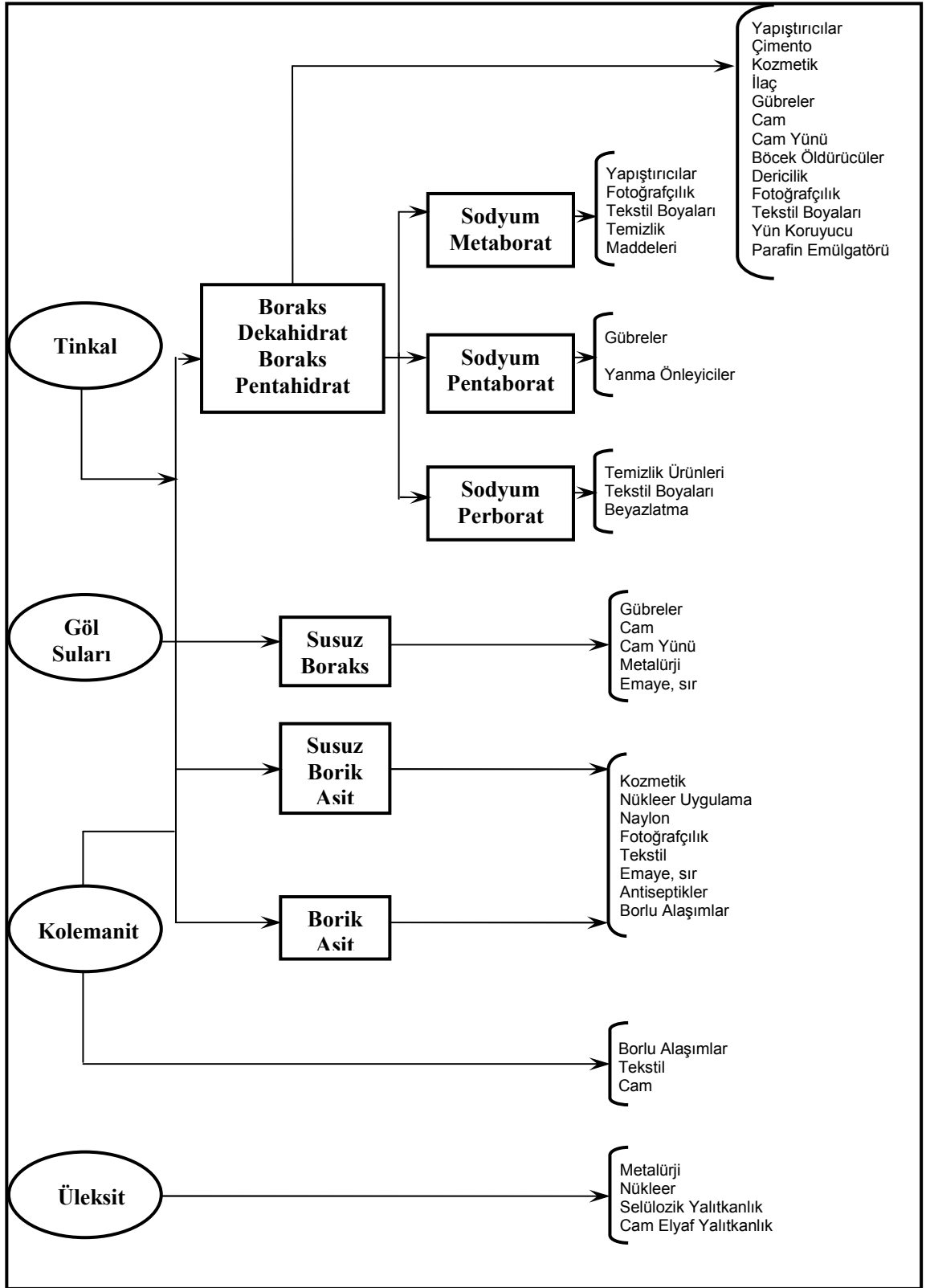
Bir merkezden ışınal ve iğne şeklindeki kristallerin rasgele yönelmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği %50.5'tir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki impüritelere bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre) kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, İğdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur [6, 12, 13, 19].

Çizelge 2.2. Borun kullanım alanları [1, 2, 7, 9, 20]

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

Çizelge 2.3. Borun ürünlerinin kullanım alanları [7, 15, 20]

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



Şekil 2.1. Bor mineral ve bor bileşiklerinin kullanım alanları [8, 11, 21, 22].

2.3. Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri

Bor ve borlu yakıtlar, 1950'li yılların başında ABD Savunma Programında geleceğin yakıtı olarak adlandırılmış ve nükleer silahlanma dışında 2. önemli stratejik malzeme olarak nitelendirilmiştir. 1958–1961 yılları arasında ABD ve NATO tarafından bor, stratejik bir maden olarak ilan edilmiş, pazarlaması kontrol altına alınmıştır [2, 3, 17].

Bor madeninin önemi, ülkeleri bu konuda çıkarlarını düşünmeye ve planlı davranmaya sevk etmektedir. Bor hakkında sürdürülen araştırmaların, bor bileşiklerinin yüksek teknolojlili ürünlerdeki yeni kullanım alanlarını keşfetmesi, bu madeni gelecekte petrol gibi üzerinde uluslararası mücadelenin yaşandığı bir ürün konumuna getirecektir [1, 2, 17, 14, 23, 24].

Bor madeninin kullanım miktarındaki asıl önemli artış, borun yakıt taşıyıcısı olarak kullanılmasıyla sağlanabilecektir. Birçok pil, akümülatör vs. enerji üretim aygıtında yakıt olarak kullanılan hidrojenin elde edilme, nakil ve depolama yöntemleri bu aygıtların verimliliğinin artırılması karşısındaki en önemli sorunlardır. Çünkü hidrojen çok düşük sıcaklıklarda sıvılaşmakta (-252 °C), gaz halindeyken çok yer kaplamakta, patlayıcı bir gaz olması sebebiyle taşıma ve depolama işlemleri sırasında tehlike arz etmektedir. Bu sebeple, bor bileşiklerinin hidrojen taşıma kapasiteleri, bu bileşiklerin yakıt taşıyıcısı olarak yeni bir öneme kavuşabileceğine işaret etmektedir [1, 2, 14, 17, 23].

Dünya bor piyasasında büyük gelir sağlayan uluslararası şirketler, bu gelirini Türkiye'den bor olarak 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 [1, 2, 3, 14, 17]. Ancak bu gerçekler karşısında oluşturulan yeni devlet politikası ile bu alanda Ar-Ge çalışmaları yoğunlaştırılmış olup, araştırmalar hızla sürmektedir.

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

- Bor yatakları Dünyada birkaç bölgede yoğunlaşmıştır ve en önemli yataklar Türkiye'de bulunmaktadır.
- Bor bileşikleri, üretim yöntemi, tüketim miktarı ve kullanım alanlarına göre ticari boratlar ve özellikli bor bileşikleri olarak iki grupta toplanabilir.
- Türkiye'de bor 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 [1].

Dünyanın en büyük bor rezervlerine sahip olan Türkiye, bor minerali ve ticari boratlar üretiminde önemli bir yerdedir. Ancak, sahip olduğu cevheri en iyi şekilde değerlendirebilmek için ürün çeşidini artırması ve özellikli bor ürünleri üretimine geçmesi gerekir. Bu amaçla özellikli bor bileşiklerinin yurt içi ve yurt dışı pazar durumu, tüketim alanlarının geliştirilme potansiyeli ve üretim teknolojileri araştırmalarına ivedilikle başlamalıdır. Ayrıca bor uç ürünlerini üretebilmek için Türkiye pazar araştırması, fizibilite, maliyet düşürmeye yönelik proses geliştirme gibi çalışmaları hızla tamamlanmalıdır [1, 2, 14, 17, 24, 25].

Yakın bir gelecekte motorlu araçlarda kullanılan petrolün (benzin, mazot) alternatifi “bor” madeni olacağını bilim adamları ifade etmektedir. Dünya bor rezervlerinin %72’si Türkiye’dedir. Türkiye, yüzyılımızda petrol kadar önemli ve hatta petrolden bile daha önemli olacağı varsayılan bor madeninin dünyadaki en büyük rezervine sahip ülkesidir. Türkiye’nin bor madenlerinin rezerv ömrü 412 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi Rusya’nın bor rezervleri 85, ABD ise 76 yıllık ömre sahiptir [1, 14, 17, 25].

Dünya rezervleri ve bu rezervlerin tüketim artış hızları göz önünde bulundurulduğunda 50-80 yıl sonra ülkemiz bor yataklarının dünyadaki tek bor kaynağı olma ihtimali yüksektir. Ancak, bu konunun avantajlarını tam anlamıyla değerlendirememekte, gerek rafine (ticari boyutta üretilen) bor ürünleri, gerekse bor uç ürünleri (ham ve rafine ürünlerinden üretilen bor ürünleri) ihracatından potansiyelin altından gelir elde etmektedir [1, 7, 11, 14, 17, 25].

Türkiye en büyük rezerv sahibi olarak bor dünya piyasasını ve fiyatlarını belirleyecek konumda olma imkânına sahiptir. Ancak, dünyadaki örnekler maden zengini gelişmekte olan ülkelerin, bu madenlerden yeterince yararlanamadığını, ham madene sahip ülkelerden ziyade, bu madenle ilgili teknolojiye sahip olan gelişmiş ülkelerin piyasaları kontrol ettiğini göstermektedir. [1, 2, 3, 11, 14, 17, 24].

2.4. Borun Türkiye’de ve Dünya’daki Durumu

Ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri halinde daha çok Türkiye, ABD, Rusya olmak üzere Arjantin, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve

Şili'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır [9, 13, 20].

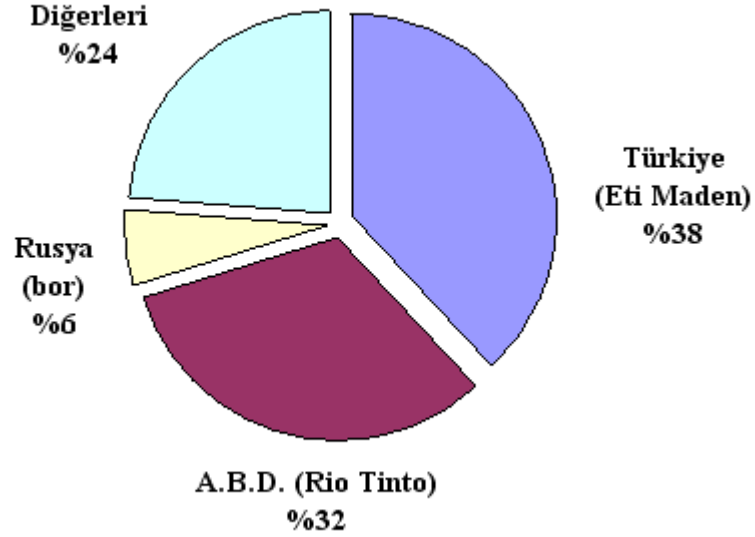
Türkiye rezervlerinin %37'si Bigadiç, %34'ü Emet, %28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır [1, 11, 5].

Çizelge 2.4. Dünya bor rezervleri (Bin-Ton B₂O₃) [6, 8, 13]

Ülke	Görünür Ekonomik Rezerv	Muhtemel Mümkün Rezerv	Toplam Rezerv	Toplam Rezervdeki Pay
Türkiye	227.000	624.000	851.000	72,2
A.B.D	40.000	40.000	80.000	6,8
Rusya	40.000	60.000	100.000	8,5
Çin	27.000	9.000	36.000	3,1
Arjantin	2.000	7.000	9.000	0,8
Bolivya	4.000	15.000	19.000	1,6
Şili	8.000	33.000	41.000	3,5
Peru	4.000	18.000	22.000	1,9
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	1,3
Srbistan	3.000	0	3.000	0,3
Toplam (Bin Ton)	369.000	807.000	1.176.000	100,00

2.4.1. Dünya'da durum

Dünyadaki en önemli bor üreticileri; Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD)'dur. Bu iki kuruluş dünya bor üretiminin yaklaşık %70'ini gerçekleştirmektedir [1, 8, 10].



Şekil 2.2. Dünya bor üreticileri [6, 13, 17]

2.4.2. Türkiye'de durum

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da yer almaktadır. Fakat bor ticaretinde ise Türkiye ABD'den sonra gelmektedir [1, 8, 10].

2.4.2.1. Ürünün Türkiye'de bulunuş şekilleri ve rezervleri

Türkiye'de devlete ait olan Eti Holding A.Ş. aracılığı ile Burhaniye'den Savaştepe'ye, Susurluk'tan Dursunbey'e, Bigadiç'ten Sultançayı'na, Bursa Kestelek'ten Sındırgı'ya, Kütahya Emet'ten Eskişehir Kırka'ya kadar 1 milyon 700000 hektarlık bir bor maden rezervleri alanı kamusallaştırılmış durumdadır. Bu alandaki bor rezervleri yaklaşık 2,5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin ülkesi Türkiye'dir. Bu Bor'un ülkemiz için ekonomik değer olarak 1 trilyon dolardan daha fazla zenginliğe sahiptir. Türkiye bor madenlerinin ihracatının %50'sini hammadde halinde %50'sini işlenmiş olarak satmaktadır [11].

Yüksek tenördeki bor cevheri çok kolay ve ekonomik olarak çıkarılmakta ve işletilmektedir. Öyle ki; atık barajlarındaki mevcut sulu atıkların B_2O_3 tenörü bile borun lokomotif konumundaki ülkelerin işlettikleri cevher ve göl sularındaki B_2O_3 tenöründen çok daha yüksektir. Bu bakımdan, bor cevherleri ülkemiz açısından daha verimli değerlendirilmesi gereken önemli bir potansiyeldir [11, 15].

Ülkemizde işletilmekte olan başlıca bor minerallerinden Tinkal Eskişehir-Kırka, Kolemanit Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek, Üleksit ise Balıkesir-Bigadiç'te bulunmaktadır. Bu ürünler dışında, genellikle ileri teknoloji gerektiren yöntemler ile dünyada ticari olarak üretilen ve değişik kullanım alanları olan özel bor kimyasalları mevcuttur. 250 civarında sektörde nihai ürün olarak kullanılan bu ürünlerden en yaygın kullanım alanlarına sahip olanları; susuz borik asit, elementer bor, çinko borat, ferro bor, bor karbür, bor hidrit, bor karbit ve bor nitrür olarak sıralanabilir [7, 11].

Etibank'ın son yıllarda yaptığı çalışmalarla Türkiye'nin bor rezervleri yaklaşık 780 milyon tona; görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamı ise 2.443.142.000 tona ulaşmıştır. Emet, Kestelek ve Kırka havzaları için Etibank'ın resmi rakamları kullanılmış, Bigadiç havzasında ise devam eden arama çalışmalarında ortaya çıkarılan yeni rezervlerde eklenerek toplam rezerv 765.068.000 ton yerine 1.029.722.000 ton olarak gösterilmiştir. Türkiye'nin ekonomik değer ifade eden borat yatakları hakkında daha geniş bilgi aşağıda verilmiştir [6].

2.4.2.1.1. Kırka borat yatakları ve zenginleştirme tesisleri

Ankara'nın 240 km batısında Eskişehir ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Yataklar neojen tortuları arasında yer almaktadır. Miosen'de mevcut göl ortamlarına volkanik faaliyetler neticesinde fay zonlarından gelen hidrotermal çözeltilerin; ortamın fiziko-kimyasal koşulları altında çökelerek boratları oluşturduğu sanılmaktadır. Boratlar kil, tuf ve marn ile ara katlı olup, kireçtaşı borat mercceklerinin altında ve üstünde bulunur. Yatağın sondajlarla kesilen kalınlıkları 2–150 m arasında değişmekte olup, aritmetik ortalaması 70 metredir. Yataktaki başlıca bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir. Bu minerallere ilaveten yatakta tinkalkonit, tünelit ($\text{SrB}_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kurnakovit, inyoit, meyerhofferit ve hidroborasit mineralleri de oluşmuştur. Boraks konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer, yatağın merkezi olan Sarıkaya'dır. Boraks, 1mm-1cm iriliğinde sübhedral ve anhedral kristaller halindedir. Yatağın kenar kesimlerinde ana mineraller üleksittir ve genellikle lifli, masif yapıdadır. Kolemanit, yatağın alt ve üst kısımlarında yumrular ve "geod"lar halinde bulunur. Yatakta birbirine tedricen geçiş gösteren ve boraks kristalleri ile killerin yer değiştirmesine göre sınıflandırılan 3 tip cevhere rastlanmaktadır; bantlı cevher, bileşik cevher (yeşilimsi, sarımsı ve kahverenginin değişik tonlarında), camsı cevher (saydam, beyaz renkte olup tuz görünümündedir). Kırka boraks yatağı dünyanın en büyük rezervine sahip olup, toplam rezerv 520 milyon ton dolayındadır. Yatağın ortalama B_2O_3 tenörü %24.7'dir [10, 26].

Kırka bölgesinde bulunan doğal boraks (Tinkal) açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Üzerindeki örtü tabakası delme, patlatma ve ekskavatörlerle kaldırılmakta cevher yine delme ve patlatma ile gevşetildikten sonra kamyonlarla konsantratör tesisine nakledilmektedir. Yılda ortalama 1.150.000 ton tüvenan cevher işleme ve %32-33 B₂O₃ tenörlü 800.000 ton/yıl konsantre tinkal üretim kapasitesine sahip Konsantratör tesisinde, cevher 40 cm'lik ızgaralardan geçirilerek önce 10 cm' ye sonra 2.5 cm'ye kırılarak 10.000 ton kapasiteli ara stok binasında stoklanmaktadır. Ara stok binasından düzenli olarak alınan malzeme, 6 mm' lik kuru elekte elenir. 6 mm boyutunun altındakiler %65 katı/sıvı pülp haline getirilerek içerisinde bulunan yabancı madde ve killerin aşındırılarak yıkanması için yıkama hücrelerine verilir. Buradan çıkan malzeme +1mm'lik sulu elekten geçirilerek elek üstü santrifüj su arındırıcılardan geçirilerek stoklanır. +6 mm'lik malzeme tesislerdeki merdaneli ve şoklu kırıcılarda kırılarak aynı işlemlerden geçirilir [10, 26].

2.4.2.1.2. Emet Borat Yatakları ve Zenginleştirme Tesisleri

Kütahya'nın yaklaşık 60 km batısında yer alan Emet yöresinde Etibank tarafından işletilen Hisarcık, Hamamköy, Göktepe ve Espey ocakları vardır. Bölgenin toplam rezervi yaklaşık 40 milyon ton %40 B₂O₃ kadardır. Bölgede ki neojen, eski metamorfik ve magmatik kayalarla çevrilmiş kuzey-güney doğusunda uzanan ve taban üzerine uyumsuz oturan göl tortularından oluşur. Burada taban kireç taşıyla başlayan tortullar, çakıl taşı, kumtaşı, tuf, kil, marn ve linyit içeren karmaşık bir seriyle devam eder. Bunun üzerine boratlı kil, marn, tuf serisi gelir ve bütün bu birimler tavan kireç taşıyla örtülür. Bütün neojenin toplam kalınlığı yaklaşık 600 m kadardır. Neojen Kestelek bölgesi ile büyük benzerlik gösterir. Fakat burada taban, kireç taşı ile başlar. Daha sonra ortamın yine tektonik olarak duyarlı olmadığını kanıtlayan çakıl taşı ve kumtaşı birikimleri görülür. Boratlı seri içinde tüfleri ve gri-yeşil killerin varlığı tektonik hareketlerin durduğunu, volkanizmanın başladığını belirtir. Kestelek'ten farklı olarak volkanizmadan sonra tektonik hareketlerin tekrar başladığını belirleyen çakıl taşları ve kumtaşları gözlenmez. Bunların yerine daha duyarlı ortamlarda oluşan kireçtaşları almıştır. Hisarcık ocaklarında boratlı seri 30-40 m kalınlıktadır. Birkaç kat katmandan oluşan ve kalınlıkları 1-1,5 m kadar olan boratların ana cevher minerali kolemanittir. Toplam borat kalınlığı 20 m'ye ulaşır. Kolemanit killer içinde irili ufaklı (10-50 cm) yumrular şeklinde bulunur. Kolemanitle birlikte az miktarlarda üleksit ve kalsit de gözlenmiştir. Bunların yanında kolemanitin değerini düşüren arsenik mineralleri (realgar, orpiment), kolemanit yumrularının dışı yakın kısımlarında, bütün yumruyu çevreleyen bir zar şeklinde bulunur. Hamamköy, Espey ve Göktepe'de tek mineral kolemanittir. Killer içinde gömülü yumrular şeklinde bulunurlar. Hamamköy 'de boratlı serinin kalınlığı 20 m'dir. Kolemanit bantları ise yaklaşık 7

m'ye ulaşır. Espey'de killer ara katkılı, toplam kalınlığı 20 m'ye ulaşan 4 kolemanit katmanı vardır [10, 15, 26].

Hisarcık ve Espey Açık Ocaklarından üretilen cevher yine buralardaki konsantratörlerde zenginleştirilerek satışa hazır hale getirilmektedir. Hisarcık konsantratörü tüvenan cevher işleme kapasitesi 900.000 ton/yıl, konsantre cevher üretim kapasitesi 450.000 ton/yıl, Espey konsantratörü cevher işleme kapasitesi 300.000 ton/yıl ve konsantre kolemanit elde etme kapasitesi ise 120.00 ton/yıl'dır [10, 15, 26, 27].

Hisarcık ve Espey bölgelerine kurulan konsantratörlerde yapılan başlıca işlemler kırma, klasifikasyon ve yıkamadan oluşmaktadır. Kırma sonrası önce elle ayıklama, daha sonra yıkama-dağıtma sonrası boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Örnek olarak Espey Bor Zenginleştirme Tesisinin akım şeması Şekil 2.3'te verilmiştir [28]. Hisarcık ve Espey açık işletmelerinden elde edilen tüvenan tenörü yaklaşık %29 B_2O_3 olup, Konsantratör Tesis'i çıkış tenörü %41 dolayında gerçekleşmektedir [10, 15, 26].

2.4.2.1.3. Bigadiç Borat Yatakları ve Zenginleştirme Tesisleri

Yataklar, Balıkesir ili Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Bigadiç borat havzası yaşlı neojen tektonik bir gölün kapladığı alandır. Yataklarda; marn, borat, kil ve tuf ardışık dizilmişlerdir. Boratlar 1-3 m kalınlıkta tabakalar halinde killer arasında yer alır. Başlıca mineraller kolemanit ve üleksittir. Kolemanit yataklarındaki arsenik oranı çok düşüktür ki bu özellik cevherin önemini artırmaktadır [7]. Yatakların rezerv durumu;

Kolemanit: Toplam 58 milyon ton, ortalama %30 B₂O₃

Üleksit: Toplam 11 milyon ton, ortalama %30 B₂O₃

Bigadiç'te halen bir adet kapalı ve üç adet açık ocakta tüvenan kolemanit ve üleksit cevherleri üretilmektedir. Çıkarılan cevherler; konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemine tabi tutularak satılık ürün haline getirilmektedir. Tesiste yapılan zenginleştirme; cevheri su ile yıkayarak kil minerallerinden ayırma ve ardından da sınıflandırma işleminden ibaret olup üç ayrı boyutta konsantre ürün elde edilmektedir. Elle ayıklama, tamburla aktararak dağıtma, boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Tesise beslenen ortalama tüvenan cevher tenörü %30–32 B₂O₃ olup, elde edilen kaba konsantre tenörü %42 B₂O₃, ince konsantre tenörü %36 B₂O₃ ve ara ürün tenörü %29 B₂O₃ civarında gerçekleşmektedir. Artık ince ürün ise %16 B₂O₃ içermektedir. Tüvenanın üleksit olması halinde ise %30 B₂O₃' lük cevherden elde edilen kaba konsantrinin tenörü %38 B₂O₃, ince konsantre tenörü ise %26 B₂O₃ olarak gerçekleşmektedir [6, 10, 26].

2.4.2.1.4. Kestelek Kolemanit Yatakları ve Zenginleştirme Tesisleri

Bursa ilinin Mustafa Kemal Paşa ilçesinin güneydoğusunda yer almaktadır. Yatak, klasik Neojen sedimantasyonunda oluşmuştur. Neojen tortuların kalınlığı yer yer volkanitlerle ve genç alüvyonlarla örtülmüştür. Boratlı katmanlar, kil-marn tuf serisi içinde oluşmuştur. Killerle ayrılmış üç boratlı katman vardır. Bu katmanlarda boratlar kolemanit yumruları biçimindedir. Yumruların büyüklükleri bir kaç cm' den 80–100 cm'ye kadar değişir. Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, propertit, meyerhofferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür. Yatağın ortalama %29.4 B₂O₃ tenörlü toplam 7 milyon ton rezervi vardır [10, 26].

Konsantratör tesisi kırma, ıslatma, yıkama, eleme ve triyaj ünitelerinden oluşmakta olup konsantratör de işlenen tüvenan cevher kapasitesi 200.000 ton/yıl ve elde edilen konsantre ise 90.000 ton/yıl'dır [6].

3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Bor Atıklarının Çevreye Etkileri ve Değerlendirilmesi

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

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların; miktarlarının giderek artması, depolanacağı yer, doğa tahribatı atıkların stabilitesi ve emniyeti, hava, toprak ve su kirliliği ve ıslah çalışmaları başlıca çevre sorunlarıdır.

Atıklar ile ilgili standartlar, yönetmelikler ve ilgili kanunlarla getirilen sınırlamalar mevcuttur [6, 29, 30].

3.1.1. Bor Atıklarının Uygun Bir Şekilde Değerlendirilmesinden Elde Edilecek Avantajlar:

- Hali hazırda büyük bir potansiyel olan stoklar ülke ekonomisine kazandırılacaktır.
- Stoklama maliyeti azalacaktır.
- Çevre kirliliği önlenmiş olacaktır.
- Üretilen yeni ürünlerle ek kazanç sağlanacaktır.
- Atıkların yer altı ve yer üstü sularını kirletmesi önlenecektir.
- Atıkların atıldığı göletlerin yapım maliyetleri ve kapladıkları alanlar azalacak [6, 29, 30].

3.2. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri

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



Şekil 3.1. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri [6, 29, 30].

3.3. Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması

Genelde bor atıklarına, zenginleştirme sırasında atığa kaçan borun tekrar kazanılması amacıyla suda bekletme+sınıflandırma, gravite yöntemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, soda liçi, çözeltilme+flokülasyon, flotasyon, ısıl işlem (kalsinasyon, dekrepatasyon) ve briketleme yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği ve atıklardaki borun doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve önemli neticeler alınmıştır. Bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma+sınıflandırma yöntemleri ancak iri boyutlara uygulanabilmekte, ince boyuttaki (-0.5 mm) %15–20 B₂O₃ tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir. Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve para manyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek olan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir. Amerikan Borate Corporation şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmesinde flotasyon ve kalsinasyon yöntemleri de kullanılabilir [6, 29, 30].

Flotasyonla yapılan bor zenginleşmede mekanik dağıtma ve sınıflandırma ile kil içerikli şlamın atılması ve doygun bor çözeltilerinde çalışılması gereği üzerinde durulmaktadır. Şlam halinde bulunan kilin bor mineralleri üzerine şlam kaplama mekanizması nedeniyle flotasyon verimini düşürdüğü kanıtlanmıştır. %5 oranında kil varlığında bile flotasyon verimi büyük ölçüde düşmektedir. Kilin kolemanit yüzeyine elektrostatik çekim vasıtasıyla yapıştığı tespit edilmiştir [16, 37, 38, 39]. Bor minerallerine 400–600°C’de kristal sularını uzaklaştırması

amacıyla yapılan işleme kalsinasyon (dekrepitasyon) denmektedir. Bor mineralleri kalsinasyon esnasında bünye suyunu atıp; patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olduğu yanında çevre kirliliği meydana getirmediği belirtilmektedir. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. Konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkların kalsinasyon ile zenginleştirilmesinin TÜBİTAK tarafından proje kapsamında çalışıldığı ve hatta Etibank'ın Banaz'da pilot çapta bir tesiste denemeler yapılmıştır. Araştırmalar bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kazanılabileceğini göstermiştir [34,35].

3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması

Bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, bu atıkların seramik ve inşaat sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killerin tuğla sanayinde değerlendirmesi ile hem tuğla sanayinde ek hammadde kaynağı sağlamakta hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler aza indirilmektedir. Atık killer seramik sanayinde frit, sır ve masse yapımında, ayrıca inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında dolgu malzemesi olarak ta değerlendirilebilir [6, 29, 30].

3.5. Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması

Tesislerde zenginleştirme sonucu ortaya çıkan ince artıklar atık barajına verilmeden önce uygun zenginleştirme yöntem veya yöntemleri ile bor kazanılmalı ve geriye kalan artıklar tıknere beslenmelidir. Etkili bir çökeltme işleminden sonra suyu yeniden kazanılan nihayi artıklar diğer endüstriyelerde kullanılma olanağı düşünülerek barajlarda stoklanmalıdır.

4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

4.1. Boyuta Göre Zenginleştirme

Cevherlerin ufalama işlemleri esnasında farklı minerallerden meydana gelmesi nedeni ile farklı büyüklük ve şekillerde kırılması söz konusu olabilir. Bir mineralin kırılmaya karşı dayanıklılığını diğer minerallerden çok farklı olması bir veya daha çok mineralin iri veya ince tanelerde önemli ölçüde zenginleşmesine yol açabilir. Daha sonra kırılma ürünü üzerine yapılacak bir boyuta göre sınıflama ile bu iki farklı ürünü ince ve iri taneler halinde ayırarak bir ölçüde konsantre ve artık elde edilebilir. Boyuta göre sınıflama, elekler, klasifikatörler ve siklonlar ile yapılabilir. Kırma işlemleri esnasında kristal yapılarındaki farklılık dolayısı ile cevherleri oluşturan mineraller farklı şekilde kırılabilir. Bazı cevherler, örneğin bor cevherleri kil ile karışık halde bulunur. Böyle bir cevher kırılmaya tabi tutulursa kil mineralleri ve diğer yararlı mineraller serbest hale gelir. Bu karışım su ile yıkanırsa kil mineralleri suyla dağılarak çok ince bir şlam oluşturur. Bu şlam karışımından ayrılırsa geride yararlı mineral konsantresi ve kilden ibaret artık elde edilir. Kilin yıkanması işlemi için kullanılan başlıca aygıtlar kütüklü yıkayıcı, pervaneli yıkayıcı ve aktarma tamburlarıdır. Karıştırma süresi, karıştırma hızı, yıkama çözeltisinin süspansiyon yoğunluğu, dağıtıcı kimyasal cinsi ve dozaj, katı/sıvı oranı ve tane boyutu bu zenginleştirme işleminde etkili olan parametrelerdir [10].

4.2. Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme

Bor cevherlerinde, mineralojik bileşimi açısından gang minerali olarak kil bulunmaktadır. Bor mineralinin özgül ağırlığı $1,5-2,5 \text{ gr/cm}^3$, gang minerali kilin ise $2-3 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Gravite zenginleştirmesinde, aralarındaki özgül ağırlık farkı nedeni ile akışkan ortamdaki hareket farklılığına dayanılarak mineral tanelerinin birbirinden ayrılmaları sağlanmaktadır. Mineral tanelerinin akışkan ortamdaki hareketleri, özgül ağırlığın yanı sıra şekil, tane boyutu ve ağırlığı ile yakından ilişkilidir. Bor mineralini, genelde yan kayaç olarak bulunan kil mineralinden ayırmada, boyuta göre zenginleştirme ve yıkama-dağıtma yöntemleri başarılı olamaz ise diğer yöntemlere göre daha ekonomik olması açısından gravite ile zenginleştirme yöntemi denenebilir [10, 31].

4.3. Manyetik Zenginleştirme

Manyetik ayırma cevher içerisinde bulunan veya sonradan karışmış olan demirli safsızlıkların temizlenmesi ve demir cevherinin zenginleştirilmesi için kullanılan yöntemdir. Genellikle kuvvetli manyetik özellik gösteren minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır. Kil

içerisinde Fe_2O_3 içerikli biyotit bulunmaktadır. Biyotitin manyetik çekilebilirlik değeri 5,88-8,90 olduğundan orta derecede manyetik, bor mineralinin çekilebilirlik değeri olmadığından diamagnetiktir. Bu aradaki manyetik çekilebilirlik farkından dolayı bu yöntem kullanılabilir. Manyetik kuvvetler, yerçekimi, merkezkaç, sürtünme ve atalet kuvvetleri, parçacıklar arası itici veya çekici elektrostatik kuvvetler manyetik zenginleştirmede etkili olan parametrelerdir [10].

4.4. Dekrepitasyon Yöntemi ile Zenginleştirme

Bor cevheri ısı işleme tabi tutulduğunda kristal suyunu kaybederek şişme özelliği gösterip zayıf bir yapıya dönüşür ve kırılabilir yapı kazanır. Gang minerali kilden eleme yöntemi ile kolayca ayrılmaktadır. Bu eleme işlemi esnasında bor minerali, kil mineralinin tane boyutundan daha ince bir boyuta indiğinden elek altından alınır. Bu yöntemde etkili parametreler, sıcaklık aralığı, ısı işlem süresi ve tane boyutudur [10, 26, 32, 34, 35].

4.5. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme

Mineraller arası elektrik iletkenlik farkına dayanan, elektrostatik kuvvetlerin aktif olduğu bu yöntemde, minerallerin yüksek gerilim altındaki statik bir elektrik yükü kazanma, bu yükü bir süre kaybetmeme veya tamamen iletirken kaybetme özelliklerinden yararlanılmaktadır [10, 26, 32].

4.6. Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme

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

Flotasyon kelimesinin sözlük anlamı yüzdürmedir. Flotasyon boyut küçültme ile yeterince serbest hale getirilmiş (serbestleşme oranı %75-80) mineral taneciklerinden (genel olarak -250 +20 mikron arası) ve sudan oluşan sistem içerisine (pülp) hava verilerek oluşturulan uygun çaplı hava kabarcıklarının yüzeyine, arzu edilen mineral taneciklerinin (seçimli olarak) yapışması ile oluşan kabarcık-tanecik agregasının pülp yüzeyine çıkması neticesinde yapılan zenginleştirme işlemidir. Kısacası, minerallerin seçimli olarak sulu ortamda hava kabarcıkları yardımıyla ayrılmasını sağlayan bir cevher zenginleştirme yöntemidir. Genellikle düşük tenörlü ve ince boyutta serbestleşen, diğer yöntemlerle ekonomik olarak zenginleştirilemeyen minerallerin zenginleştirilmesinde kullanılır [33].

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

1. Mekanik Karıştırma

- Flotasyon hücreleri (selüller),

2. Hava ile Karıştırma

- Flotasyon kolonları,
- Jameson flotasyon hücresi (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 [33].

Bu aletlerde aranan temel özellikler şunlardır;

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

Minerallerin fiziko-kimyasal yüzey ve arayüzey özellikleri farklılıklarından yararlanan bu proses, oldukça karmaşık (kompleks) bir işlemdir. Diğer zenginleştirme yöntemleri katı taneçiklerin kütesinden ve hacminden yararlanırken flotasyon katının yüzey ve arayüzey özelliklerinden yararlanır. Flotasyon işleminin başarısı çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik faktörlere bağlıdır ve bu faktörler arası etkileşim kaçınılmazdır [33].

Laboratuvar boyutunda Denver flotasyon hücresinde daha önce yapılmış bazı Denver flotasyon çalışmaları aşağıda verilmiştir;

Özkan, Alp ve Veasey'in (1993), yapmış oldukları flotasyon çalışmalarında toplayıcı olarak 1500 g/ton R-825, köpürtücü olarak 100 g/ton AF70 kullanarak -210 mikron boyutlu ve, %40 B₂O₃ içerikli malzemedan %48 B₂O₃ tenörlü konsantre %90 verimle kazanılmıştır.

Gül, Kaytaç ve Önal, (2005), yaptıkları flotasyon çalışmalarında toplayıcı olarak R801, R825, Hoechst F-698 , bastırıcı olarak Ke-1365, Dekstrin , Na₂SiO₃, Cataflot P-40 ve köpürtücü olarak ise Flotarol D-14 kullanarak -0.074 mm boyutlu ve %32 B₂O₃ içerikli malzemedan %44.50 B₂O₃ tenörlü konsantre %86.1 verimle kazanılmıştır.

Özkan (2001), Emet kolemaniti üzerine yaptığı flotasyon çalışmasında R-825 toplayıcısını kullanarak -210+38 µm boyutlu ve %40-43 B₂O₃ içerikli malzemeden yüksek verimlere ulaşmış fakat tenörde fazla bir artış sağlayamamıştır. Bunun yanında artık tenörü %20 B₂O₃ içerikli olmuştur.

Yargan'ın, 2007, Emet Espey artık barajı kolemaniti üzerinde yaptıkları çalışmada toplayıcı olarak R-801, bastırıcı olarak ta nişasta kullanarak -150+38 µm boyutlu %36.52 B₂O₃ içerikli malzemeden %46.42 B₂O₃ tenörlü konsantre %99.09 verimle kazanılmıştır.

4.6.1. Jameson Kolonu

Jameson flotasyon hücresi, flotasyonu sorunlu ince taneli minerallerin flotasyon verimini arttırmak amacıyla son yıllarda geliştirilmiş yeni bir alettir. Çalışma ilkeleri ve tasarımı açısından diğer flotasyon aletlerinden farklı olan Jameson hücresi üzerine araştırmalar halen devam etmektedir. 1989 yılında Profesör Greame Jameson tarafından tasarlanan flotasyon hücresi günümüzde endüstriyel boyutta yaygın olarak uygulanmaktadır.

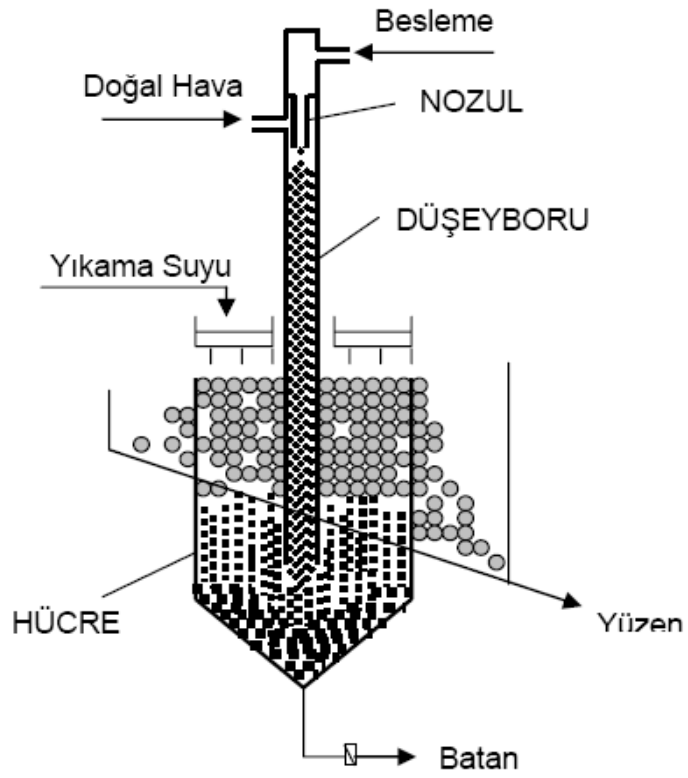
Jameson flotasyon hücresinin ince taneli minerallerin flotasyonunda tercih edilen alet olmasının iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi; aletin küçük boyutta hava kabarcığı üretmesi ve düşeyboruda yüksek yoğunlukta hava kabarcığının bulunması (yüksek hava tutunumu/hacimsel hava miktarı) nedeniyle tane kabarcık arasındaki çarpışma olayının olasılığının yüksekliğidir. İkincisi ise; tanenin alet içinde kalma süresinin (residence time) kısa olması nedeniyle yüksek zenginleştirme kapasitesidir. Bu iki durum Jameson hücresine büyük avantajlar sağlamaktadır [40].

4.6.1.1. Jameson Kolonu Tanıtımı ve Çalışma Prensipleri:

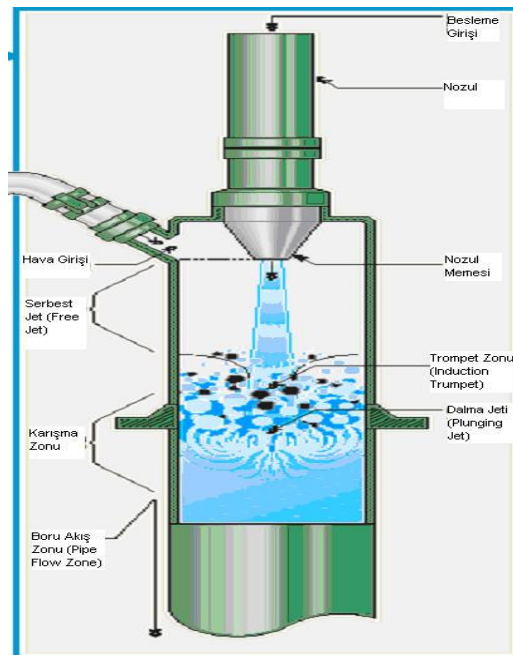
Dizaynı ve çalışma prensipleri açısından mekanik flotasyon hücrelerinden ve klasik flotasyon kolonlarından önemli farklılıklar gösteren Jameson kolonu, temel olarak iki ana bölümden oluşur.

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi jameson hücresi temel olarak iki ana bölümden oluşmaktadır:

- İlki, basınç altında pülpün beslendiği ve tane kabarcık temasının sağlandığı (flotasyonun mikro-olaylarının gerçekleştiği) silindirik bir düşeyboru,
- Diğeri ise, ayırımın gerçekleştirildiği (tane yüklü kabarcıkların pülpden ayrılarak köpük zonundan uzaklaştırıldığı) hücre.



Şekil 4.1. Jameson kolonu şematik görünümü[36].



Şekil 4.2. Düşey boru [44].

Düşeyboru (Şekil 4.2) yaklaşık olarak 1,5–2 metre boyunda, 15–50 mm çaplarındadır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi düşey borunun üst kısmında pülpün beslendiği nozul (3,5–10 mm çaplarında) ve düşeyborunun üst kısmında ise düzenli hava girişinin sağlandığı hava giriş deliği bulunmaktadır. Hücre dışında koşullandırılan pülp, yüksek basınç altında (110- 170 kPa) pompa yardımıyla nozula beslenir. Pülp nozuldan yüksek bir hızla düşey boruya su jeti şeklinde geçer. Nozula besleme esnasındaki yüksek basınç ve nozul çıkışında oluşan alçak basınç farkı nedeniyle, doğal hava girişinden hava vakumlanır. Hidrostatik basınç farkı ile emilen hava, dalan su jeti yardımıyla pülp çözeltisi içine alınır. Emilen havanın debisi kontrol edilerek düşeyborunun belli bir seviyesinde pülp-hava karışımı sağlanır. Karışımın başladığı seviye ile nozul ucu arasında kalan mesafeye su jeti uzunluğu adı verilir. Vakumlanan doğal hava pülp içinde çapları oldukça küçük hava kabarcıklarına (400–800 mikron) dönüşür. Dar hacimde oluşan kabarcık ve taneciklerin yüksek karışım ve yüksek hava tutunumu (%50–70) düşeyboruda hızlı ve zorunlu tane-kabarcık temasını ve haliyle hidrofob tanelerin hava kabarcıklarına yapışmasını sağlar.

Düşeyborunun alt ucu, hücrenin üst kısmında oluşan köpük zonu altında olacak şekilde yerleştirilir. Buradan kabarcıklara yapışan taneler ve hidrofil taneler hücreye boşalır. Hücrenin kesit alanı düşeyboruya göre oldukça büyük olduğundan buradaki ortam düşeyboruya göre daha sakindir. Hidrofil taneler ve pülp çözeltisi hücrenin alt kısmından uzaklaştırılırken, tane yüklü kabarcıklar hücre içinde yukarı doğru yükselerek köpük zonunu oluştururlar. Sistemin pozitif biasta çalışması ve arzu edilen köpük zonu kalınlığını korumak amacıyla aynı zamanda hücrenin üst kısmından (özellikle temizleme flotasyonunda) yıkama suyu ilave edilir [40].

Kolonun hücre kısmı, kabarcık- tanecik agregaların hidrofil tanelerden ayrıldığı bölgedir. Agregalar hücrenin üst kısmına doğru yükselerek köpük zonunu oluşturur. Hidrofil taneler ise hücrenin altından kolonu terk eder. Hücrenin üst kısmında oluşan köpük bölgesine yıkama suyu ilave edilir. Şekil 4.1’ de Jameson flotasyon hücresinin düşey borusunu görüyoruz. Flotasyonla ilgili bütün mikro-olaylar bu boruda gerçekleşmektedir [46].

4.6.1.2. Çalışma Parametreleri

Jameson kolonunun çalıştırılması sırasında dikkat edilmesi ve optimum seviyede tutulması gereken bazı çalışma parametreleri aşağıda verildiği gibidir.

a) Köpük Derinliği

Jameson hücresinde oluşan köpük fazı derinliği diğer konvansiyonel flotasyon hücrelerinde olduğu gibi, kontrol altında tutulmalıdır. Eğer köpük derinliği gereğinden az olursa verimi yüksek, tenörü düşük bir konsantre elde edilir. Ayrıca sıg- köpük fazlarında hidrodinamik yolla 10 μm 'den daha küçük atık mineral tanelerin konsantre içerisine sürüklenmesi de söz konusudur [36].

b) Kesitsel Hava Hızı

Kesitsel hava hızı, havanın flotasyon hücresi içerisinde aşağıdan yukarıya doğru olan net hızıdır (hava debisi/hücre kesitsel alanı).

c) Kabarcık Boyutu

New Castle üniversitesi tarafından pilot çaptaki ve endüstriyel boyutlu Jameson hücreleriyle yapılan çalışmalar sonucunda optimum ortalama köpük kabarcığı çapının 300 ile 600 mikrometre arasında olması gerektiği bulunmuştur. Konvansiyonel kolon hücrelerindeki kabarcık boyutu ile karşılaştırıldığında Jameson Hücresi'ndeki kabarcık boyutunun çok daha küçük olduğu görülecektir. Küçük boyutlu kabarcıkların oluşturulması toplam köpük yüzey alanının artmasına neden olur. Böylelikle flotasyon veriminde ya da katı malzeme kazanım oranında önemli bir artış sağlamaktadır [36]. Ayrıca ince tane-kabarcık çarpışma olasılığını arttırmaktadır [45].

d) Hava Miktarının Besleme Miktarına Oranı

Uygulama alanına kullanılan tane boyuna ve diğer pek çok değişkene bağlı olarak kısaca hava-besleme olarak tanımlayabileceğimiz bu oran 0.3–1.2 arasında değişmektedir. Şimdiye kadar yapılan araştırmaların sonuçları incelendiğinde optimum hava-besleme oranının 0.9–1.1 arasında olması gerektiğini göstermektedir [36].

e) Yıkama Suyu Oranı

Yıkama suyu oranı, yıkama suyu hızının konsantredeki su miktarına bölünmesi olarak ifade edilir. Diğer bir genel yöntem ise bütün sistemdeki net su akış miktarının (bias miktarı) hesaplanmasıdır [36].

f) Hacimsel Hava Miktarı (Hold-up)

Jameson Flotasyon hücresi'nde besleme borusu içindeki hacimsel hava miktarı Flotasyon sürecinde önemli bir değişken olarak görülmektedir. Buradaki hacimsel hava miktarı

toplam hacmin %50 ile %60'ı arasında değişmektedir. Besleme borusundaki hacimsel hava miktarı yalıtım ya da kondüktivite yöntemleriyle doğrudan ölçülebilmektedir. Hacimsel hava miktarını hesaplamak mümkündür [36, 45].

g) Taşıma Kapasitesi

Taşıma kapasitesi birim hücre kesit alını başına düşen en yüksek konsantrasyon üretim oranı olarak açıklanmaktadır. Birimi gr/dk/cm^2 olarak verilmiştir. Bilindiği üzere kabarcıklar tarafından taşınan hidrofobik tanecik miktarı kabarcıkların toplam yüzey alanları ile doğrudan ilgilidir. Diğer önemli bir etken ise tane boyutudur [36].

4.6.1.3. Jameson Kolonunun Avantajları

Jameson Flotasyon hücresi diğer konvansiyonel kolon yöntemleriyle karşılaştırıldığında özellikle ilk maliyet, işçilik, tamir-bakım ve flotasyon verimi açısından pek çok üstün yanları olduğu görülmektedir. Jameson Flotasyon yönteminin bu üstün yanları şöylece sıralanabilir [36].

a) Hiçbir şekilde herhangi bir hava kompresörüne gerek yoktur. Hava kendiliğinden ve doğal olarak makine içerisine girer.

b) Diğerleriyle karşılaştırıldığında maliyeti çok daha düşüktür. Sistem kurulduktan ve çalışmaya başladıktan sonra çok fazla bir müdahaleye gerek olmadığından işçilik maliyeti de çok azdır.

c) Bakım-onarım masrafları, diğerlerine göre çok düşüktür.

d) Bir pülp pompası dışında hareketli ya da yüksek devrimli parçası yoktur.

e) Bütün sistemi kontrol etmek diğer yöntemlere göre çok daha kolaydır.

f) Kapladığı alan ve yükseklik bakımından konvansiyonel kolon flotasyon yöntemine göre çok daha avantajlıdır.

g) Kalma süresi diğer yöntemlere göre çok daha kısadır.

h) Kömür flotasyonunda yüksek kazanım ve düşük kül yüzdesi elde edilebilir.

i) Enerji tüketimi açısından Jameson yöntemi çok daha avantajlıdır.

j) Jameson Flotasyon yönteminin diğer bir üstün yönü ise çok geniş tane boyut aralığına sahip olmasıdır. Diğer bir deyişle çok iri ya da çok ince taneciklerle çalışabilme becerisine sahiptir. Her türlü tane boyutunda yüksek verim elde etmek olasıdır [36].

4.6.1.4. Jameson Flotasyon Hücresi Uygulamaları

Yaklaşık iki yüz adet Jameson kolonu, dünya genelinde yüzden fazla işletmede, metalik cevherlerden kömüre, endüstriyel minerallerden çevre kirliliğini önlemek amacıyla artık su temizleme, mandıra, mezbaha artıklarını temizleme, metal cürufu artıklarından geri kazanıma kadar birçok farklı alanda başarıyla uygulanmaktadır [48].

Çizelge 3.1 ve 3.2’de Jameson flotasyon teknolojisinin farklı uygulama alanlarında kullanıldığı tesisler detaylarıyla verilmiştir [48].

Çizelge 3.1. Jameson Kolonunun metal cevherlerindeki uygulamaları [48].

Şirket	Ülke	Uygulama	Yıl	Sayı
Minera Alumberra	Arjantin	Bakır (Temizleme)	1996	14
Amalg Syndicate	Avustralya	Bakır Nikel	1991-1996	3
Mount Isa Mines	Avustralya	Kurşun-Çinko (Temizleme, İnce Taneflot., Ara Ürün Zeng.)	1988-1999	9
North Ltd.	Avustralya	Bakır (Temizleme)	1994	4
Posgold	Avustralya	Bakır (Temizleme)	1990	2
Western Mining Corp.	Avustralya	Bakır (Temizleme)	1994	1
Compania Min. Del Sur	Bolivya	Çinko (Süpürme)	1995	1
Solmil	Bolivya	Çinko (Kaba Flotasyon)	1997	1
Kidd Creek	Kanada	Bakır (Temizleme)	1992	2
Mantos Blancos	Şili	Bakır (Kaba)	1993	1
Mamut Copper	Malezya	Bakır (Temizleme)	1991	1
Nabib Lead	Nambiya	Çinko (Kaba Flotasyon Devreleri)	1996	4
Ok Tedi Mining Ltd.	Papua Y.Gine	Talk Temizleme (Bakır)	1997	4
Minera Nor Peru	Peru	Çinko (Temizleme)	1994	1
Glencore	Peru	Pb-Zn (Kaba Flotasyon)	2000	1
Maricalum Mining	Filipinler	Bakır (Kaba-Temizleme Ve Süpürme Flotasyonu)	1994	9
Pasar	Filipinler	Bakır Cürufu (Süpürme Ve Temizleme Flot.)	1994-1997	2
Philex Mining Corp.	Filipinler	Bakır (Temizleme, Kaba Ve Süpürme Flotasyonu)	1993-1995	15
Amandelbult	G.Afrika	Platin	1998	1
Genmin	G.Afrika	Platin	1993	1
Rustenberg Platinum	G.Afrika	Platin	1995-1998	3
Cons Murchison	G.Afrika	Antimon	1992-1994	4
Renco	Zimbabve	Au (Temizleme Flotasyon)	1997	1
Toplam				85

Çizelge 3.2. İnce kömür ve kömür şlamı uygulamaları [48].

Şirket	Ülke	Uygulama	Yıl	Sayı
Rio Tinto	Avustralya	İnce Kömür	1995	2
BHP Aust Coal	Avustralya	İnce Kömür	1993-1996	22
CIM Resource	Avustralya	Kömür Şlamı	1996	2
Coal Operations Lim.	Avustralya	İnce Kömür	1997	1
Minpro Lmt.	Avustralya	Kömür Şlamı	1994	1
Moranbah North Coal	Avustralya	İnce Kömür	1997	6
Mount Isa Mines	Avustralya	İnce Kömür Kömür Şlamı	1998-2001 1990	7 12
Portman Mining	Avustralya	İnce Kömür	1994-1998	4
Warkworth Min.Ltd.	Avustralya	İnce Kömür	2000	4
White Mining Ltd.	Avustralya	Kömür Şlamı	1993	2
Thiess Contractor	Avustralya	İnce Kömür	1999	-
Steel Auth India	Hindistan	Kömür Şlamı	1996	1
ATCOM	G.Afrika	Kömür Şlamı	1996	2
Springlake Colliery	G.Afrika	Kömür Şlamı	1995	1
A T Mossey	ABD	Kömür Şlamı	1998	4
R & P	ABD	İnce Kömür	1998	1
Sedgeman	ABD	İnce Kömür	1998	1
Vigo Coal	ABD	İnce Kömür	1998	1
Ohio Valley Coal	ABD	İnce Kömür	1998	2
Carbontronics	ABD	İnce Kömür	1999	1
The Daniels Co.	ABD	İnce Kömür	1999	1
Gibraltar	ABD	İnce Kömür	1999	1
Toplam				79

Bunlarla birlikte, Jameson Kolonu ile zenginleştirme işlemi yapılan endüstriyel hammaddeler de bulunmaktadır. Jameson kolonunun endüstriyel hammadde uygulamalarından bir tanesi İngiltere’de Cleveland Potash Şirketi’nin 1994 yılında çalıştırmaya başladığı potas tesisi ve diğer iki tanesi de Mozambik’te sırasıyla 1994 ve 1997 yıllarında kurulan grafit tesisleridir [48].

Ayrıca son yıllarda çevrenin çok önemli olduğu tesis atık sularının arıtımında da endüstriyel amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır [48].

Tesislere kurulan hücrelerin %37’si ince kömür kazanımında: %43’ü metal cevherlerinde (Cu, Pb, Zn, Ni, Pt, Au, Sb) kaba, süpürme ve temizleme flotasyonu devrelerinde, %18’i çözücü ekstraksiyonunda elektrolit ve rafine temizlemede (Cu, Ni, Co, Zn) ve geri kalanı da potasyum-grafit gibi endüstriyel hammaddelerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır [48].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI

5.1. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde Kütahya-Emet bölgesinde faaliyet gösteren Emet Etibor Genel Müdürlüğü Espey Konsantratör tesisi (Şekil 2.3) ince (-3 mm) atık barajından alınan numuneler kullanılmıştır. Atık barajının değişik noktalarından temsili olarak kürekle alınan yaklaşık 150 kg numune, DPÜ Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği cevher hazırlama laboratuvarına getirilmiştir. Numune, içinde bulunan nemi kaybetmesi için 2 gün laboratuvar atmosferinde kurutulmuştur. Daha sonra numune bölücü ve konileme-dörtleme yöntemleri kullanılarak, elek analizi, kimyasal analiz ve zenginleştirme deneyleri için temsili olarak ayrılmış ve torbalanmıştır.

Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi Çizelge 5.1’de, tane boyutuna bağlı B₂O₃ dağılımları da Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Numunenin kimyasal analizi [39]

İçerik	Miktar (%)	İçerik	Miktar (%)
B ₂ O ₃	26,3	TiO ₂	0,33
CO ₂	11,3	Cr ₂ O ₃	0,0146
F	0,842	MnO	0,0985
Na ₂ O	0,191	Fe ₂ O ₃	2,85
MgO	6,29	NiO	0,0102
Al ₂ O ₃	8,3	ZnO	0,0099
SiO ₂	25,7	As ₂ O ₃	0,448
P ₂ O ₅	0,128	Rb ₂ O	0,0472
SO ₃	0,953	SrO	0,612
Cl	0,0196	Cs ₂ O	0,113
K ₂ O	2,38	BaO	0,0635
CaO	13	PbO	0,0052
		Toplam	100

Çizelge 5.2. Numunenin tane boyut ve B₂O₃ içeriği

Elek Açıklığı (µm)	Miktarı (%)	K.E.A. (%)	B ₂ O ₃ (%)
-3000 + 2000	2,68	100	38,18
-2000 + 1000	2,13	98,28	40,49
-1000 + 500	4,2	96,15	40,4
-500 + 425	6,45	91,95	38,12
-425 + 250	12,06	85,5	42,67
-250 + 212	2,1	73,44	39,22
-212 + 150	20,76	71,34	27,64
-150 + 125	1,7	50,58	29,26
-125 + 106	6,19	48,88	32,2
-106 + 75	3,45	42,69	33,86
-75 + 53	2,64	39,24	35,82
-53 + 38	0,7	36,6	35,9
-38	35,9	35,9	8,79
Toplam	100	0	26,33

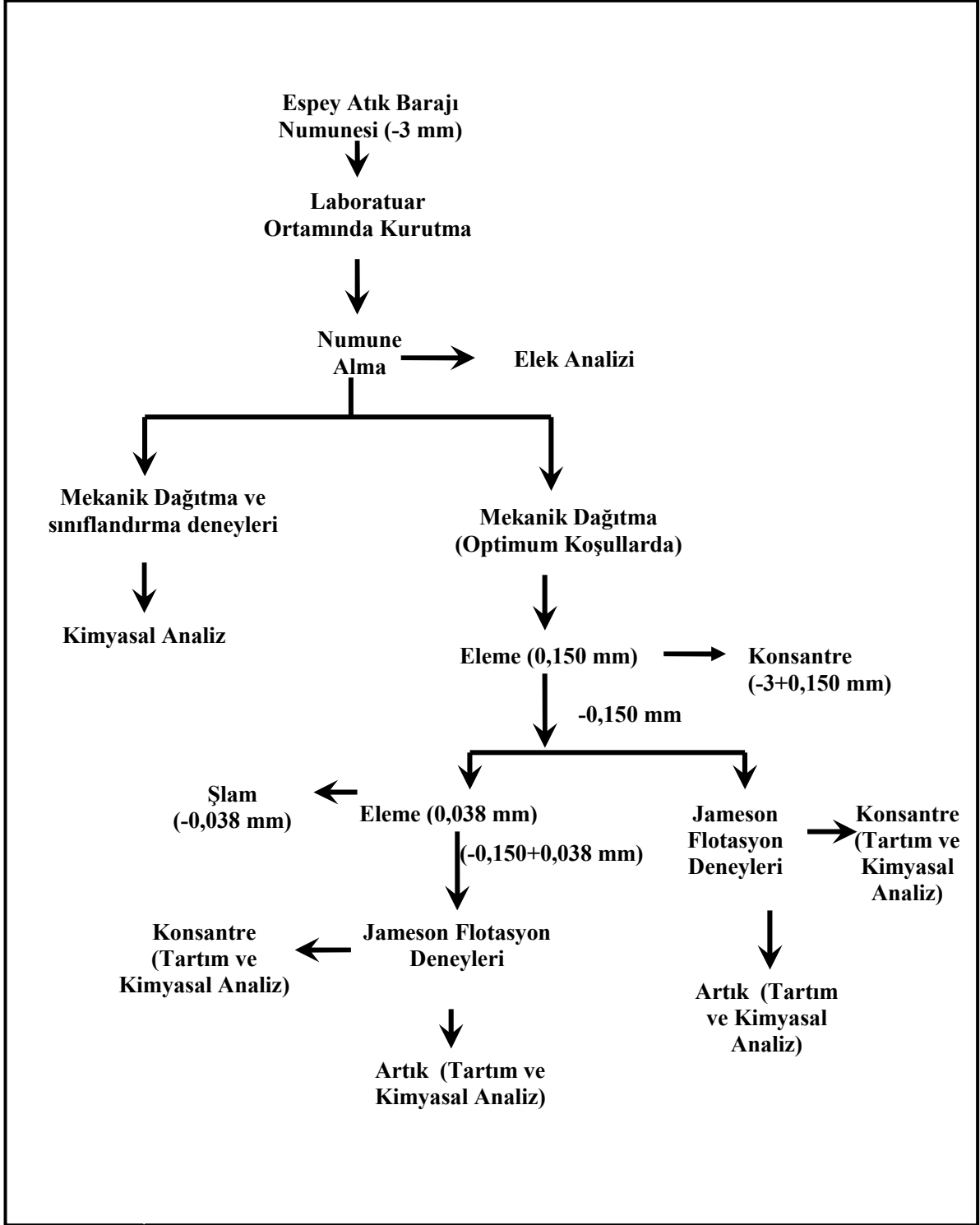
Tesis artığı numunelerinde kolemaniti kazanmak amacıyla ilk aşamada mekanik + kimyasal dağıtma + sınıflandırma yöntemi ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu aşamada istenilen tenör değerine ulaşamayan fraksiyon ise Jameson flotasyon kolonu ile kazanılmaya çalışılmıştır.

Tesis atığı numunelerin mekanik dağıtma ile zenginleştirme deneylerinde Denver flotasyon hücresinde yapılmıştır. Mekanik dağıtma deneyleri sırasında Denver flotasyon hücresine sağa, sola ve arkaya olmak üzere üç adet dalga kıran takılmıştır. Tüm mekanik dağıtma deneyleri 2 litrelik selülde gerçekleştirilmiştir. Bütün deneylerde doygun bor çözeltisi kullanılmıştır. Mekanik dağıtma ile kolemanit atığını zenginleştirme deneylerinde kili dağıtmak amacı ile iyi bir kil dağıtıcı olan analitik kalitede sodyum hegzametafosfat (Na(PO₃)₆) kullanılmıştır.

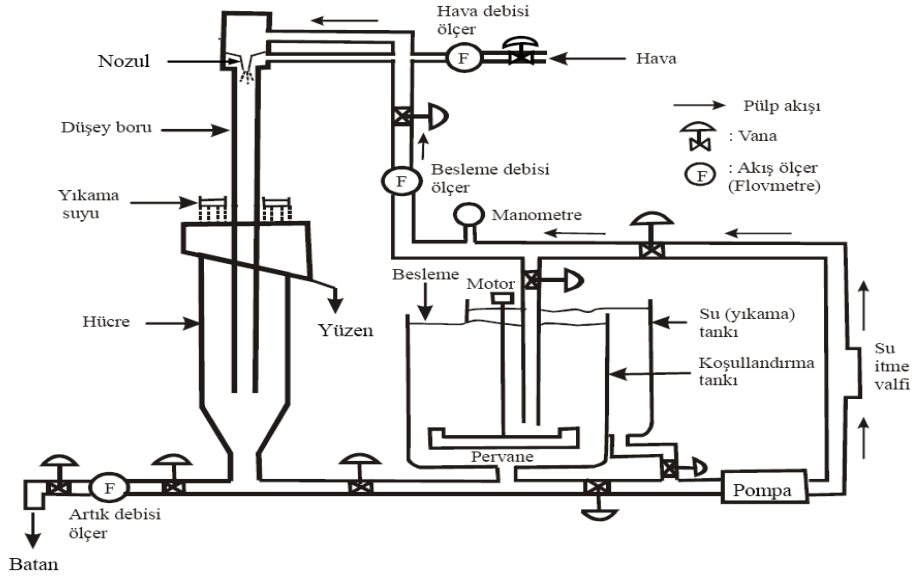
Kolemanit mineralini flotasyon tekniği ile kazanabilmek için flotasyon deneyleri Şekil 5.2’de görülen Jameson flotasyon kolonu kullanılarak yapılmıştır. Bütün deneylerde çeşme suyu kullanılmıştır. Bastırıcı olarak Güneş marka mısır nişastası, toplayıcı olarak da Cyfec firması tarafından üretilen sülfanat tipi R801 toplayıcısı kullanılmıştır. Köpürtücü olarak MIBC kullanılmıştır.

Çalışmalardaki bütün B₂O₃ analizlerinde kimyasal yaş analiz yöntemi yani titrimetrik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan çalışmaların akım şeması şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Espey artık barajından alınan numune ile yapılan çalışmaların akım şeması



Şekil 5.2. Jameson flotasyon hücresi deney düzeneği

Deneysel çalışmalar deney düzeneği Şekil 5.2'de belirtilen Jameson hücresinde yapılmıştır. Jameson hücresi için farklı çaplarda düşeyboru, nozul ve hücreler yaptırılmıştır. Bu parçaların her biri, kolay bir şekilde sökülüp takılacak şekilde tasarlanmıştır. [40]

Şeffaf pleksiglastan yapılmış iç çapları 145–195–295 mm olan üç hücre; iç çapları 16–21–26–36–46 mm olan şeffaf pleksiglastan yapılmış beş tane düşeyboru ve paslanmaz dökme çelikten imal edilen ve çıkış çapları 3–4–5–6–7–10 mm olan altı tane nozul bulunmaktadır. Jameson hücresi; besleme pompası, koşullandırma tankı ve su (yıkama) tankı taşınabilir tek bir platform üzerinde bir arada olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede çalışma kolaylığı ve rahatça her yere taşınabilme gibi pek çok avantajlar sağlanmıştır. Sistemde koşullandırma tankındaki pülpü düşeyboruya basınçlı bir şekilde beslemek için santrifüj tipi bir pompa, yıkama suyu için peristaltik pompa, besleme basıncını ölçmek için manometre, besleme-atık debimetreleri ve giren hava miktarının ölçülebilmesi için hava debimetresi (anemometresi) bulunmaktadır. Deneysel çalışmalarda;

- Su tankına su ve köpürtücü ilave edilerek karışım sabit devirli pompa aracılığı ile belirli bir basınç altında nozula gönderildiğinde, sistem çalışmaya başlamış ve hücre doldurulmuştur. Deneysel esnasında yıkama suyu kullanılmış, artık çıkışı tamamen kapalı tutulurken taşan su ise su tankına geri beslenmiştir.
- Daha sonra hücrenin önceden belirlenen çalışma değişkenleri ayarlanmıştır. Besleme borusu üzerinde bulunan vana sayesinde besleme basıncı ve jetin hızı değiştirilmiş, debimetre ile

besleme debisi ölçülmüştür. Giren hava miktarı, hava giriş borusu üzerinde bulunan valf ile kontrol edilmiştir. Bu valfi açıp kısarak farklı jet uzunluğu değerleri elde edilmiştir. Deney sırasında hava giriş borusuna takılan debimetre ile giren hava hızı/debisi ölçülmüştür.

Deneylerde kullanılan Jameson flotasyon Kolonu ölçüleri;

Hücre Çapı (D_H) : 20 cm

Düşey boru Çapı ve boyu (L_C) : 2 cm ve 180 cm

Nozul Çapı (D_N) : 4 mm

Deneylerde ilk önce 80 lt'lik yıkama tankına su doldurularak köpürtücü ilave edilmiş ve sirkülasyon yapılarak karıştırılmıştır. Bu su hücreyi doldurmaya ve her flotasyon işleminde yıkama suyu vermeye yeterlidir. Daha sonra numune koşullandırma tankında gerekli reaktifler eklenerek koşullandırılmış ve yaklaşık 1 dak süreyle hücreye beslenmiştir. Hücrede kalan hidrofob taneleri almak için koşullandırma tankı vanası kapatılarak yıkama suyu tankı vanası açılmış ve hücrede hiç hidrofob tane kalmayınca kadar yıkama tankındaki su hücreye beslenmiştir.

5.2. Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyutu Analizleri

Emet-Espey artık barajından alınan numunenin kimyasal analiz değerlerine bakıldığında (Çizelge 5.1) barajda %26.33 oranında B_2O_3 olduğu görülür. Bu tenör normal olarak başka ülkeler için tesis giriş tenörüdür. Ayrıca konsantride istenmeyen As_2O_3 oranı da %0.448'dir.

Artık barajı numunesinde kolemanit, montmorillonit, illit, kuvars, kalsit, dolomit ve sanidin minerallerinin olduğu bildirilmiştir [39]. Ayrıca kimyasal analizde arsenik olması ve numunenin gözle ve mikroskopla incelenmesi sonucu sarı ve kırmızı renkli minerallerin görülmesi, bu mineralin içerisinde realgar ve orpiment minerallerinin de olduğunu göstermektedir.

Tane boyutu analizine göre de numunenin -3 mm boyutunun altında olduğu Çizelge 5.2'den görülmektedir.

5.3. Mekanik Dağıtma Deneyleri

Şimdiye kadar genelde kili kolemanitten ayırmak için kimyasal dağıtıcı kullanılmadan, karıştırıcı, pervane tipi ve hızı ve ultrasonik dağıtma gibi birçok parametre denenmiştir [37, 49].

Bu çalışmalarda belirli oranlara kadar başarı elde edilmiştir. Bu nedenle bu ayırımı en etkili şekilde gerçekleştirmek için aşağıdaki deney şartlarında mekanik karıştırma+dağıtıcı sistemli deneyler yapılmıştır. Karıştırma ve dağıtma sonucunda sınıflandırma yapılmıştır.

Deney şartları;

- Karıştırma hızı; 500, 1000, 1500, 2000 d/dak
- Karıştırma zamanı; 5, 10, 15, 20 dak
- Katı oranı; % 10, 20, 30, 40
- Dağıtıcı cinsi; sodyum hegzametafosfat ($\text{Na}(\text{PO}_3)_6$)
- Dağıtıcı miktarı; 200, 300, 400, 500 g/t

Karıştırma ve dağıtma işlemleri sonucunda elde edilen pülüp 150 ve 38 μm 'lik eleklerden elenerek +150, -150+38 ve -38 μm boyut gruplarında ürünler elde edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmada dağıtıcı kullanmadan istenilen tenörlerde ürünler elde edilememiş ve bu nedenle çeşitli dağıtıcılar ile yapılan deneyler sonucunda en iyi dağıtıcı olarak $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ saptandığı için deneylerde bu dağıtıcı kullanılmıştır [39].

5.3.1. Karıştırma hızının belirlenmesi

Karıştırma hızı hem enerji maliyeti hem de değerli tanelerin parçalanmaması açısından önemlidir. Bu nedenle ilk önce en uygun pervane hızını belirlemek için aşağıdaki şartlarda aşındırma deneyleri yapılmıştır.

Deney şartları;

- Katı oranı; % 10
- Karıştırma zamanı; 5 dak
- Dağıtıcı miktarı; 200 g/t
- Karıştırma hızı; 500, 1000, 1500, 2000 g/t

Kolemanitin kilden ayrılması için karıştırma hızına bağlı olarak yapılan aşındırma deney sonuçları Çizelge 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmiştir. Genel olarak tane boyu incelidikçe B_2O_3 tenörü azalırken karıştırma hızı arttıkça tenör artmıştır. Karıştırma hızına bağlı olarak iri boyut veriminde azalma olmasına rağmen ince boyutta bunun tersi olmuştur. Çünkü karıştırma

hızı artışına bağlı olarak kolemanitte daha fazla parçalanma (ince boyut) meydana gelmekte, böylece 38 µm boyut altı tenörü artmaktadır. 150 µm elek üstü ve elek altı şeklinde baktığımızda tenör ve verim açısından iyi sonuçların 1000 devir/dakika karıştırma hızında olduğu görülür. Bu hızda %43.48 B₂O₃ tenörlü konsantre %55 verimle elde edilmiştir. Diğer parametrelerin incelenmesinde ve en uygun değerlerinin belirlenmesinde karıştırma hızı 1000 d/dak alınmıştır.

Çizelge 5.3. 500 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	48,46	41,73	48,46	41,73	64,07	64,07
-150+38	22,42	37,66	70,88	40,44	26,76	90,83
-38	29,12	9,95	100		9,17	100
Toplam	100	31,56			100	

Çizelge 5.4. 1000 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	37,81	43,48	37,81	43,48	55	55
-150+38	26,06	37,94	63,87	41,21	33,08	88,08
-38	36,13	9,86	100		11,92	100
Toplam	100	27,81			100	

Çizelge 5.5. 1500 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	39,34	42,25	39,34	42,25	59,66	59,66
-150+38	18,71	37,24	58,05	40,63	24,99	84,65
-38	41,95	10,19	100		15,35	100
Toplam	100	27,86			100	

Çizelge 5.6. 2000 d/dak karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	34,32	46,73	34,32	46,73	52,19	52,19
-150+38	19,31	40,64	53,63	44,53	25,53	77,72
-38	46,37	14,77	100		22,28	100
Toplam	100	30,73			100	

5.3.2. Uygun karıştırma zamanının belirlenmesi

Karıştırma süresi de killerin dağılmasını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle, en uygun mekanik dağıtma süresini belirleyebilmek için aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmıştır.

Deney şartları;

- Katı oranı; % 10
- Karıştırma hızı; 1000 d/dak
- Dağıtıcı miktarı; 200 g/t
- Karıştırma zamanı; 5, 10, 15, 20 dak

Değişik sürelerde karıştırılan numuneler yine aynı boyutlu eleklerden elenerek -38 µm boyutu şlam olarak atılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.7, 5.8, 5.9, 5.10'da verilmiştir. Burada da tane boyutu inceldikçe tenör azalmakta fakat karıştırma süresi artışına bağlı olarak tenör artmaktadır. Yani karıştırma zamanı arttıkça ince boyuta geçen kolemanit tane miktarı artmaktadır. Uygun tenör ve diğer süreler göre yüksek verim elde edilmesinden dolayı 10 dakika karıştırma süresi uygundur. Bu sürede %43.56 B₂O₃ tenörlü konsantre %60.23 verimle elde edilmiştir. Diğer deneylerde karıştırma süresi 10 dakika alınmıştır.

Çizelge 5.7. 5 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	37,81	43,48	37,81	43,48	55	55
-150+38	26,06	37,94	63,87	41,21	33,08	88,08
-38	36,13	9,86	100		11,92	100
Toplam	100	29,88			100	

Çizelge 5.8. 10 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	38,46	43,56	38,46	43,56	60,23	60,23
-150+38	18,01	38,82	56,47	42,04	25,14	85,37
-38	43,53	9,35	100		14,63	100
Toplam	100	27,81			100	

Çizelge 5.9. 15 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	37	45,08	37	45,08	57,61	57,61
-150+38	19,94	37,92	56,94	42,57	26,11	83,72
-38	43,06	10,95	100		16,28	100
Toplam	100	28,95			100	

Çizelge 5.10. 20 dak karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	38,85	43,57	38,85	43,57	59,51	59,51
-150+38	17,85	39,27	56,7	42,21	24,64	84,15
-38	43,3	10,41	100		15,85	100
Toplam	100	28,44			100	

5.3.3. Katı oranının belirlenmesi

Katı oranı, hem su tüketimi hem de ekipman boyutlandırılması açısından belirlenmesi gereken parametrelerden biridir. Bu nedenle aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14 'de verilmiştir.

Deney şartları;

- Karıştırma hızı; 1000 d/dak
- Dağıtıcı miktarı; 200 g/t
- Karıştırma zamanı; 10 dak
- Katı oranı; % 10, 20, 30, 40

Çizelge 5.11. %10 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	38,46	43,56	38,46	43,56	60,23	60,23
-150+38	18,01	38,82	56,47	42,04	25,14	85,37
-38	43,53	9,35	100		14,63	100
Toplam	100	27,81			100	

Çizelge 5.12. %20 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	45,65	42,23	45,65	42,23	66,84	66,84
-150+38	16,17	35,91	61,82	40,57	20,13	86,97
-38	38,17	9,84	100		13,03	100
Toplam	100	28,84			100	

Çizelge 5.13. %30 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	50,28	43,76	50,28	43,76	73,51	73,51
-150+38	11,52	36,76	61,8	42,45	14,14	87,65
-38	38,2	9,67	100		12,35	100
Toplam	100	29,93			100	

Çizelge 5.14. %40 katı oranında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	45,47	43,42	45,47	43,42	69,06	69,06
-150+38	13,04	38,72	58,51	42,37	17,65	86,71
-38	41,49	9,15	100		13,29	100
Toplam	100	28,58			100	

%30 ve %40 katı oranları uygundur. Fakat %30 katı oranında +38 µm'nin üstünde %87.63 verim elde edildiği için bu katı oranı seçilmiştir.

5.3.4. Mekanik Dağıtmaya Yardımcı Kil Dağıtıcı Miktarının Belirlenmesi

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda sadece mekanik dağıtma ile istenilen sonuçlar elde edilememiştir [29, 38]. Sadece ultrasonik dağıtma ile olumlu sonuçlar alınmıştır [37]. Fakat bunun uygulanması da maliyet açısından tartışılabilir. Bu nedenle kimyasal dağıtıcılar kullanılmış ve sodyum hegzametafosfat dağıtıcısı çok iyi bir kil dağıtıcı olarak belirlenmiştir [39]. Bu dağıtıcının miktar olarak etkisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Aşağıdaki şartlarda yapılan deney sonuçları çizelge 5.15, 5.16, 5.17 ve 5.18'de görülmektedir.

Deney şartları;

- Katı oranı; % 30
- Karıştırma hızı; 1000 d/dak
- Karıştırma zamanı; 10 dak
- Dağıtıcı cinsi; $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$
- Dağıtıcı miktarı; 200, 300, 400, 500 g/t

Çizelge 5.15. 200 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (μm)	Miktar (%)	B_2O_3 (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B_2O_3 (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	50,28	43,76	50,28	43,76	73,51	73,51
-150+38	11,52	36,76	61,8	42,45	14,14	87,65
-38	38,2	9,67	100		12,35	100
Toplam	100	29,93			100	

Çizelge 5.16. 300 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (μm)	Miktar (%)	B_2O_3 (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B_2O_3 (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	49,31	43,47	49,31	43,47	67,61	67,61
-150+38	14,45	35,78	63,76	41,72	15,39	83
-38	36,24	14,88	100		17	100
Toplam	100	32,01			100	

Çizelge 5.17. 400 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	43,52	43,88	43,52	43,88	60,95	60,95
-150+38	17,17	36,89	60,69	41,9	20,2	81,15
-38	39,31	15,02	100		18,85	100
Toplam	100	31,33			100	

Çizelge 5.18. 500 g/t sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (µm)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim	Kümülatif Verim (%)
150	42,49	42,27	42,49	42,27	57,3	57,3
-150+38	17,75	36,57	60,24	40,59	21,26	78,56
-38	39,76	16,89	100		21,44	100
Toplam	100	31,16			100	

Çizelgelerden görüldüğü gibi dağıtıcı artışına bağlı olarak +38 µm boyut grubu tenörlerinde önemli bir değişim olmazken -38 µm boyut grubu tenörleri oldukça artmıştır. Bu nedenle 200 g/t Na (PO₃)₆ miktarı uygundur.

Bu dağıtıcı miktarında +38 µm boyut gruplarında %41.85 B₂O₃ tenörlü konsantre %87.63 verimle elde edilmiştir. Boyut fraksiyonlarında ise B₂O₃ tenör değerleri şöyledir.

Çizelge 5.19. Numuneye uygulanan çeşitli işlemler sonucu boyut fraksiyonlarında B₂O₃ tenör değişimi

Boyut (µm)	Elek Analizine Göre	Mekanik Karıştırma (39)	Mekanik karıştırma + Kimyasal Dağıtma
+150	35,23	38,02	43,76
-150+38	33,02	35,54	36,59
-38	8,79	9	9,67

+150 µm boyut grubunda uygun tenörlü konsantre elde edilmiş. Fakat -150 µm boyut grubunda elde edilen ürünlerin tenörü endüstriyel açıdan düşüktür. Bu nedenle bu boyut grubunun flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi düşünülmüştür.

Denver flotasyon çalışmaları daha önce yapıldığı için [39], bu çalışmada jameson flotasyon yöntemi uygulamaya karar verilmiştir.

5.4. Jameson Flotasyon Deneyleri

Flotasyon, bir çok parametrelerin birbirleriyle etkileşim halinde olduğu kompleks bir prosestir. Flotasyonun başarısı için yüzey kimyasal olayların öncelikle çok iyi bilinmesi gerekir. Şimdiye kadar bu konuda yapılan araştırmalarda zeta potansiyel çalışmalarına göre, kolemanitin sıfır yük noktası pH 10-10.5 arasında bulunmuştur [16, 38, 39]. Ayrıca kolemanit pH 9 civarında tampon özellik gösterdiğinden genellikle flotasyonda bu ortam pH'larında anyonik toplayıcılardan sülfanatlar kullanılmıştır. Şimdiye kadar kolemanit ile yapılan Denver flotasyon çalışmalarında tenör ve verim açısından yeterli başarı elde edilememiştir [16, 31, 41, 42]. Fakat Uçar, (2008) yaptığı Denver flotasyon çalışmasından besleme tenörü %36.52 B₂O₃ olan artıktan %46.23 B₂O₃ tenörlü konsantreyi %99.36 verimle elde etmiştir [43]. Bu çalışmada en iyi toplayıcı olarak sülfanat tipi R801 toplayıcısı belirlenmiştir. Ayrıca en iyi bastırıcı olarak nişasta belirlenmiş ve 800 g/t olarak kullanılmıştır.

Bütün bu nedenlerle deneylerde ortam pH'ı (pH=8.9), toplayıcı olarak R801 ve bastırıcı olarak ta nişasta kullanılmıştır. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalara göre [16, 37, 38, 39] kolemanitin sıfır yük noktasının altındaki pH'larda pozitif yüzey yüküne sahip olması, kilin ise bütün pH'larda negatif yüzey yüküne sahip olmasından dolayı kolemanit yüzeyine şlam kaplama olayı kaçınılmazdır. Bu durum da Jameson flotasyon deneysel çalışmalarında araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar -150 µm ve -150+38 µm boyutlarında yapılmıştır.

Jameson flotasyon deneyleri aşağıdaki şartlarda yapılmıştır.

Toplayıcı miktarı (Q_T): 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 g/t

Köpürtücü miktarı (Q_K): 20, 40, 60, 100 ppm

Kıvam zamanı (t_k): 2+5 dak

Jet (Besleme) hızı (V_j): 8.7, 10, 11.4 l/dak

Yıkama suyu debisi (Q_S): 1.9 l/dak

Katı oranı (%K): % 2.5, 5, 7.5, 10

Hava hızı (V_h): 0,27 m/sn

Jet uzunluğu (L_j): 2, 3, 6, 9 cm

Dalma derinliği (d_h): 20, 30, 40, 50 cm

Suyun kesitsel yükselme hızı (bias negatif) (V_s): 0.1, 0.2,0.3 cm/sn

Bias faktörü (bias pozitif) (J): 0.3, 0.4, 0.5, 0.7

Koşullandırıcı karıştırma hızı:1200 d/dak

5.4.1. Köpürtücü miktarının belirlenmesi:

Aslında R801 Toplayıcı reaktifinin köpürme özelliği bulunmaktadır. Fakat bu deneylerde az numune kullanmak için düşük katı oranlarında çalışılmıştır ve bu nedenle de su ihtiyacı arttığı için toplayıcının yüzey gerilimini düşürememesi nedeni ile köpürtücü olarak MIBC kullanılmış ve bunun miktarı aşağıdaki deney şartlarında tespit edilmiştir.

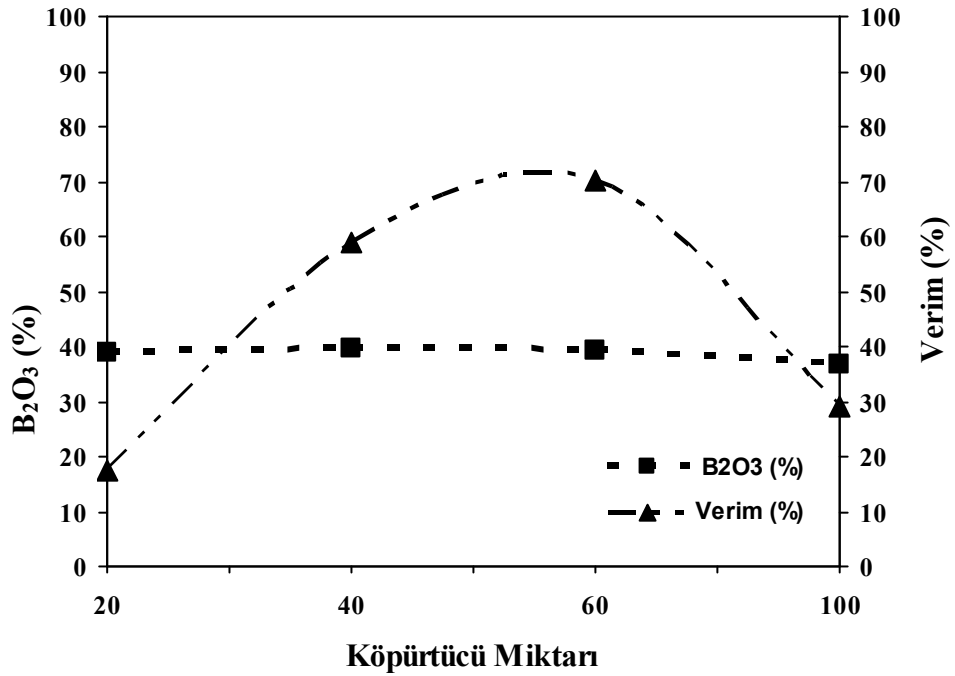
Deney şartları;

- % K: %2.5
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_T : 3000 g/t
- Q_K : 20, 40, 60, 80 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- d_h : 40 cm
- J: 0.5

Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.20. ve Şekil 5.3 'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tenör ve verim 60 ppm köpürtücü miktarına kadar artmış sonra azalmıştır. Bu artma ve azalmanın nedeni; köpürtücü miktarına bağlı olarak ortamın yüzey geriliminin değişimi ve bunun sonucu kabarcık boyutunun değişimidir. Kabarcık boyutunun değişimine de bağlı olarak tenör ve boyutta değişmiştir. Bu nedenle deneylerde 60 ppm köpürtücü miktarı değerlerinde %39.42 B_2O_3 tenörlü konsantre %70.21 verimle elde edilmiştir.

Çizelge 5.20. Köpürtücü miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Köpürtücü Miktarı (ppm)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Konsantre	16,58	38,91	17,53
	Artık	83,42	36,37	82,47
	Besleme	100	36,80	100
40	Konsantre	54,91	39,51	58,95
	Artık	45,09	33,49	41,05
	Besleme	100	36,80	100
60	Konsantre	65,55	39,42	70,21
	Artık	39,45	27,78	29,78
	Besleme	100	36,80	100
100	Konsantre	28,96	36,83	28,96
	Artık	71,04	36,8	71,04
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.3. Köpürtücü miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi

5.4.2. Toplayıcı miktarının belirlenmesi

Optimum toplayıcı miktarının belirlenmesi hem verimli bir flotasyon açısından hem de ekonomiklik açısından önemlidir. En uygun toplayıcı miktarını belirlemek için aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmış ve sonuçlar çizelge 5.21 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.

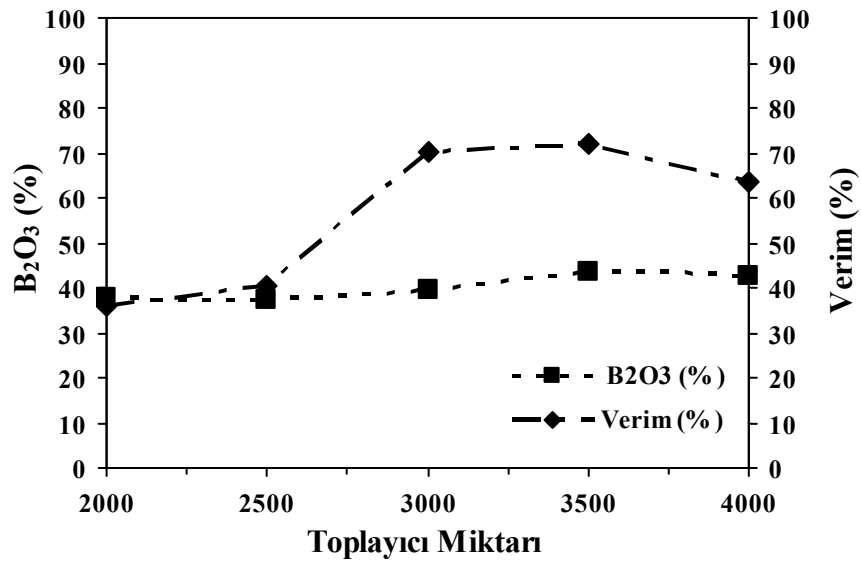
Deney şartları;

- % K: %2.5
- Q_T : 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 g/t
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- V_j : 11,4 l/dak
- d_h : 40 cm
- J: 0.5

Çizelge 5.21 ve şekil 5.4'te görüldüğü gibi toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör ve verim 3500 g/t toplayıcı miktarına kadar artmaktayken bu değerden sonra azalmaktadır. Tenör ve verim açısından bakılınca 3500 g/t toplayıcı miktarı uygundur.

Çizelge 5.21. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Toplayıcı Miktarı (gr/ton)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
2000	Konsantre	34,80	37,88	35,82
	Artık	65,19	36,22	64,18
	Besleme	100	36,80	100
2500	Konsantre	39,56	37,48	40,29
	Artık	60,44	36,35	59,71
	Besleme	100	36,80	100
3000	Konsantre	65,55	39,42	70,21
	Artık	39,45	27,78	29,78
	Besleme	100	36,80	100
3500	Konsantre	60,96	43,52	72,09
	Artık	39,04	26,30	27,39
	Besleme	100	36,80	100
4000	Konsantre	54,76	42,8	63,67
	Artık	45,24	29,53	36,33
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.4. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişim

5.4.3. Bias Faktörünün Etkisi

Bias faktörü flotasyon kolonlarının en önemli özelliklerinden biridir. Bias faktörü artık ile besleme debisi arasındaki farkın yıkama suyu debisine olan oranıdır. Bias faktör genellikle pozitif olmaktadır. Fakat iri taneli minerallerin flotasyonunda bias negatifte de olabilmektedir. Deneyleerde sabit debide yıkama suyu (1.9 l/dak) kullanılarak aşağıdaki şartlarda 0.3, 0.4, 0.5 ve 0.7 pozitif bias faktörü değerlerinde deneyler yapılmıştır.

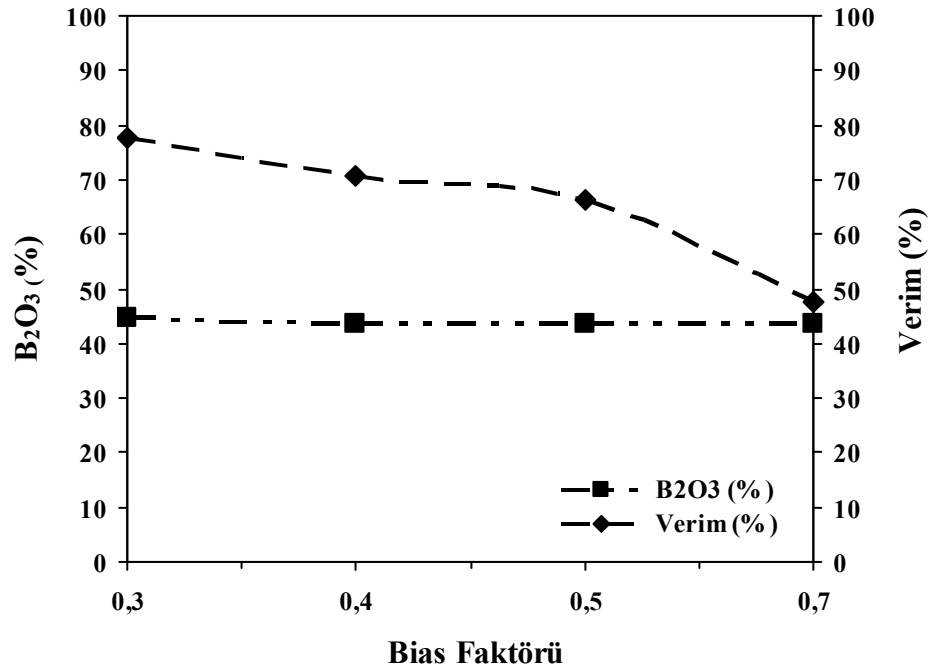
Deney şartları;

- % K: %2.5
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_T : 3500 g/t
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- d_h : 40 cm
- J: 0.3, 0.4, 0.5, 0.7

Çizelge 5.22 ve şekil 5.5'dan görüldüğü gibi bias faktörü artmasına (köpük zonu kalınlığının artması) bağlı olarak verimde önemli azalma olurken tenördeki değişim çok az olmuştur. Bu deneylerde 0.3 bias faktörü değerlerinde %44.51 B_2O_3 tenörlü konsantre %77.83 verimle elde edilmiştir.

Çizelge 5.22. Pozitif biasa bağlı olarak tenör-verim değişimi

Bias Faktörü		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
0,3	Konsantre	64,35	44,51	77,83
	Artık	35,65	22,88	22,17
	Besleme	100	36,80	100
0,4	Konsantre	59,86	43,48	70,72
	Artık	40,14	26,84	29,28
	Besleme	100	36,80	100
0,5	Konsantre	55,95	43,52	66,17
	Artık	44,05	28,26	33,83
	Besleme	100	36,80	100
0,7	Konsantre	40,22	43,52	47,56
	Artık	59,78	32,28	52,44
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.5. Pozitif biasa bağlı olarak tenör-verim değişim

5.4.4. Jet Uzunluğunun belirlenmesi

Jet uzunluğu, karışımın başladığı seviye ile nozul ucu arasında kalan mesafeye denir. Jet uzunluğu hava hızına bağlı olarak değişmektedir. Hava hızının artması ile hold-Up (Hava tutumu yüzdesi) artmaktadır [45]. Buna göre Tuba Taşdemir, 2007 [45] yaptığı çalışmada APR (Hava hızı/Besleme hızı) (λ) nozulu çapını (D_N), düşey boru çapını (D_D), besleme hızını (V_j) ve jet uzunluğunu (L_j) kullanarak hold-Up'ı tahmin etmede aşağıdaki modeli geliştirmiştir.

$$\varepsilon = 0,2324 + 0,0781\lambda - 0,01898D_N + 0,00396D_D + 0,0068V_j + 0,00287L_j$$

Buna göre hava hızına bağlı hold-Up %35.53, %41.84, %43.74, %47.04 olarak hesaplanmıştır. En uygun jet uzunluğunu belirlemek için aşağıdaki deney şartlarında ve 2, 3, 6 ve 9 cm jet uzunluklarında deneyler yapılmıştır.

Flotasyon şartları;

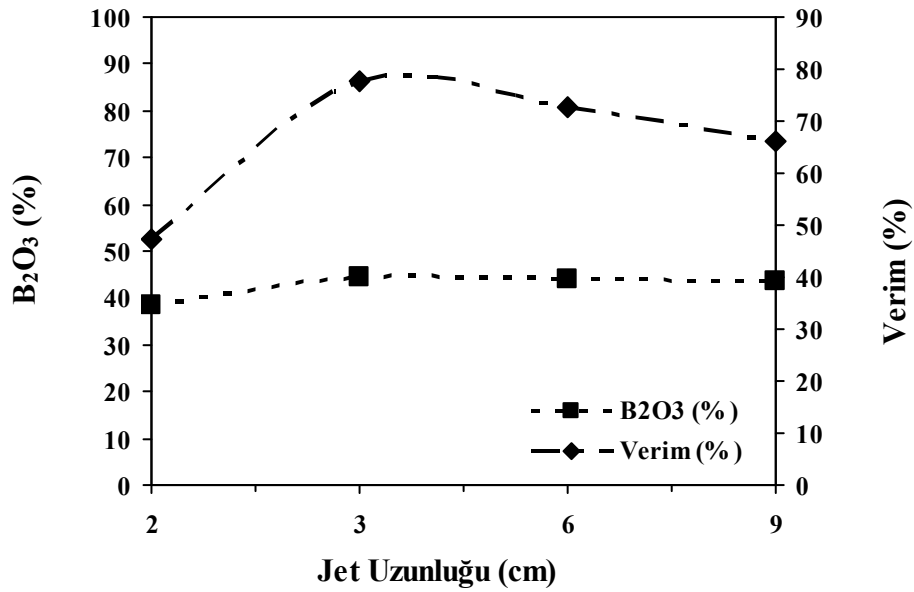
- % K: %2.5
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_T : 3500 g/t
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.21, 0.27, 0.31, 0.39 m/sn
- d_h : 40 cm
- J: 0.3
- L_j : 2, 3, 6, 9 cm

Yapılan deneysel çalışmalara göre, çizelge 5.23 ve şekil 5.6'den görüldüğü gibi 3 cm jet uzunluğu kadar tenör ve verimde artış olmakta sonra ise düşmektedir.

Jet uzunluğu arttıkça hava tutumu ve hava debisi artmaktadır. Fakat belli bir değerden sonra küçük kabarcık yapısı bozulmakta büyük çaplı kabarcıklar oluşmakta ve böylece istenmeyen türbülanslı akış koşulları meydana gelmektedir [40]. Çalışmalara göre 3 cm jet uzunluğunda hold-Up değeri %41.84'tür.

Çizelge 5.23. Jet Uzunluğuna bağlı olarak tenör-verim değişimi

Jet Uzunluğu (cm)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
2	Konsantre	45,23	38,50	47,31
	Artık	54,76	35,40	52,69
	Besleme	100	36,80	100
3	Konsantre	64,35	44,51	77,83
	Artık	35,65	22,88	22,17
	Besleme	100	36,80	100
6	Konsantre	61,14	43,86	72,88
	Artık	38,86	25,68	27,12
	Besleme	100	36,80	100
9	Konsantre	54,78	44,47	66,19
	Artık	45,21	27,51	33,81
	Besleme	100	36,80	100



şekil 5.6. Jet Uzunluğuna bağlı olarak tenör-verim değişim

5.4.5. Dalma Derinliğinin Belirlenmesi

Jameson flotasyon kolonunda en önemli parametrelerden biri de düşey borunun ayırma hücresindeki dalma derinliğidir. Dalma derinliği arttıkça, düşey borunun boşalma noktasından çıkan pülpün kesitsel yüzey alanına uygulanan su basıncı artar. Düşey borudan hücreye boşalan pülpün ve hava kabarcıklarının hızında ve hava miktarında azalma olur [45].

Bu durumu incelemek için aşağıdaki deney şartlarında ve 20, 30, 40 ve 50 cm dalma derinliklerinde deneyler yapılmıştır.

Flotasyon şartları;

- % K: %2.5
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_T : 3500 g/t
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- d_h : 20, 30, 40, 50 cm
- J: 0.3

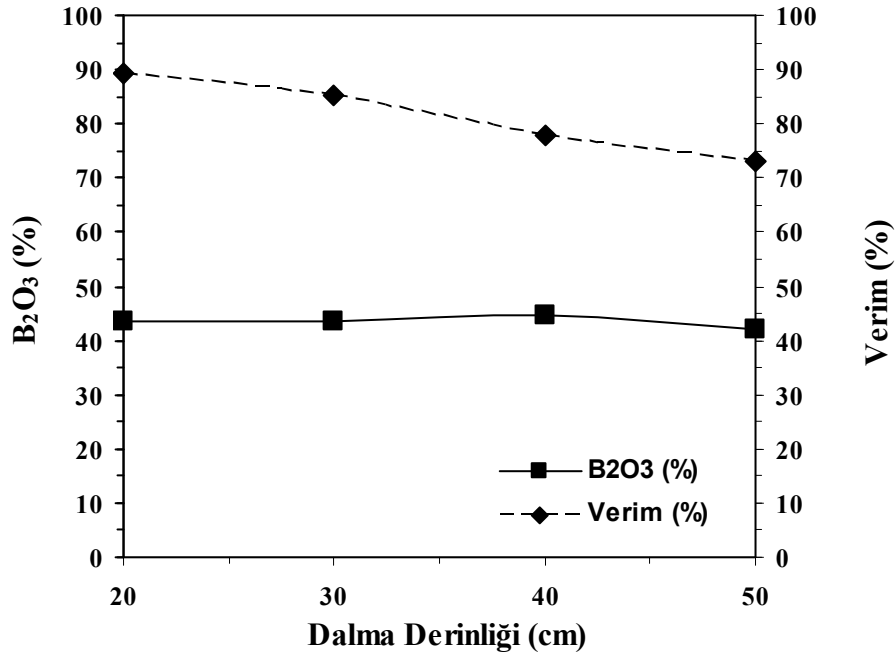
Yapılan deney sonuçları çizelge 5.24 ve şekil 5.7'de verilmiştir. Çizelge 5.24 ve şekil 5.7'den görüldüğü gibi dalma derinliğinin artmasına bağlı olarak verim düşerken tenörde 40 cm dalma derinliğine kadar bir miktar artış olmuş sonra ise azalmıştır.

Kolemanitin yüzme verimindeki azalmanın nedeni, hidrodinamik basınç ve türbülans nedeniyle tane kabarcık ayrılmalarının artmasıdır. Ayrıca kolemanitin yüzme kinetiği hızlı olduğu için yüzme mesafesi uzun gelmiş olabilir.

Bu nedenlerle en kısa mesafe olan 20 cm dalma derinliği en uygun derinliktir. Bu derinlikte %43.4 B_2O_3 tenörlü konsantre %89.36 verimle elde edilmiştir.

Çizelge 5.24. Dalma Derinliğine bağlı olarak tenör-verim değişimi

Dalma Derinliği (cm)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
20	Konsantre	75,77	43,4	89,36
	Artık	24,23	16,16	10,64
	Besleme	100	36,80	100
30	Konsantre	72,02	43,54	85,21
	Artık	27,98	19,45	14,79
	Besleme	100	36,80	100
40	Konsantre	64,35	44,51	77,83
	Artık	35,65	22,88	22,17
	Besleme	100	36,80	100
50	Konsantre	63,97	42	74,45
	Artık	36,03	25,59	25,55
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.7. Dalma Derinliğine bağlı olarak tenör-verim değişim

5.4.6. Negatif Biasın Etkisi

Buraya kadar yapılan deneyler hep pozitif biasta yapılmış ve verim-tenör açısından belli değerlere ulaşılmıştır. Fakat kolemaniti en yüksek verim ve tenör değerlerinde kazanma durumu nedeniyle negatif bias deneyleri bir zorunluluk haline gelmiştir. Aslında düşük negatif biasta ve pozitif biasta verim artmasına rağmen küçük boyutlu tanelerin yukarıya doğru sürükleneceği düşünüldüğünden tenörün azalacağı beklenebilir. Bu nedenlerle negatif biasın etkisini belirlemek için aşağıda verilen şartlarda ve 0.1, 0.2 ve 0.3 cm/sn (suyun kesitsel yükselme hızı) negatif bias değerlerinde deneyler yapılmıştır.

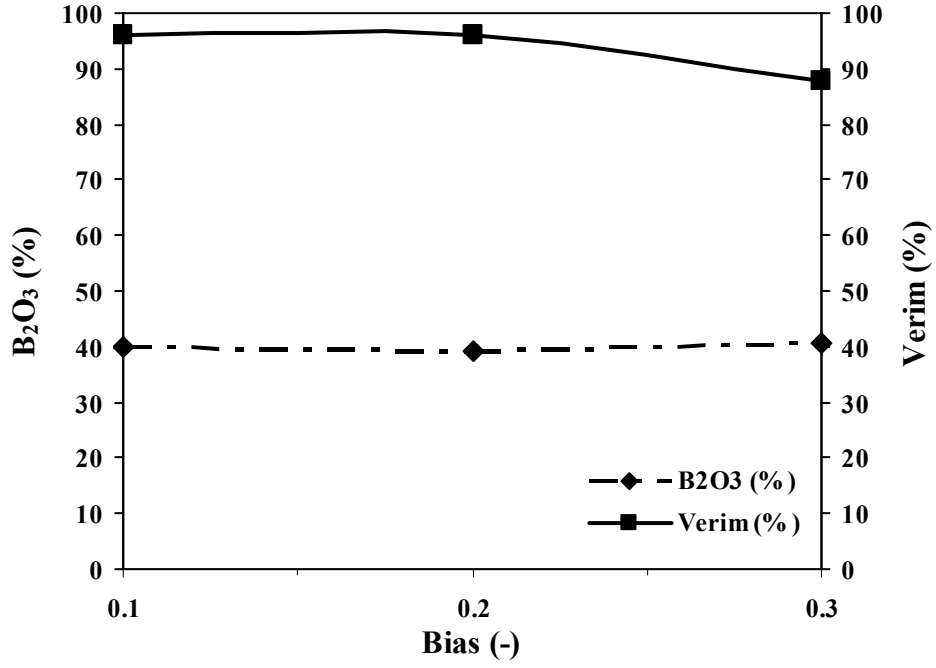
Flotasyon şartları;

- % K: %2.5
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_T : 3500 g/t
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- d_h : 20 cm
- V_S : 0.1, 0.2, 0.3 cm/sn

Çizelge 5.25 ve şekil 5.8 'da görülen sonuçlara göre, negatif bias arttıkça tenörde az bir artış olurken verimdeki düşüş daha fazla olmuştur. Fakat negatif biasta verim artışı sağlanmasına rağmen tenörlerde düşüş olmuştur. Bunun nedeni de yıkama suyunun olmayışıdır. Yani ince gang kil mineralleri de suyla hidrolik olarak sürüklenerek konsantreye gitmektedir. Bu nedenle tenörü yükseltmek için 1.9 l/dak debi ile yıkama suyu kullanılarak aynı şartlarda deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çizelge 5.25 ve şekil 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Negatif biasa bağlı olarak tenör-verim değişimi

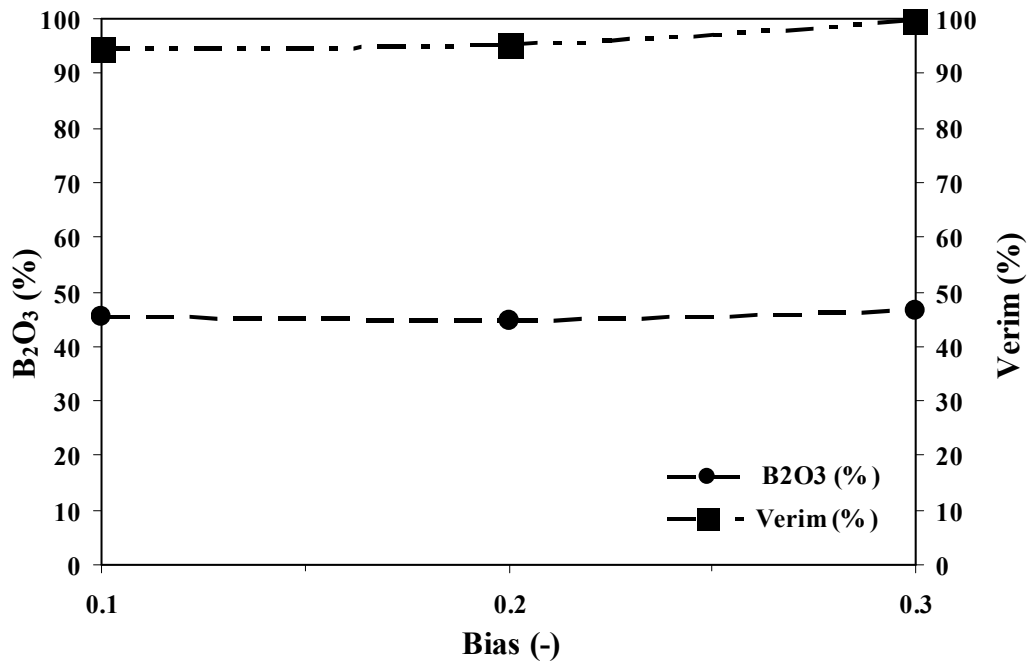
Negatif Bias		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
0.1	Konsantre	88,65	39,87	96,04
	Artık	11,35	12,82	3,96
	Besleme	100	36,80	100
0.2	Konsantre	90,23	39,19	96,09
	Artık	9,77	14,72	3,90
	Besleme	100	36,80	100
0.3	Konsantre	79,25	40,75	87,75
	Artık	20,75	21,71	12,25
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.8. Negatif biasa bağlı olarak tenör-verim değişim

Çizelge 5.26. Negatif biasa (yıkama sulu) bağlı olarak tenör-verim değişimi

Bias Faktörü		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
0.1	Konsantre	76,62	45,46	94,65
	Artık	23,38	8,41	5,35
	Besleme	100	36,80	100
0.2	Konsantre	78,25	44,64	95,24
	Artık	21,48	8,14	4,76
	Besleme	100	36,80	100
0.3	Konsantre	77,99	46,63	99,47
	Artık	22,01	3,64	2,18
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.9. Negatif biasa (yıkama sulu) bağlı olarak tenör-verim değişim

Şekil 5.9 ve çizelge 5.26'dan görüldüğü gibi yıkama suyu konsantreye gelen gang minerallerini uzaklaştırdığı için tenörlerde de hayli fazla artış olmuştur. 0.3 negatif bias değerinde %46.63 tenörlü konsantre %99.47 verimle elde edilmiştir.

5.4.7. Jet Hızının (Besleme Basıncı) Belirlenmesi

Jet hızı (besleme basıncı) (V_j), besleme debisinin nozul kesit alanına oranıdır. Jet hızının artması ile hold-up (hava tutumu) ve hava debisi artmaktadır. Ancak yüksek jet hızlarında, jet uzunluğunda oluşan olayların aynısı oluşmaktadır. Düşük hızlarda ise büyük kabarcıklar oluşmaktadır [40]. Jet hızının kolemanit yüzdürme verim-tenör üzerine etkisini belirlemek için 8.7, 10 ve 11.4 l/dak olarak üç farklı jet hızı değerleri kullanılarak aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmıştır.

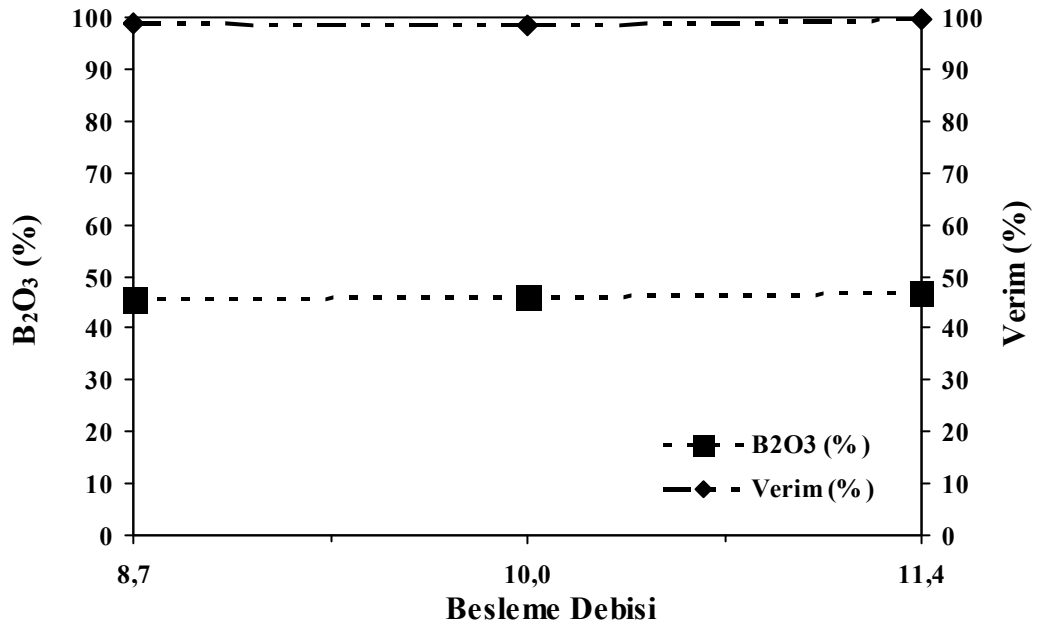
Flotasyon şartları;

- % K: %2.5
- Q_T : 3500 g/t
- V_j : 8.7, 10, 11.4 l/dak
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- d_h : 20 cm
- V_S : 0.3 cm/sn

Deneyler sonucunda elde edilen çizelge 5.27 ve şekil 5.10 incelendiğinde jet hızının artışına bağlı olarak verimde ve tenörde fazla bir değişimin olmadığı görülür. Taşdemir, 2006 [45] kuvars ile yaptığı deneylere göre ince tanelerde verim artmış orta boyutlu tanelerde değişim yok, iri boyutlu tanelerde ise verimin azaldığını tespit etmiştir. Bu azalmanında türbülansa bağlı olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.27. Besleme basıncına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Besleme Debisi (l/dak)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
8,7	Konsantre	81,93	45,46	99,00
	Artık	18,07	2,09	1,00
	Besleme	100	36,80	100
10,0	Konsantre	80,61	45,97	98,42
	Artık	19,39	3,07	1,58
	Besleme	100	36,80	100
11,4	Konsantre	77,99	46,63	99,47
	Artık	22,01	3,64	2,18
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.10. Besleme basıncına bağlı olarak tenör-verim değişim

5.4.8. Katı Oranının Belirlenmesi

Katı oranının flotasyon verim ve tenörüne etkisini belirlemek amacıyla %2.5, 5, 7.5 ve 10 katı oranlarında 4 adet deney aşağıdaki koşullarda yapılmıştır.

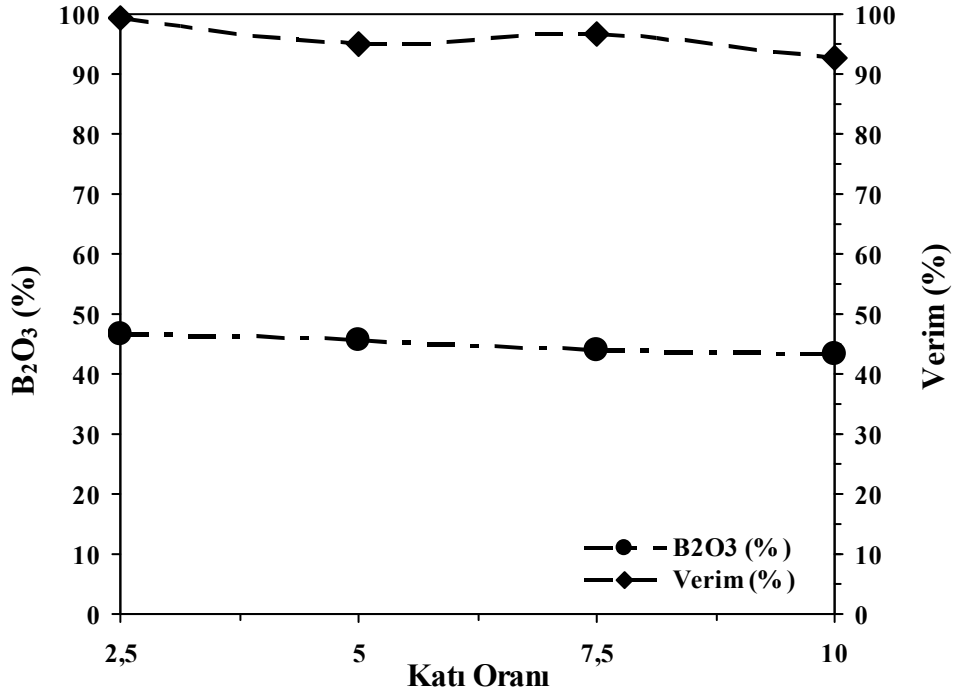
Flotasyon şartları;

- % K: %2.5, 5, 7.5, 10
- Q_T : 3500 g/t
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm
- d_h : 20 cm
- V_S : 0.3 cm/sn

Çizelge 5.28 ve şekil 5.11'de verilen deney sonuçlarında görüldüğü gibi katı oranı arttıkça tenörde ve verimde azalma olmaktadır. Burada numune miktarı, besleme şartları gibi bazı zorluklar nedeniyle Jameson flotasyonunda düşük katı oranlarında çalışılmaktadır. Katı oranı arttığı zaman bazı parametrelerin değişeceği kuşkusuzdur. Örneğin düşük katı oranlarında fazla su kullanıldığı için yüzey gerilimini düşürmek için köpürtücü kullanılmaktadır. Oysa R-801 toplayıcısı için köpürtücü kullanılmaya gerek kalmayabilir. Ayrıca düşük miktarda pülp beslenen düşey boruya fazla miktarda pülp girdiğinde kalma süresi azalmaktadır. Bu da verimde azalamaya neden olmaktadır. Bunun yanında fazla miktarda yüzen malzeme için daha çok yıkama suyu gerekebilir. Bu da tenörü etkiler.

Çizelge 5.28. Katı Oranına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Katı Oranı (%)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
2.5	Konsantre	77,99	46,63	99,47
	Artık	22,01	3,64	2,18
	Besleme	100	36,80	100
5	Konsantre	76.64	45.66	95,09
	Artık	23.36	7,73	4,91
	Besleme	100	36,80	100
7.5	Konsantre	80,64	44,09	96,61
	Artık	19,36	6,43	3,39
	Besleme	100	36,80	100
10	Konsantre	78,64	43.38	92,7
	Artık	21,36	12,,57	7,3
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.11. Katı Oranına bağlı olarak tenör-verim değişim

5.4.9. Şlamin Etkisinin Belirlenmesi

Kolemanit flotasyonunda şimdiye kadar yapılan mikro ve Denver flotasyon çalışmalarına göre şlamin flotasyonu oldukça önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir [16, 37, 38, 39].

Bu nedenle Jameson flotasyonunda şlamin etkisini belirlemek için aşağıda belirlenen deney şartlarında ve -150+38, -150+20, -150+10 ve -150 µm tane boyut gruplarında deneyler yapılmıştır.

Flotasyon şartları;

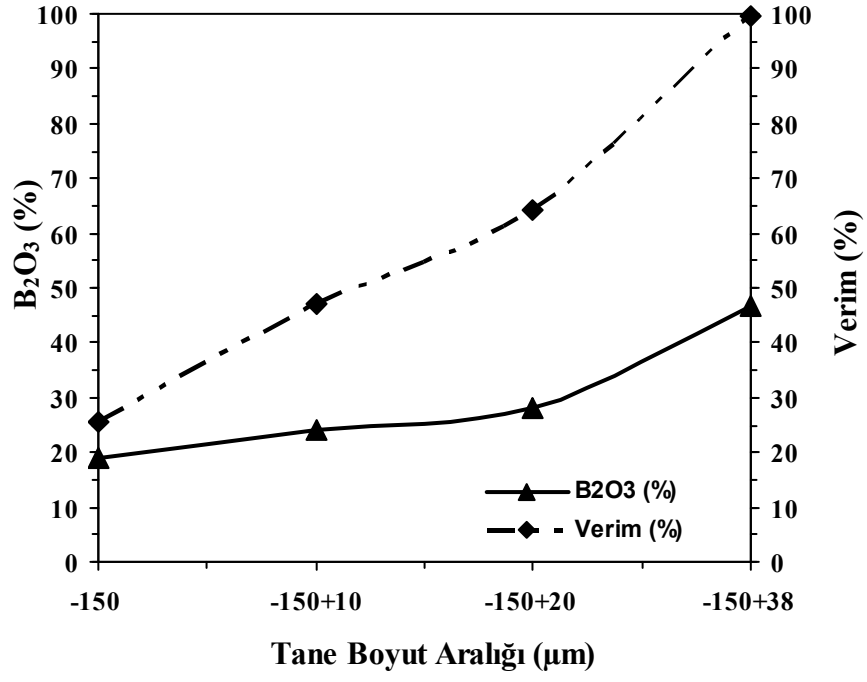
- % K: %2.5
- Q_T : 3500 g/t
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn

- L_j : 3 cm
- d_h : 20 cm
- V_S : 0.3 cm/sn

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen çizelge 5.29 ve şekil 5.12’de görüldüğü gibi şlam miktarı azaldıkça verim ve tenör artmaktadır. Burada en yüksek değerler -150+38 μm boyut grubunda elde edilmiştir. Fakat -150+20 μm boyut grubunda da %19.14 B_2O_3 tenörlü cevherden %28.21 B_2O_3 tenörlü kolemanit %64.13 verim ile elde edilmiştir. Bu da Jameson flotasyon kolonunun Denver hücresine göre üstünlüğünü göstermektedir.

Çizelge 5.29. Şlam etkisinin tenör-verim değişimi

Tane boyut aralığı (μm)		Miktar (%)	B_2O_3 (%)	Verim (%)
-150	Konsantre	23,06	19,08	25,17
	Artık	76,94	17,00	74,82
	Besleme	100	16,03	100
-150+10	Konsantre	35,11	24,26	46,99
	Artık	64,89	14,81	53,01
	Besleme	100	17,63	100
-150+20	Konsantre	45,61	28,21	64,13
	Artık	54,39	13,23	35,87
	Besleme	100	19,14	100
-150+38	Konsantre	77,99	46,63	99,47
	Artık	22,01	3,64	2,18
	Besleme	100	36,80	100



Şekil 5.12. Şlam Etkisinin tenör-verim değişim

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genel olarak Emet-Espey Bor yıkama tesisi ince artık barajında alınan numunenin tane boyutu 3 mm'nin altındadır. Numune çoğunlukla kolemanit ve kil minerallerinden oluşmaktadır. B_2O_3 içeriği ise %26.33'tür.

Numunenin zenginleştirilmesinde iki yöntem uygulanmıştır.

- 1.Yöntem mekanik karıştırma ve dağıtma+kimyasal dağıtma+sınıflandırma
- 2.Flötasyon; Jameson flötasyon hücresi

Birinci yöntem ile yapılan deneysel çalışmalarda üç tane boyutunda ürün elde edilmiştir. Aşağıda verilen optimum koşullarda sadece 150 μm fraksiyon üstünde istenilen kalitede ürün elde edilebilmiştir. Yani bu fraksiyonda %43.76 B_2O_3 tenörlü konsantre %73.51 verimle elde edilmiştir.

Optimum deney şartları;

- Katı oranı; % 30
- Karıştırma hızı; 1000 d/dak
- Karıştırma zamanı; 10 dak
- Dağıtıcı cinsi; $Na(PO_3)_6$
- Dağıtıcı miktarı; 200 g/t

İkinci yöntem olan Jameson kolon flötasyonu ise birinci yöntem ile zenginleştirilemeye -150+38 μm boyutuna uygulanmıştır. Bu yöntem ile aşağıda verilen optimum koşullarda %36.8 B_2O_3 tenörlü malzemedan %46.63 B_2O_3 tenörlü konsantre %99.47 verimle elde edilmiştir.

Optimum flötasyon şartları;

- % K: % 2.5
- Q_T : 3500 g/t
- V_j : 11.4 l/dak
- Q_K : 60 ppm
- Q_{ys} : 1.9 l/dak
- V_h : 0.27 m/sn
- L_j : 3 cm

- d_h : 20 cm
- V_S : 0.3 cm/sn
- ❖ Jameson flotasyon kolonunda ilk defa kolemanit yüksek verimle kazanılmıştır.
- ❖ Flotasyon verimine, toplayıcı ve köpürtücü dozajının, bias faktörünün, jet uzunlunun, jet hızının, dalma derinliğinin, katı oranının ve şlamın önemli derecede etkiye sahip oldukları belirlenmiştir.
- ❖ Bu faktörlerden en önemli etkiyi bias faktörü göstermiştir ve negatif biasta yıkama sulu çalışılması gerektiği saptanmıştır.
- ❖ Kolemanitin hızlı yüzme kinetiği nedeniyle dalma derinliğinde düşük olması gerekmektedir.
- ❖ Türbülans nedeniyle düşük jet uzunluklarında ve jet hızlarında çalışılması gerektiği tespit edilmiştir.
- ❖ Yüksek katı oranlarında daha büyük çaplı nozul ve düşey boru kullanılması gerekir.
- ❖ Şlam içeren numunelerin jameson kolonunda kazanılması daha etkili olmuştur.

Öneriler

- ❖ Zenginleştirme sonucu ortaya çıkan artıkların çeşitli sektörlerde kullanım olanakları araştırılmadır.
- ❖ İnce tanelerin (-38 μ m) kazanılmasıyla ilgili daha ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Kılınç, E., Mordoğan, H., Tanrıverdi, M., 2001, Bor Minerallerinin Önemi, Potansiyeli, Üretimi ve Ekonomisi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [2] Alp, M.S., Tanrıverdi, M., Kahraman, B., Batar T., 1995, Bor Minerallerinin ve Ürünlerinin Pazarlanma Koşulları Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 21-22 Nisan.
- [3] Üncü, Ü.R., 2001, Dünya Ham ve Rafine Bor Pazarına Bir Bakış, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [4] Yamık, A., Uçar, A., Demir, U., 2004, Emet Espey konsantratörü -25 mm bor atıklarının Hidrosiklon ile zenginleştirilmesi, DPÜ, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, II. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye 23-25 Eylül.
- [5] ETİ HOLDİNG A.Ş. Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2002, Emet Bor İşletmesi Hisarcık Eski Atık Barajının Boşaltılması ve Barajdaki Malzemenin Değerlendirilmesi, Kütahya, Türkiye, Ağustos.
- [6] DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Bor Tuzları, Ankara, Türkiye.
- [7] Güyagüler, T., 2001, Türkiye Bor Potansiyeli, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 18-19 Ekim.
- [8] Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, 1982, Dünyada ve Türkiye’de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeler Bor Mineralleri, Ankara.
- [9] Poslu, K., Arslan, İ.H., 1995, Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye’nin Yeri, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Türkiye, 21-22 Nisan.
- [10] Yaşar, E., 1994, Bor Minerallerinin Elektrostatik ve Elektrokinetik Özellikleri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, Eylül.
- [11] Kılıç, A.M., 2004, Bor Madeninin Türkiye Açısından Önemi ve Gelecekteki Yeri, 2. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 23-25 Eylül.
- [12] Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S., Doğan, M., 1997, Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [13] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, www.etimaden.gov.tr
- [14] EGIAD, Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi.
- [15] Arslan, H., 2002, Emet Bor Tesisinin Jeolojisi ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Lisans Tezi, DPÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, Haziran.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [16] Yarar, B., 1971, Kolemanit mineralinin Flotasyon yolu ile değerlendirilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara, Türkiye.
- [17] BOR LTD. www.boraxtr.com
- [18] www.kimyamuhendisi.com
- [19] Yılmaz İ., 2002, Türkiye’de Bor Üretimi ve Zenginleştirme Alternatifleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, Isparta, Türkiye, Ocak.
- [20] Gülensoy, H., 1961, Türkiye’deki Bor Mineralleri ile Bunların Dehidrolanmaları, Çözünürlükleri ve Katı Cisim Reaksiyonları, Şirketi Mürettibiye Basımevi, İstanbul, Türkiye
- [21] Ayok, T., Tolun, R., Düşük Tenörlü Kolemanit Atıklarının Flotasyon Yöntemi ile Konsantrasyonu, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Yayını
- [22] Aytekin, Y., 1995, Maden Mühendisliğine Giriş, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.
- [23] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri CİLT II, 2001, Bor Tuzları-Trona-Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat-Stronsiyum, Çalışma Grubu Raporu Ankara, Türkiye.
- [24] Serpek, E., 2003, Bor Mucizesi II: Kullanım Alanları PİVOLKA
- [25] Yılmaz, A., 2002, Bor Madeni ve Türkiye İçin Önemi, TUBİTAK-Bilim ve Teknik Dergisi, Ankara, Türkiye, Mayıs
- [26] Helvacı, C., Türkiye Borat Yatakları, TMMOB, Jeoloji Maden Mühendisleri Odası
- [27] Erkan, Z.E., Akar, A., 2003, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Baraj Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Dergisi, Türkiye.
- [28] Uçar, A., 2003, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Tesisleri, DPÜ, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, Kütahya, Türkiye.
- [29] Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., 2002, Bor Atıkları ve Değerlendirme Stratejileri, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, Türkiye
- [30] Özdemir, M., Kıpçak, İ., Öztürk, N., 2003, Bor Endüstrisi Katı Atıklarından Boraksın Katı-Sıvı Özütleme İle Geri Kazanılması, Eskişehir, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Türkiye.
- [31] Kaytaç, Y., Önal, G., Güney, A., 1986, Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi, I.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [32] Doğan, M.Z., Kaytaç, Y., Önal, G., Perek, K.T., 1997, “Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem, Elektrostatik Ayırma ve Flotasyon ile Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması” 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [33] Öteyaka, B., 2004, Flotasyon Prensipleri, Ders Notları, DPÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye.
- [34] Sönmez, E., Özdağ, H., Savaş, M., 1996, “Beneficitaon of Emet Tailings by Water Absorption + Mechanical Attrition + Magnetic Separation” 6. International Mineral Processing , Kuşadası , Türkiye, 24-26 Eylül.
- [35] Sönmez, E., Özdağ, H., Savaş, M., 1997, “Ses Ötesi Dalgaların Kolemanit Artıklarının Zenginleştirilmesinde Kullanımının Araştırılması” Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Ankara, Türkiye, 6-9 Mayıs.
- [36] Ata, S. Ve Önder, Ü.Y., (1997) “Yeni bir flotasyon teknolojisi: Jameson Flotasyon Hücresi”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası dergisi, ISSN: 0024-9416, Aralık, Ankara-Türkiye.
- [37] Çelik, M.S., Elma, İ., Müdüroğlu, M., Ultrasonik Ortamın Şlam Kaplı Kolemanitin Flotasyona Etkisi, İTÜ, Cevher ve Kömür Hazırlama. İstanbul, Türkiye.
- [38] Çelik, M.S., Hançer, M., Miller, J.D., 2002, Flotation Chemistry of Boron Minerals, ITU Mining Faculty Minerals and Cool Processing.
- [39] Yargan, M., 2007, “Emet Espey Bor Tesisi İnce Gölet Atıklarının Zenginleştirme Yöntemlerinin Araştırılması” Yüksek lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- [40] Taşdemir, A., Taşdemir, T., and Öteyaka, B., “Jameson Flotasyon Hücresinde Önemli Çalışma Parametrelerinin Hava Tutunumu Ve Giren Hava Miktarına Etkileri” Madencilik, Cilt 45, Sayı 4, Aralık 2006, Sayfa 11-18.
- [41] Özkan Ş.G., Alp M.S., Veasey T.J., 1993, “Emet Kolemanit Cevheri Üzerindeki Flotasyon Çalışmaları” Türkiye 13.Madencilik Kongresi, Türkiye.
- [42] Gül, A., Kaytaç, Y., Önal, G., 2005, Beneficiation of Colemanite Tailings by Attrition and Flotation, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye.
- [43] Uçar, A., Şahbaz, O., Yargan, M., Savaş, M., 2008, “Emet Espey Bor Tesisi İnce Gölet Atıklarının Flotasyonla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması” 2. Ulusal Bor Çalıştayı, Türkiye
- [44] Mount Isa Mine (MIM) Process Technologies, Majer installation in solvent extraction-electrowinning, coal and base metal flotation -Jameson cell, www.mimpt.com.au

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [45] TAŞDEMİR, T., 2006, “Jameson Hücresinde Hold-up’ın Modellenmesi ve Bazı Çalışma Parametrelerinin Flotasyon Verimine Etkisi ” Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [46] ŞAHBAZ, O., 2005, “Tunçbilek Termik Santral Cürufundan Yanmamış Karbonun Jameson Flotasyon Kolonu İle Kazanımı” Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- [47] Özkan, Ş.G., 2001, “Comparison of Magnetic Separation and Flotation Results for Beneficiation of Emet Colemanite, İstanbul, Turkey
- [48] Gürsoy, H., 2007, “Jameson Flotasyon Hücresinde İnce Taneli Kompleks Bakır Cevherlerinin Zenginleştirilebilirliği” Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [49] Bentli, İ., Ediz, N., Tatar, İ., 2004, Kestelek Bor İşletmesi -3 mm Klasifikatör Çökeni Ürünün Pervaneli Dağıtıcılarda Zenginleştirilmesi, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye, 23-25 Eylül.

EKLER

B₂O₃ Analizi

1. 0-3 mm ebadına getirilen kolemanit cevheri numunesi 105 °C' de etüvde 2 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numune diskli öğütücüden geçirilerek pudra haline getirilir.
2. Pudra halindeki bu numuneden tartım anındaki nemi tayin etmek için 4±1 gr numune alınır.
3. Bu numuneden 250 mililitrelik erlen için 1±0,2 gr tartılır.
4. Erlenin içine 60-70 ml saf su eklenmesiyle bulamaç yapılır.
5. Tekrar erlenin içine 10±0,5 ml derişik HCl asit ilave edilir.
6. Erlenin üzerine bir huni yerleştirildikten sonra, kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk kaynatılır.
7. Kaynama bittikten sonra huni yıkanarak alınır.
8. Birkaç damla metil kırmızısı damlatılır. Renk sarıya dönünceye kadar azar azar sodyum karbonat-sodyum bikarbonat karışımı eklenerek +3 eğerlikli (Al, Ti, Fe) çöktürülür.
9. Ortam nötre yakın bazik olmalıdır. Karbonat fazla eklenmiş ise asitlendirilip tekrar ayarlanır.
10. Birkaç dakika yeniden kaynatılır ve soğutulur.
11. Süzülür ve üç defa sıcak su ile yıkanır.
12. Berrak çözelti hafif asitlendirilip, CO₂ yi ortamdan atmak için kaynatılır ve soğutulur.
13. Soğuyan çözeltiye, ayarlı faktörü belirlenmiş 0,5 Normal NaOH ve 4-5 gr mannitol ilave edilerek üzerine fenolftalein eklenir.
14. Faktörlenmiş 0,5 Normal NaOH ile titre edilir.
15. Titrasyon sonundaki sarfiyat dikkate alınarak aşağıdaki formülle B₂O₃ yüzdesi hesaplanır.

$$\% \text{B}_2\text{O}_3 = 0,017405 * \text{S} * \text{F} / \text{T} * 100$$

0,017405 = Eşdeğer miligram

S = 0,5 Normal NaOH sarfiyatı

F = 0,5 Normal NaOH faktörü

T = Numune tartımı

Not:

1. B_2O_3 analizlerinde sarfiyattan 0,1-0,2 gr düşülür. 0,1 gr 25 mm–100 mm elek boyutundaki numuneden, 0,2 gr 0,3-3,25 mm elek boyutundaki numuneden düşülür.

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

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

4. Bütün işlemler kaynar saf su ile yapılır.

Faktör Hazırlama

25 ml' lik erlene 0,4-0,5 gr H_3BO_3 tartılır (8-10 adet erlene). Her bir numuneye 60-70 ml saf su ilave edilir. Kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk. Kaynatılır. Su banyosunda soğutulur. Soğutulan çözeltiliye 3-5 damla metil kırmızısı, 3-5 damla fenolftalein damlatılır. 4-5 gr mannitol ilave edilir. Renk soğan kabuğu rengine dönene kadar 0,5N NaOH ile titre edilir.

$$\text{F} = \text{T} / (0,03092 * \text{S})$$

F = Faktör

T = Tartım

S = Kullanılan NaOH miktarı

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

% 0,1'lik Metil Kırmızısı Hazırlanışı

1gr metil kırmızısı tartılır. 750 ml etil alkolde iyice çözülür. Sonra adi süzgeç kâğıdından süzülür. Kâğıt alkolle yavaş yavaş yıkanır. Saf su ile 1lt'ye tamamlanır.

0,1'lik Fenolftalein Hazırlanışı

1gr fenolftalein tartılır. 750 ml etil alkolde çözülür. Saf su ile 1lt'ye tamamlanır.

0,5N NaOH Hazırlanışı

1lt için 20 gr, 20lt için 400 gr NaOH eklenir. Havadan nem kapmaması sağlanır. Bir beherin içine 20 gr NaOH eklenir. Üzerine hemen 1lt saf su ilave edilir. Bir karıştırıcı yardımıyla NaOH' ın çözülmesi sağlanır. Daha sonra hazırlanmak istenen miktar kadar saf su ilavesi yapılır ve 0,5N NaOH hazır hale gelir.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Kırklareli'nde doğdu. İlköğrenimini Bozüyük, orta ve lise öğrenimini İzmir'de tamamladı. 2002 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2006 yılında lisans eğitimini tamamlamış olup yine 2006 yılında aynı üniversitede Cevher Hazırlama üzerine yüksek lisansa başladı. 2008 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.