

**EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET
ATIKLARININ ZENGİNLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Müge YARGAN

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2007

**EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ ZENGİNLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Müge YARGAN

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

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR

Ekim - 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Müge YARGAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "EMET ESPEY BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

05/10/2007

Üye : Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR

Üye : Yrd.Doç. Dr. Bülent YILMAZ

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 ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Müge YARGAN

Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR

ÖZET

Bu çalışmada Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Espey konsantratör tesisi bor zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan, artık barajında depolanan, hem çevresel sorunlara hem de ekonomik kayıplara neden olan ince (-3 mm) artıkların zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır.

Bunun için ilk önce malzemenin kimyasal, fiziksel ve fizikokimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada artık barajından alınan temsili numunenin %26,3 B₂O₃ içerikli olduğu, aynı zamanda %0,448 oranında istenmeyen As₂O₃ içerdiği tespit edilmiştir. Mineralojik incelemeler sonucunda ise numunenin esas olarak kolemanit, kil ve kuvars minerallerinden oluştuğu az olarak da kalsit, dolomit içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca; kimyasal analizden, gözle ve mikroskop görüntülerinden sarı ve kırmızı renkli orpiment ve realgar minerallerinin olduğuda saptanmıştır.

Zenginleştirme çalışmalarında, mekanik karıştırma+kimyasal dağıtma+sınıflandırma ve flotasyon olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla özellikle kolemanit ve kil minerallerinin zeta potansiyel çalışmaları, pH, kil oranı, inorganik iyonlar, flotasyon reaktifleri ve dağıtıcılara göre yapılmıştır. pH'ya göre yapılan zeta potansiyel çalışmalarında kolemanit pH=10,2'de sıfır yük noktasına sahipken kil ölçüm yapılan bütün pH değerlerinde negatif yüzey yükü göstermiştir.

Çeşitli değerlikli iyonlarla yapılan ölçümlerde çok değerlikli iyonlar kolemanitin yüzey yükünü pozitif yönde artırırken kilde de pozitive doğru yaklaştırdığı tespit edilmiştir. Flotasyon reaktifleri ise negatif yönde artırmıştır.

Dağıtıcılarla yapılan ölçümlerde isi sodyum sitrat kolemanitin sodyum hegzametafosfat ise kilin yüzey yükünü negatif yönde oldukça artırmıştır. Doğal pH'da (pH=9,25) pozitif yüklü olan kolemanitin yüzeyi negatif yüklü kil mineralleri ile kaplandığından, yine aynı dağıtıcılar, kolemanit üzerine çeşitli oranlarda kil eklenmesi ile yapılmış ve tüm kil oranlarında sodyum hegzametafosfat en yüksek negatif yüzey yükünü vermiştir.

Mekanik dağıtma sonucunda istenilen değerler elde edilemediği için mekanik dağıtmada ilaveten kimyasal dağıtıcılar kullanılmıştır. En iyi sonuçlar sodyum hegzametafosfat dağıtıcısı kullanımında elde edilmiştir. Dağıtma sonucu %44,63 B₂O₃ tenörlü 38 µm elek üstü konsantre %95,52 verim ile kazanılmıştır. 38 µm elek altı %3 B₂O₃ tenörlüdür.

Kolemanitin flotasyon özelliklerini araştırmak için de mikroflotasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda kolemanit için en iyi toplayıcının R801 olduğu, killerin flotasyonu engellendiği ve Ca⁺⁺ iyonunun flotasyonu engellemediği tespit edilmiştir.

Flotasyon deneyleri de iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada Arsenik mineralleri ikinci aşamada da Kolemanit flotasyonu yapılmıştır. Ayrıca Arsenik flotasyonunun mekanik kimyasal dağıtma öncesinde de yapılabileceği fakat iri boyut nedeniyle daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Arsenik flotasyonu çalışmalarında serbestleşme boyutunun -150 µm olması ve şlamın olumsuz etkisi nedeniyle -38 µm'nin alınmasıyla flotasyon boyutu -150+38 µm olarak bulunmuştur. Böylece optimum koşullarda yapılan kolemanit deneyleri sonucunda %46,42 B₂O₃ tenörlü konsantre %99,09 verimi ile elde edilmiştir. Artık tenörü %1,22 B₂O₃'dir. Ağırlıkça %34,32 olan 38 mikron altı tenörü ise %12,87 B₂O₃'dir.

Bu iki yöntem karşılaştırıldığında mekanik karıştırma+kimyasal dağıtma+sınıflandırma yönteminin üstünlüğü görülür. Fakat mekanik karıştırma+kimyasal dağıtma+ sınıflandırma yöntemi uygulanıp çok az tenörlü (%3 B₂O₃) -38 µm kısmı atılırsa ve çok yüksek tenörlü (%45,26 B₂O₃) olan +150 µm kısmı da alınırsa geriye kalan -150+38 µm boyut grubuna flotasyonla çok yüksek başarı elde etmek kaçınılmazdır.

Anahtar Kelimeler : Emet Espey Bor Tesisi, Flotasyon, Kimyasal Dağıtma, Kolemanit, Mekanik Karıştırma

RESEARCH THE METHODS OF ENRICHMENT OF FINE POND WASTES OF EMET ESPEY BORON PLANT

Müge YARGAN

Master of Science Thesis, 2007

Thesis Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ali Uçar

SUMMARY

In this study, the possibility to beneficiate fine tailings of Emet Espey Boron Plant, which cause both environmental problem and economic losses, is examined.

Therefore, first of all chemical, physical and physico-chemical characterization studies of the material have been performed. It has been determined that the representative sample taken from the waste dam has 26,3% B_2O_3 and 0,448% As_2O_3 . As the result of the mineralogical examinations, it has been determined that the sample mainly consisted of colemanite, clay and quartz minerals and it also contained small amounts of calcite and dolomite.

In the beneficiation studies, two methods are mechanical dispersion + chemical dispersant + classification and flotation, have been applied performed. Therefore, first the zeta potential studies of colemanite and clay minerals have been performed in accordance with pH, clay ratio, inorganic ions, flotation reactivities and dispersants. In the zeta potential studies performed in accordance with pH, it has been seen that clay has negative surface charge for all pH values while colemanite has point of zero charge at pH:10,2

In the measurements performed with different ions having various valences, it has been determined that multi-valence ions increase the surface charge of colemanite to positive direction and approach clay surface to positive degree. The flotation reactivities have changed to colemanite surface to negative.

In the measurement performed with dispersant, it has been seen that sodium citrate increase the colemanite surface charge to negative direction in great amount while sodium hexametaphosphate increase the clay surface charge to negative direction in great amount. Since the surface of colemanite, which has positive charge at naturel pH (pH:9,25), is coated with negative charged clay minerals, the highest negative surface charge of colemanite having same clay ratio was obtained by the use of sodium hexametaphosphate dispersant.

Since the desired values could not be obtained as the result of mechanical dispersion, chemical dispersant have been applied additionally in mechanical dispersion. The best result has been obtained by using the sodium hexametaphosphate dispersant. As the result of dispersion studies the concentrate of +38 μm having 44,63% B_2O_3 was obtained with recovery of 95,52%. The grade of -38 μm size group is 3% B_2O_3 .

In order to examine the flotation characteristics of colemanite, micro-flotation studies have been performed. In these studies, it has been determined that the most suitable collector for colemanite is R-801, when the clays prevent and Ca^{++} not prevents the flotation.

Flotation tests have been performed in two stages. In the first two stages, arsenic minerals and colemanite flotations have been performed, respectively. Furthermore, it has been determined that it is possible to perform arsenic flotation also before mechanical+chemical dispersion, but it is less effective due to coarse size. In the arsenic mineral flotation, the liberation size was found as -150 μm and size of -38 μm discharged as a slime. Therefore; suitable size group for flotation was obtained as -150 +38 μm . This, as the result of the colemanite tests performed under optimum conditions, the recovery for the concentrate having 46,42% B_2O_3 has been obtained as 99,09%. Tailing grade is 1,22% B_2O_3 . The grade of -38 μm is 27,79% B_2O_3 .

When these two methods are compared, it is seen that the mechanical+chemical dispersion+ classification method is superior. If size group of -38 μm having only 3% B_2O_3 is discharged by mechanical + chemical dispersion + classification and size group of +150 μm having 45,26% B_2O_3 is taken, flotation can be very efficient for the size group of -150 +38 μm .

Keywords: Emet Espey Boron Plant, Classification, Chemical Dispersant, Colemanite, Mechanical Dispersion

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 Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR'a, şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bilgi ve birikimini benimle paylaşan sayın Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA'ya, çalışmamın hem deneysel kısmında hem de yazım aşamasında yapmış olduğu katkılarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Ahmet YAMIK'a, yine 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 arkadaşım Seçil AYAZ'a ve yine çalışmalarım da bana yardımcı olan Senem KERENCİLER'e sonsuz teşekkürler.

Kolemanit atık numunelerinin temininde gösterdikleri ilgi ve B₂O₃ analizi yapımını öğrenmemize yardımcı olan Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, bu günlere gelmemi sağlayan, en kötü günlerimde dahi benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatımın her aşamasında yanımda olan sevgili annem Sevgi YARGAN'a, babam Yılmaz YARGAN'a ve kardeşim Mine YARGAN'a minnettarım...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Borun Tanımı.....	3
2.2. Bor Mineralleri	4
2.2.1. Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	4
2.2.2. Kernit (Razorit) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	5
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
4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	21
4.1. Boyuta Göre Zenginleştirme	21
4.2. Gravite Yöntemi Zenginleştirme	21

İÇİNDEKİLER (devamı)

	Sayfa
4.3. Manyetik Zenginleştirme	21
4.4. Dekrepatasyon Yöntemi ile Zenginleştirme.....	22
4.5. Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme	22
4.6. Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme	23
4.6.1. Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli.....	27
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI.....	34
5.1. Malzeme ve Yöntem	34
5.2. Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyu Analizleri.....	40
5.3. Zeta Potansiyel Ölçümleri	40
5.4. Mekanik Dağıtma Deneyleri	48
5.4.1. Karıştırma hızının belirlenmesi	48
5.4.2. Uygun karıştırma zamanının belirlenmesi.....	51
5.4.3. Mekanik dağıtmaya yardımcı en uygun kil dağıtıcı reaktif tipinin belirlenmesi	53
5.4.4. Mekanik dağıtmaya yardımcı kil dağıtıcı miktarının belirlenmesi.....	55
5.4.5. Dağıtıcının öğütme ortamında kil uzaklaştırmaya etkisi	59
5.5. Flotasyon Deneyleri.....	60
5.5.1. Mikroflotasyon deneyleri.....	60
5.5.2. Arsenik flotasyonu.....	62
5.5.3. Kolemanit flotasyonu.....	68
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR DİZİNİ	83
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ	90

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 Konsantre Tesisi akım şeması	16
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri	19
4.1. Flotasyon hücresi	24
4.2. Elektriksel Çift Tabaka'nın iç kısımları.....	29
4.3. Temas açısı ve fazlar arası denge.....	32
4.4. Temas açısı ölçümü.....	33
5.1. Atık Barajı Numunesinin XRD sonuçları	35
5.2. Atık Barajı Numunesindeki kilin XRD sonuçları	35
5.3. Ocaktan alınan temiz kolemanit ve kil ile yapılan çalışmaların akım şeması.....	38
5.4. Espey artık barajından alınan numune ile yapılan çalışmaların akım şeması	39
5.5. Kolemanit ve kilin değişik pH' larda zeta potansiyeli	41
5.6. Kilin değişik oranlarda kolemanite eklenmesi ile ortam pH'larında zeta potansiyeli....	42
5.7. Çeşitli iyonların konsantrasyonlarının ortam pH'larında kolemanitin zeta potansiyeline etkisi.....	42
5.8. Çeşitli iyonların konsantrasyonlarının kilin zeta potansiyeline etkisi.....	43
5.9. Çeşitli dağıtıcıların konsantrasyonlarının ortam pH'sında kolemanitin zeta potansiyeline etkisi.....	44
5.10. Çeşitli dağıtıcıların konsantrasyonlarının ortam pH'sında kilin zeta potansiyeline etkisi.....	45
5.11. Sodyum Sitrata'nın farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi.....	45
5.12. Na ₂ SiO ₃ 'ün farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi	46
5.13. NaCO ₃ 'ün farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi	46
5.14. Na(PO ₃) ₆ 'nın farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi	47
5.15. EDTA'nın farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi	47
5.16. Çeşitli toplayıcı reaktiflerin kolemanit flotasyon verimine etkisi.....	60
5.17. Kil miktarına bağlı olarak sabit R801 miktarında (1500 gr/ton) kolemanitin tenör-verim değişimi	61

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.18. Kil miktarına bağlı olarak sabit R825 miktarında (1500 gr/ton) kolemanitin tenör-verim değişimi	61
5.19. CaCl ₂ konsantrasyonlarında R801 ve R825'e bağlı olarak kolemanitin verim değişimi	62
5.20. Farklı gaz yağı miktarlarının kolektör etkisi	64
5.21. Tane boyutuna göre tenör-verim dağılım	66
5.22. Gaz yağı miktarına göre %As ₂ O ₃ tenör-verim tablosu	68
5.23. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değerleri	70
5.24. Bastırıcı cinsine bağlı olarak tenör-verim değişimi	72
5.25. Bastırıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi	75
5.26. Katı oranına bağlı olarak tenör-verim değişimi	76
5.27. Flotasyon zamanına bağlı olarak tenör-verim değişimi	78
6.1. Espey Artık Barajı numunesinden kolemaniti kazanmak için önerilen akım şeması ..	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor elementinin fiziksel özellikleri.....	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
2.5. Türkiye bor tuzu rezervlerinin ve B ₂ O ₃ bazında rezervlerin havzalara dağılımı.....	13
5.1. Numunenin kimyasal analizi.....	34
5.2. Emet Espey atık barajından alınan numunenin tane boyutuna bağlı tenörü.....	36
5.3. 800 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	49
5.4. 1100 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	49
5.5. 1200 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	49
5.6. 1600 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	50
5.7. 1800 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	50
5.8. 2000 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	50
5.9. 4 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	51
5.10. 6 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	52
5.11. 8 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	52
5.12. 10 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	52
5.13. 12 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi.....	53
5.14. Sodyum silikat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	54
5.15. Sodyum karbonat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	54
5.16. EDTA ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	54
5.17. Sodyum sitrat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	55
5.18. Sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	55
5.19. 200 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	56
5.20. 300 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	57
5.21. 400 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	57
5.22. 500 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	58
5.23. 600 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.24. Farklı zamanlarda öğütme işlemi	59
5.25. Sodyum hegzametafosfat ilavesi ile farklı zamanlarda öğütme işlemi	59
5.26. Artık barajı numunesi arseniğinin flotasyon ürünleri tenör-verim tablosu	64
5.27. Tane boyutuna göre arseniğin flotasyon ürünleri tenör-verim tablosu.....	66
5.28. Gaz yağı miktarına göre %As ₂ O ₃ tenör-verim tablosu.....	67
5.29. -150 µm'ye öğütülmüş numunenin elek analizi	68
5.30. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi.....	70
5.31. Bastırıcı cinsine bağlı olarak tenör-verim değişimi	72
5.32. Bastırıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi	74
5.33. Katı oranına bağlı olarak tenör-verim değişimi	76
5.34. Flotasyon zamanına bağlı olarak tenör-verim değişimi	77

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 kullanılmasına rağmen 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 bağımlıdırlar. 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, kırılğan 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 içerdiği %26,3 olarak tespit edilmiştir.

Türkiye'deki tüm tesislerde bor zenginleştirilmesi 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 olmaktadır. Ayrıca 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 nedenle bu çalışmanın amacı, bu atıkları çeşitli yöntemlerle zenginleştirerek baraja giden arsenikli kolemaniti kazanıp, çevresel problemleri ortadan kaldırmak ve ekonomiye kazanç sağlamaktır. Böylece atık barajına daha az miktarda malzeme gideceği için ilave atık barajı yapımına da gerek kalmayacaktır. Ayrıca daha az bor içerecek olan atığında çeşitli sektörlerde kullanım olanakları da araştırılırsa sorunlar kökten çözülmüş olur.

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

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

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;

- 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) [7, 8, 9, 12, 15, 16].

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 $1,7 \text{ gr/cm}^3$ '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 $1,95 \text{ gr/cm}^3$ ve B_2O_3 içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Kırka 'da Na-borat kütlelerinin 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 teşekkül etmiştir. 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 teşekkül etmiş olup kireçtaşına benzer. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B_2O_3 içeriği %49,8'dir [6, 13].

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

Bir merkezden ışınal ve iğne şeklindeki kristallerin rasgele yönelmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği %50,5'tir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki impüritelere bağlı olarak sarı ve kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre)

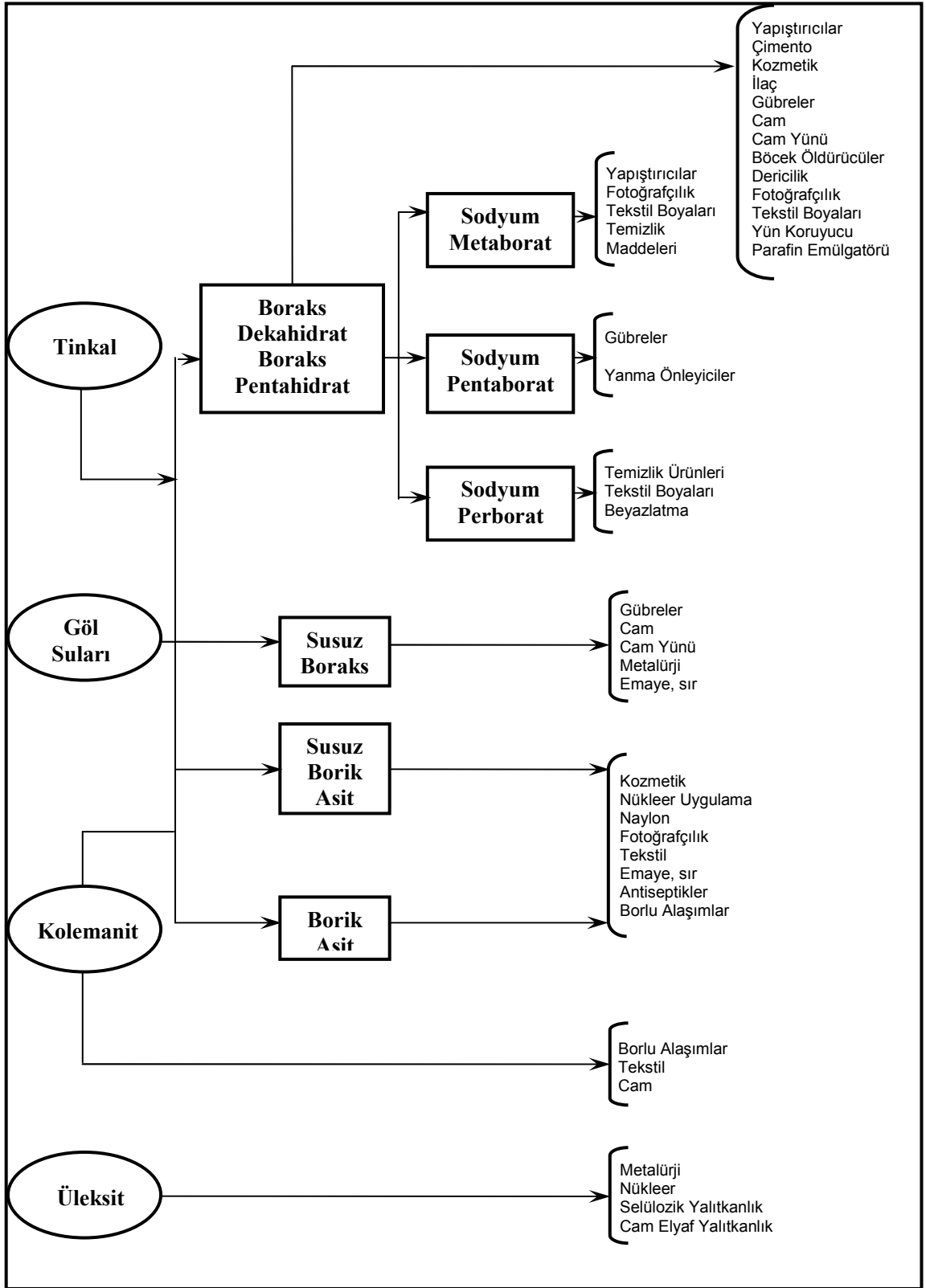
kolemanit, üleksit, probertit, tunalit ile birlikte bulunur. Ülkemizde en çok Emet, Doğanlar, İğdeköy yörelerinde ve Kestelek'te oluşmuştur [6, 12, 13, 19].

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

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırhlı Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli silah Namulular vb.
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuvar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayii	Mikro Çipler, LCD Ekranlar, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında, Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yan İletkenler, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Laser Printer tonerleri vb.
Enerji Sektörü	Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb.
Fotoğrafçılık ve Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayii	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb.
İletişim Araçlarında	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
İnşaat ve Çimento Sektöründe	Mukavemet Artırıcı ve İzolasyon Amaçlı olarak
Kağıt Sanayii	Beyazlatıcı Olarak
Kauçuk ve Plastik Sanayii	Naylon vb. Plastik Malzemeler vb.
Kimya Sanayii	Bazı Kimyasalların İndirgenmesi, Elektrolitik İşlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı Olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyiciler, Dezenfektan Sıvılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Parlatıcılar, Mumyalama vb.
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve Vernik Kurutucularında vb.
Makine Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar, Kompozit Malzemeler, vb.
Metaller	Kaplama Sanayinde Elektrolit olarak, Paslanmaz ve Alaşım Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalurjik Flaks, Refrakterler, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Patlayıcı Maddeler	Fişek vb.
Nükleer Sanayii	Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak
Otomobil Sanayii	Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamlarda, Yağlarda ve Metal Aksamlarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antrifizler vb.
Seramik Sanayii	Emaye, Sır, Fayans, Porselen Boyaları vb.
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Bahk Oltaları, Golf Sopaları, Darbe Korucular vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Gübreler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabancı Otlar vb.
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları, Deri Renklendiricileri, Suni İpek Parlatma Malzemeleri vb.
Tıp	Ostreopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artiritte, Menapoz Tedavisinde, BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Kansellerinin Tedavisinde, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında vb.
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular Uçakları, 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 Karbit	Kesme Ekipman Bileycileri, Endüstriyel Yataklar, Çok Yüksek Sıcaklıklarda Korozyon ve Oksitlenme Direnci Gerektiren Ekipmanlar.
Bor Karbür	Askeri Araçlarda Zırh Plakaları, Uzay Mekiklerinde Dış Yüzey Korumucu, Aşındıncılar, Tesviye Aksarıları, Yüzey Parlaticılar, Yüksek Aşınma Direnci ve Esnemezlik Gerektiren Diğer Alanlar.
Borazon	Yüksek Hızlı Kesiciler
Borik Asit	Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımaları, Nükleer, Yangın Geciktiriciler, Naylon, Fotoğrafçılık, Tekstil, Dericilik, Gübre, Nikel Kaplama, Kimyasal Katalist, Cam, Cam Elyafı, Emaye, Sır, vb.
Bor Halidler	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil Kalite Cam Elyafı, Bor Alaşımaları, Cüruf Yapıcı, Nükleer Atık Muhafazası
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil, "Finishing" Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiriciler, Gübreler ve Zırai Araçlar
Sodyum Bor Cevheri (Üleksit ve Probertit)	Yalıtım Cam elyafı, Borosilikat Cam
Sodyum Bor Hidrür	Özel Kimyasalları Sıfırlama, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, Deterjan, Zırai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın Geciktirici, Gübre
Sodyum Perborat	Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil
Sodyum Tetraborat (Boraks)	Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar vb.
Susuz Boraks	Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler



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 alarak yapmaktadır. Türkiye sanayileşmesini tamamlayamadığından, ne yazık ki nihai ürünün eldesini sağlayacak teknolojileri de gerçekleştirememiştir. Gelecekte ihtiyacımız olacak cevherleri, bugün, hammadde olarak ihraç ettiğimiz bir gerçektir. Hammadde ihracı ile yeterli katma değer sağlanamamaktadır. Katma değer yurt içinde kalması için Ar-Ge'ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi gerekir [1, 2, 3, 14, 17].

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

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

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

- Özellikli ürünler daha özel üretim teknolojileri gerektirmekte, üretim miktarı sınırlı olmakta ve genellikle ileri teknoloji ürünlerinde kullanılmaktadır [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 şunda motorlu araçlarda kullanılan petrolün (benzin, mazot) alternatifi “bor” madeni olacağını bilim adamlar ifade etmektedir. Dünya bor rezervlerinin %72’si Türkiye’dedir. Türkiye, yüzyılımızda petrol kadar önemli ve hatta petrolden bile daha önemli olacağı varsayılan bor madeninin dünyadaki en büyük rezervine sahip ülkesidir. Türkiye’nin bor madenlerinin rezerv ömrü 412 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi Rusya’nın bor rezervleri 85 ve ABD ise 76 yıllık ömre sahiptir [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, Arjantin, Rusya, Kazakistan, Çin, Bolivya, Peru ve Şili’nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır [9, 13, 20].

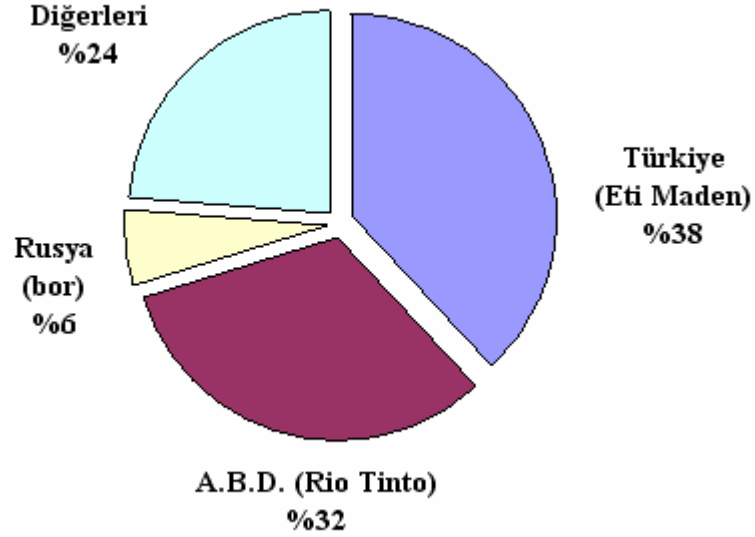
Dünyadaki en büyük bor yatakları ise Türkiye, ABD ve Rusya'dadır. Türkiye'nin bor madenlerinin rezerv ömrü 412 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi ABD'nin bor rezervleri 76 yıllık ömre sahiptir. Türkiye rezervlerinin %37'si Bigadiç, %34'ü Emet, %28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır [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

Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye %72'lik pay ile ilk sıradadır. 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 bor madenleri, Burhaniye'den Savaştepe'ye, Susurluk'tan Dursun bey'e, Bigadiç'ten Sultan çayı'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 (Çizelge 2.5.). Türkiye'nin ekonomik değer ifade eden borat yatakları hakkında daha geniş bilgi aşağıda verilmiştir [6].

Çizelge 2.5. Türkiye bor tuzu rezervlerinin ve B₂O₃ bazında rezervlerin havzalara dağılımı [7, 9, 20]

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

2.4.2.1.1. 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 çökerek 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 B_2O_3 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 üzerindeki malzeme tesislerdeki merdaneli ve şoklu kırıcılarda kırılarak aynı işlemlerden geçirilir [10, 26].

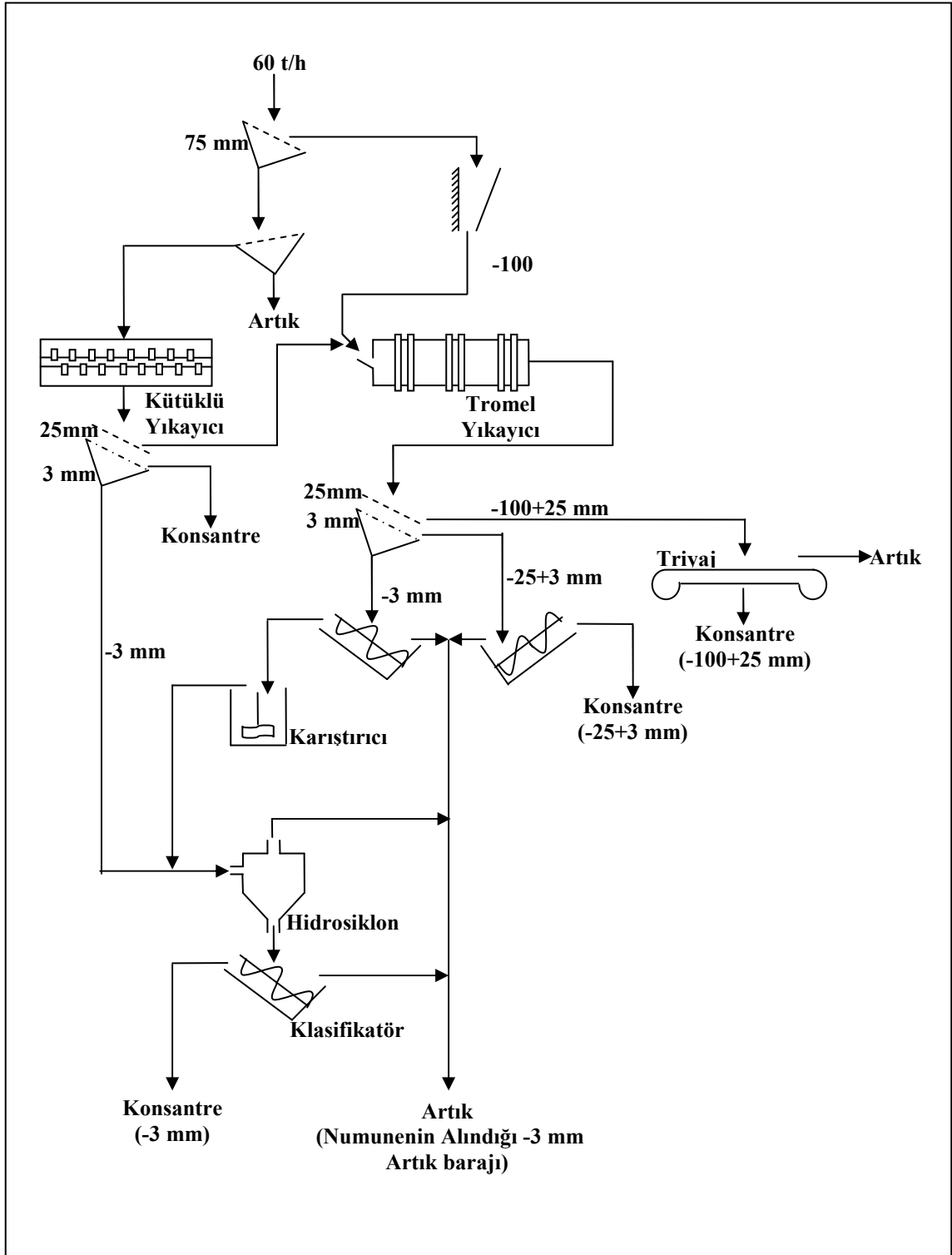
2.4.2.1.2. Emet Borat Yatakları ve Zenginleştirme Tesisleri

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 B_2O_3 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].

Üretilen tüvenan cevheri zenginleştirmek amacı ile açık işletmenin bulunduğu Hisarcık ve Espey bölgelerine kurulan konsantratörlerde yapılan başlıca işlemler kırma, klasifikasyon ve yıkamadan oluşmaktadır. Elle ayıklama, yıkama-dağıtma sonrasında boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Hisarcık ve Espey açık işletmelerinden elde edilen tüvenan tenörü yaklaşık %29 B₂O₃ olup, Konsantratör Tesis'i çıkış tenörü %41 dolayında gerçekleşmektedir [10, 15, 26].



Şekil 2.3. Espy Bor Konsantre Tesisi akım şeması [28]

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 B_2O_3

Üleksit: Toplam 11 milyon ton, ortalama %30 B_2O_3

Bigadiç'te halen bir adet kapalı ve üç adet açık ocakta tüvenan kolemanit ve üleksit cevherleri üretilmektedir. Çıkarılan cevherler; konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemine tabi tutularak satılık ürün haline getirilmektedir. Tesiste yapılan zenginleştirme; cevheri su ile yıkayarak kil minerallerinden ayırma ve ardından da sınıflandırma işleminden ibaret olup üç ayrı boyutta konsantre ürün elde edilmektedir. Elle ayıklama, tamburla aktararak dağıtma, boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Tesise beslenen ortalama tüvenan cevher tenörü %30–32 B_2O_3 olup, elde edilen kaba konsantre tenörü %42 B_2O_3 , ince konsantre tenörü %36 B_2O_3 ve ara ürün tenörü %29 B_2O_3 civarında gerçekleşmektedir. Artık ince ürün ise %16 B_2O_3 içermektedir. Tüvenanın üleksit olması halinde ise %30 B_2O_3 ' lük cevherden elde edilen kaba konsantrenin tenörü %38 B_2O_3 , ince konsantre tenörü ise %26 B_2O_3 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 B_2O_3 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 Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri

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

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

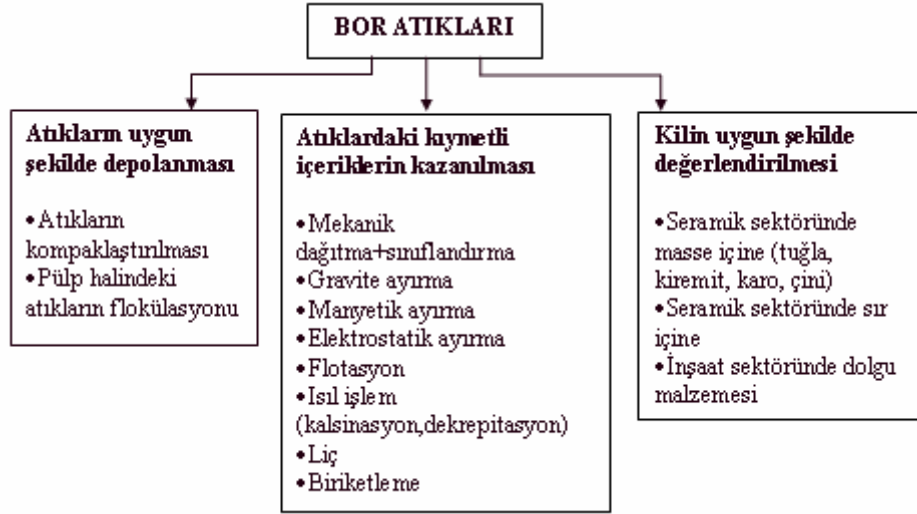
Atıklar ile ilgili standartlar, yönetmelikler ve ilgili kanunlarla getirilen sınırlamalar mevcuttur [6, 29, 30].

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, çözeltme+flokülasyon, flotasyon, ısıl işlem (kalsinasyon, dekrepitasyon) ve briketleme yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği ve atıklardaki borun doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve önemli neticeler alınmıştır. Bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma+sınıflandırma yöntemleri ancak iri boyutlara uygulanabilmekte, ince boyuttaki(-0.5 mm) %15–20 B₂O₃ tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir. Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve para manyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek olan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir. Aytekin ve Badruk Amerikan Borate Corporation şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve kalsinasyon yöntemlerini kullandığını bildirmiştir [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. Bor minerallerine 400–600°C’de kristal sularını uzaklaştırması amacıyla yapılan işleme kalsinasyon (dekrepitasyon) denmektedir. Bor mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon

yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olduğu yanında çevre kirliliği meydana getirmediği belirtilmektedir. Aytakin ve Badruk 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 yaptığını bildirmektedir. Araştırmalar bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kazanılabileceğini göstermiştir. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. İster ham cevher olsun ister konsantre olsun boratların çok ince boyutta (-0,5 mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaca yönelik olarak çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan çıkan ortak sonuç, tanelerin suyla veya borik asitle nemlendirilmesi ile istenen özellikte biriket elde edilmesi mümkün olduğu yönündedir [6, 29, 30].

3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması

Bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, bu atıkların seramik ve inşaat sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killerin tuğla sanayinde değerlendirmesi ile hem tuğla sanayinde ek hammadde kaynağı sağlamakta hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler aza indirilmektedir. Atık killer seramik sanayinde frit, sır ve masse yapımında da kullanılabilir. Atık killer ayrıca inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir [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 kazanılıp bir tükine beslenip etkili bir çökeltme ile suyu tekrar kazandıktan sonra ortaya çıkan koyu artıklar atık barajına verilebilir veya en uygun zenginleştirme yöntemiyle borları kazanmak gerekir.

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 Zenginleştirme

Bor mineralinde, 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 tanelerin 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 ısıtılma tabii tutulduğunda kristal suyunu kaybederek ilk önce şişme özelliği gösterirken zayıf bir yapıya dönüştüğünden, kırılma yapıda olup, gang minerali kilden eleme yöntemi ile kolayca ayrılmaktadır. Bu eleme işlemi esnasında bor minerali, kil mineralinin tane boyutundan daha ince bir boyuta indiğinde elek altından alınır. Bu yöntemde etkili parametreler, sıcaklık aralığı, ısıtılma süresi, tane boyutudur [10, 26, 32].

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 [33].

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 kolonu

olmak üzere iki farklı grup altında toplanabilir. Tane boyutuna bağlı olarak flotasyon verimleri açısından bu aletlerin birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Buda, farklı çalışma mekanizmalarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır [33].

Bu aletlerde aranan temel özellikler şunlardır;

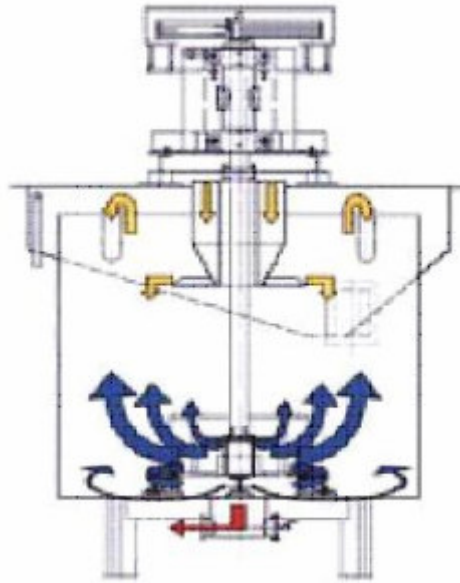
1. Pülp içindeki katı tanelerin homojen karışımını sağlayıp ve süspansiyon halinde tutabilmek,
2. Pülp içine yeterli havayı verebilmek.

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

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

- Zenginleştirilecek olan serbest taneciklerin sulu ortamda süspansiyon halinde tutulması (%40-45 katı oranı),
- İstenen mineral taneciklerinin yüzeyini hidrofob yapabilmek için pülpün bazı reaktiflerle işleme tabi tutulması (koşullandırma),

- Hava kabarcığı üretebilen ve katı tanecikleri askıda tutabilen bir karıştırıcıya sahip flotasyon hücresine pülpün aktarılması (sulandırma ve %15-35 katı),
- Boyutu kontrol edilebilen (köpürtücü, karıştırıcı sistem ve kabarcık üreticisi vasıtasıyla) hava kabarcıklarının hidrofob taneciklere yapışması (agregaların oluşumu),
- Suyun kaldırma gücüyle katı/hava kabarcığı agregalarının su yüzeyine çıkması,
- Köpürtücü miktarına bağlı olarak oluşan kararlı köpük zonunda yüzen taneciklerin toplanması,
- Konsantre ürün elde edebilmek için yüzen mineralce zengin köpüğün alınması,
- Flotasyon hücresinde kalan hidrofil (yüzmeyen) taneciklerin pülple beraber alınması [33].



Şekil 4.1. Flotasyon hücresi

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

Özkan ve Veasey, (1994), Emet kolemaniti üzerinde ki flotasyon çalışmalarında tane boyutu -210 mikron olarak alınmış, -20 mikron şlam olarak atmışlardır. %20 katı oranında

yaptıkları bu deneylerde pH=9,3'dür. 1 lt'lik flotasyon hücresinde 20±5°C de, 1350 dev/dk pervane hızında 5dk'da flotasyon gerçekleştirilmiş. Toplayıcı olarak oleik asit, AP825, CA927 kullanmışlardır. Kullandıkları toplayıcılar %5'lik hazırlanmış, 100 gr/ton kullanılmıştır. Köpürtücü olarak ise AF70 kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %35 B₂O₃ tenörlü kolemanit %80 verim ile elde edilmiştir [34].

Çelik, Elma ve Müdüroğlu, yaptıkları mikroflotasyon çalışmalarında tane boyutunun -150 +75 mikron olarak kabul edilmiş, -38 mikron tane boyutunu zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanılmıştır. Mikroflotasyon çalışmalarında kıvamlandırma zamanı 10 dk, flotasyon zamanı 1 dk'dır. Oda sıcaklığında yaptıkları bu çalışmada toplayıcı olarak %98 saflıkta SDS, canlandırıcı olarak Ca⁺⁺ iyonları kullanmışlar ve temiz kolemanit % 90 verim elde edilmiştir [35].

Özkan, Alp ve Veasey'in (1993), yapmış oldukları flotasyon çalışmalarında tane boyutunu -210 mikron, katı oranını %20 olarak almışlardır. Doğal pH'da yaptıkları bu çalışmalarda Danver flotasyon hücresi kullanmışlar, sıcaklık 20 °C'dir ve devir 1350 dev/dk'dır. Toplayıcı olarak 1500 gr/ton R-825, köpürtücü olarak 100 gr/ton AF70 kullanılmış. % 40 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren kolemanit cevheri % 48 B₂O₃ tenörü ve % 90 verimle kazanılmıştır [36].

Bulut, Ören, Acarkan ve Bakan tarafından Tinkal atığına uygulanan flotasyon çalışmalarında, 0,3 mm tane boyutundaki numune (-38 mikron şlam olarak atılmış) doğal pH'da (9,3), danver flotasyon hücresinde 5 dk kıvamlandırılmış ve 5 dk'da flotasyonu tamamlamışlardır. Toplayıcı olarak DAH, SDS (500, 1000, 2000 gr/ton) ve R825-R801 (2000 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta (50, 100, 200 gr/ton) ve tannik asit (100, 200, 400 gr/ton), canlandırıcı olarak baryum klorür (200, 400, 800 gr/ton) ve köpürtücü olarak AERO 801 kullanılmıştır. % 20 – 25 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren tinkal %34,85- 35,93 B₂O₃ tenörü ile ve % 75,05 – 80,70 verim ile flotasyondan konsantre olarak kazanılmıştır [37].

Gül, Kaytaç ve Önal, (2005), yaptıkları flotasyon çalışmalarında tane boyutu -0,074 mm, katı oranı %15, devir 1200 dev/dk ve pH=10'dur ve pH ayarlayıcı olarak da NaOH kullanmışlardır. 5 dk kıvamlandırılan kolemanitin 3 dk'da flotasyonunu tamamlanmıştır. Toplayıcı olarak R801, R825, Hoechst F-698 (600 g/t), bastırıcı olarak Ke-1365, Dekstrin (80 gr/ton), Na₂SiO₃, Cataflot P-40 ve köpürtücü olarak ise Flotarol D-14 kullanılmıştır. % 20 B₂O₃ tenörü ile flotasyona beslenmiş olan kolemanit atığı % 44,50 B₂O₃ tenör ve % 68,40 verim ile konsantre olarak kazanılmıştır [38].

Hançer, Kaytaç ve Çelik, (1993), flotasyon çalışmalarında saf boraks numunesini -250 +100 mikron tane boyutuna getirmişlerdir. Doğal pH=9,3 ve pH ayarlayıcı olarak NaOH ve HCL kullanılmıştır. Deneyler mikroflotasyon hücresinde 10 dk flotasyon zamanında, 20 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Toplayıcı olarak SDS – DAA kullanılmış ve deneyler sonucunda % 65 verim sağlanmışlardır [39].

Savaş ve Koca, (2003), flotasyon çalışmalarında kolemanitin tane boyutunu -150 +75 mikron olarak belirlemişler, pH'ı 9 olarak ayarlamışlardır. % 3 katı oranında yaptıkları deneylerde mikroflotasyon hücresi kullanmışlardır. Numuneyi 10 dk kıvamlandırıldıktan sonra 60 dk da flotasyon tamamlanmıştır. Toplayıcı olarak R-825, R- 840, Na-Oleat, Armac-T, KAX, KEX, canlandırıcı olarak BaCl₂ 2H₂O (0,5kg/ton) ve köpürtücü olarak ise MIBC kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda % 32,45 B₂O₃ tenörü % 88 verimle kolemanit konsantresi elde edilmiştir [40].

Yılmaz, (2002) flotasyon deneylerinde mineral olarak -25 mm boyutunda tinkal kullanmıştır. % 50 katı oranında yaptığı deneylerde pH'ı 9-10 olarak ayarlamış ve 10 dk kıvamlandırmıştır. Tinkalin flotasyon zamanı yine 10 dk'dır. 1500 dev/dk pervane hızında yaptığı deneyde toplayıcı olarak R-825, R-801 (1000 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta, sodyum silikat (2000 gr/ton) ve qebrocho, canlandırıcı olarak baryum klorür ve köpürtücü olarak ise çam yağı (200 gr/ton), dawfroth-250, flotigal CS kullanılmıştır. % 22,81 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren tinkal % 30,85 B₂O₃ konsantre tenörü ve %56,78 verim ile kazanılmıştır [19].

Özkan ve Acar, (2003), yaptıkları flotasyon çalışmalarında kolemanitin tane boyutunu -210 +20 mikron olarak belirlemişler, %25 katı oranında, doğal pH, oda sıcaklığında ve 1200 dev/dk' da yaptıkları bu deneylerde denver flotasyon hücresi kullanmışlardır. Toplayıcı olarak CA-927 (1500gr/ton) ve R-825 (2000gr/ton) ve köpürtücü olarak Aerofrother-70 (100 gr/ton) kullanmışlardır. Flotasyon sonunda çıkan konsantrelerin tenörünü % 40-44 B₂O₃ olarak hesaplanmışlardır [41].

Alp ve Özkan'ın, 2003, Emet kolemaniti üzerine yaptıkları çalışmada tane boyutu -106 +20 mikron olarak belirlenmiş olup %20 katı oranı uygun görülmüştür. 5 dk kıvamlandırılıp, 10 dk flotasyon yapılmıştır. 20±5 °C sıcaklıkta, 1000 dev/dk pervane hızında yapılmış olan bu deneyde toplayıcı olarak AP825 (1500 gr/ton), OMC520, OMC111, CA927 ve köpürtücü olarak ise Aerofrother -70 (100 gr/ton) kullanılmıştır. %15-25 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona beslenen kolemanit %48 B₂O₃ konsantre tenörü ve %75 verim ile elde edilmiştir [42].

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

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

SSCB'de yapılan bir çalışmada mineral olarak hidroborasit kullanılmış olup şlam atılmıştır. Toplayıcı olarak oleik asit (100 gr/ton), bastırıcı olarak nişasta, Na₂SiO₃ (500 gr/ton) ve köpürtücü olarak gazyağı (400 gr/ton) ve çam yağı (50 gr/ton) kullanılmıştır. % 18- 34 B₂O₃ tenörü ile beslenen hidroborasitten % 81 – 92 verim sağlanmıştır [43].

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

4.6.1. Elektriksel çift tabaka ve zeta potansiyeli

Mineraller su içerisine atıldığında çeşitli yollarla yüzeylerinde yükler oluşur. Bu sayede taneler birbirlerini iter yada çekerler. Mesela negatif yüklü bir tane sıvı içerisinde pozitif iyonları kendine çeker. Sıvı içerisinde normalde katyon ve anyonlar bir denge halindedir. Tane yüzeyinde katyonlar en yoğun şekilde yer alırlar. Tane yüzeyinden itibaren bir molekül kalınlığındaki tabakaya “**stern tabakası**” adı verilir. Bu noktadan başlayıp anyon ve katyonları dengede olduğu noktaya kadar olan tabakaya “**yaygın tabaka**” adı verilir. Her ikisin birden

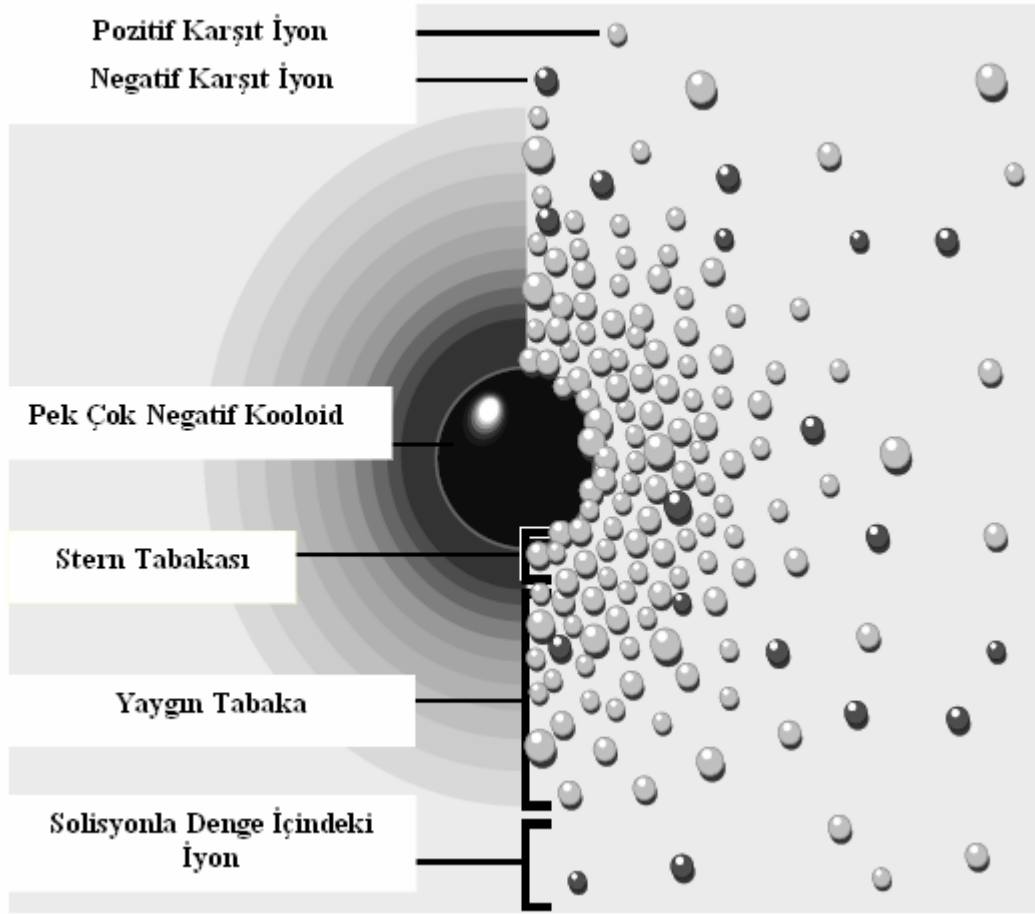
oluşturduğu sisteme ise “**elektriksel çift tabaka**” denir [16]. Şekil 4.1’de yüklü bir tane ve bunu çevreleyen çift tabaka görülmektedir.

Elektriksel çift tabaka teorisi, dengeleyici ve eş iyonların dağılımını inceler. Ayrıca yüklü yüzeylerin üzerinde oluşan elektriksel potansiyelin büyüklüğünü belirler. Bu koloidal sistemlerde flotasyon, flokülasyon, adsorpsiyon, stabilite, koagülasyon ve elektrokinetik özellikler gibi olayların anlaşılabilirliği için gerekli bir adımdır [44].

Elektro kinetik özellikler, elektriksel çift tabakanın çözelti kısmında; mineral tarafındaki sabit tabaka ile diğer hareketli dağılmış iyonlar tabakasını ayıran kayma yüzeyi üzerindeki potansiyel büyüklüğüne bağlıdır. Yüklü mineral tanecikler ile etrafındaki sulu çözeltinin birbirine göre hareketlerinde, çözelti tane arasındaki kayma yüzeyindeki ölçülebilen potansiyele “**elektro kinetik potansiyel**” veya “**zeta potansiyel**” denir [33].

Zeta potansiyeli aşağıdaki yöntemlerden birisi ile kontrol altında tutulabilir.

- Farklı iyonların konsantrasyonları ve değerliklerinin etkisi, zeta potansiyel, elektrolit konsantrasyonu (elektriksel çift tabaka kalınlığının azalmasından) ve eklenen katyonların değerliliği artıkça düşer.
- Potansiyel belirleyen iyonlar; zeta potansiyel doğrudan doğruya yüzey elektrik yüküne ve buda potansiyel belirleyen iyonların miktarına bağlı olduğundan, bu iyonların ilavesiyle zeta potansiyelin hem işareti hem de yükü kolaylıkla değiştirebilir.
- Aynı değerlikli iyonların atomik çapı, aynı değerliliğe sahip iyonlarda atomik yarıçap arttıkça zeta potansiyeli düşer.
- Hidrojen iyonu, yüksek değerlikli iyonlar ve kompleks organik katyonlar; bu iyonlar kuvvetli olarak zeta potansiyeli azaltır ve hatta çok düşük konsantrasyonlarda bile işaretini değiştirir.
- Yüzey aktif maddeler, bunların zeta potansiyele etkisi çok spesifiktir [33].



Şekil 4.2. Elektriksel Çift Tabaka'nın iç kısımları [45]

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

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

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

- Zeta potansiyeli düşük ise buna bağlı olarak tanenin yüzey gerilimi düşüktür.

- Flokülasyon (düşük zeta potansiyeli) ve dispersiyon (yüksek zeta potansiyeli) olaylarının açıklanmasında yardımcı olur.

- Oksit minerallerinin Flotasyonunda önemlidir [33].

4.6.1.1. Elektro kinetik olay ve zeta potansiyelin ölçülmesi

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

1. Elektroforez: Eğer sistemde yüklü parçacıklar sıvı içerisinde asılı halde duruyorlarsa ve sisteme bir elektrik alanı uygulanırsa, hareketsiz sıvı içerisindeki yüklü parçacığın hızının ölçülmesi, parçacığın net elektrik yükü veya yüzey potansiyeli hakkında bilgi edinilmesini sağlar.

2. Elektroosmoz: Uygulanan elektrik alana göre sıvının, yüklü ve hareketsiz kapileri veya poroz tıkaç formundaki katıdan geçerek hareket etmesine “**elektroosmoz**” denir. Sıvı hareket hızının ölçülmesi ile sabit duran yüklü duvarın net elektrik yükü veya elektrik potansiyeli hakkında bilgi elde edilir.

3. Akma Potansiyeli: Akış potansiyeli elektrolitin bir kapileri veya poroz tıkaç içerisinde geçişe zorlanmasıyla oluşur. Kapileri veya tıkaç net bir yük taşır ve akışla birlikte potansiyel farkı oluşur. Bu potansiyel yükün (şarjın) ters iletkenlik, iyon difüzyonu ve daha az olarak elektroosmosis tarafından mekanik taşınmaya karşı çıkar. Bir galvanometre aracılığı ile kapileri veya poroz tıkaçın uçları arasındaki potansiyel farkı ölçerek yüzeydeki elektrik yükü ve potansiyel hakkında bilgi edinilir. Bu elektroosmozun tersidir.

4. Çökme Potansiyeli: Yüklü parçacıkların gravite veya santrifüj etkisi altında hareketsiz sıvı içerisinde çökmesi ile oluşan potansiyel farkına “**çökme potansiyeli**” denir. Bu elektroforezin tersidir [44].

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

Potansiyeli belirleyen iyonların, konsantrasyonuna bağlı olarak, mineralin yüzey yükünü mutlak değer ve işaretçe değiştirebildikleri bilinmektedir. İşte bu değişim sırasında potansiyel belirleyen iyonların belirli bir kritik konsantrasyonunda veya aktivitesinde mineral yüzey yükü sıfır olur ve buna “**Sıfır yük noktası**” (z.p.c) denir. H^+ ve OH^- iyonları potansiyel belirleyen iyonlar olduğundan zpc, pH değerine göre belirlenir [10].

Elektroforetik hareketliliğin (zeta potansiyelin) sıfır olduğu pH “**Eş Yük Noktası**” (**IEP**) olarak adlandırılır. Bu noktada zpc’de olduğu gibi mineral yüzeyi elektriksel olarak yüksüz yani sıfır değildir. Ancak, mineral yüzeyindeki pozitif ve negatif iyonların eşit konsantrasyonları ifade edilmektedir. Bu durumda mineral yüzeyindeki net elektrik yükü, nötrdür [10].

ZPC ve IEP birbirlerine benzeyen kavramlardır, bazı durumlarda aynı şeyi ifade ederler. Örneğin H^+ ve OH^- iyonlarının potansiyel belirleyen iyonlar olması halinde IEP hem yüzeyin sıfır yüklü olduğu pH değerini, hem de yüzeydeki pozitif ve negatif iyonların dengede olduğu pH değerini simgelemekte kullanılır. Eğer sistemde spesifik iyon adsorpsiyonu söz konusu değilse, ZPC ve IEP birbirine eşittir [10].

Koca ve Savaş, (2003), kolemanit ve realgarı üzerinde elektrokinetik çalışmalar yapmışlardır. R825, R840, Sodyum oleat, KAX, KEX kullanılarak 10 dk karıştırma süresince yaptıkları bu çalışmada sıfır yük noktası tespit edilememiştir [46].

Çelik, Elma ve Müdüroğlu, Bigadiç bölgesi kolemanitleri ile ultrasonik ortamın şlam kaplı kolemanit flotasyonuna etkisini incelemişlerdir. -38 mikron temiz kolemanit ile zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Sıfır yük noktasını $pH=10,5$ ’da ölçtükleri görülmektedir [35].

Çelik, Hançer ve Miller, (2002) Bor minerallerinin flotasyon kimyasını incelemişlerdir. Saf kolemanit – üleksit – boraks kullanmışlar ve kolemanitin sıfır yük noktasını $pH=10,5$ ’da saptamışlardır [47].

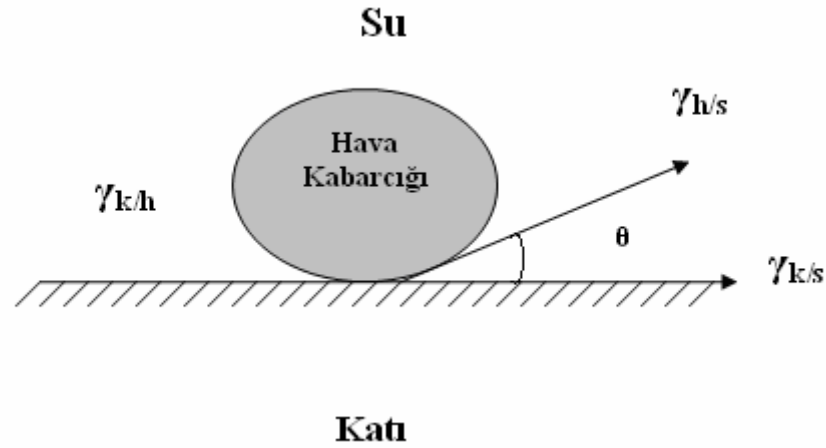
4.6.1.3. Katı – Gaz arayüzeyi arasındaki etkileşim

Flotasyonun temel olayı, hava kabarcığı ile hidrofob mineral tanesinin sulu ortamda temasıdır. Bu temas mineral tanesi yüzeyindeki su tabakasının yüzeyden uzaklaşması ile mümkün olur ve kabarcık taneye yapışır. Bu olayı sağlayabilmek için kimyasal reaktifler

kullanılır. Tanenin kabarcığa yapışması esnasında üç faz temas halinde olur ve üç arayüzey ortaya çıkar. Bunlar;

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

Bu üç fazın teması basit olarak şekil 4.2’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi üç fazın dengede olabilmesi fazlar arasındaki arayüzey gerilimine (enerji, γ) bağlıdır [33].



Şekil 4.3. Temas açısı ve fazlar arası denge

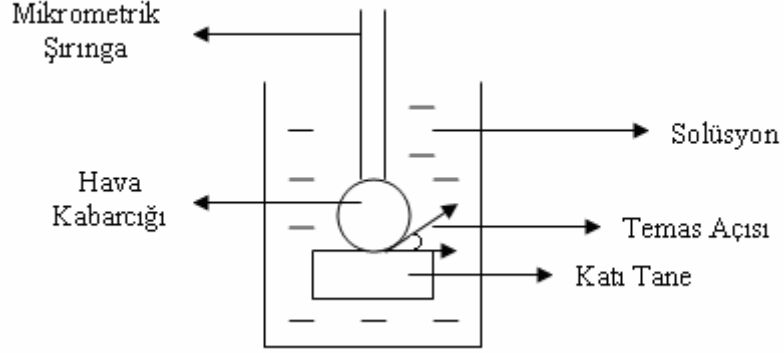
Fazlar arası denge:

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

θ : Temas açısı, katı ile sıvı – hava arayüzeyi arasındaki açıdır [33].

Temas açısının ölçülmesi: Temas açısının ölçülmesinde birçok yöntem kullanılır. Fakat en çok kullanılan yöntem laboratuarda yapılan projeksiyon ve fotografik yöntemidir. Katı tanenin yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde hazırlanır veya düz yüzeyselidir. Önceden pH’sı ve ortam koşulları belirlenmiş solüsyon (su + reaktif) hazırlanır. Bu solüsyon beher içine konur. Daha sonra katı tane solüsyon içine konur ve koşullandırma zamanına uygun olarak karıştırılır. Tanenin düz yüzeyi üstte olacak şekilde tane yerleştirilir. Tane üzerine bir şırınga yardımıyla

hava kabarcığının yapıştırılması sağlanır (hava kabarcığı sabit kalacak şekilde). Mikroskop yardımıyla açı ölçülmeye çalışılır (şekil 4.3.) [33].



Şekil 4.4. Temas açısı ölçümü [33]

Koca ve Savaş, (2003), tarafından yapılan çalışmada kolemanitin temas açısı ölçümlerini (pH' ı 6-11, sıcaklık 20 – 22 °C arasında değişmektedir) KEX, KAX, R825, R840, Na-Oleat, Armac-T toplayıcıları ve Na₂SiO₃ bastırıcısı ile yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; KAX, KEX, Na-Oleat, R825, R840, Armac-T için uygun temas 47° olduğunu tespit edilmiştir [42] .

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI

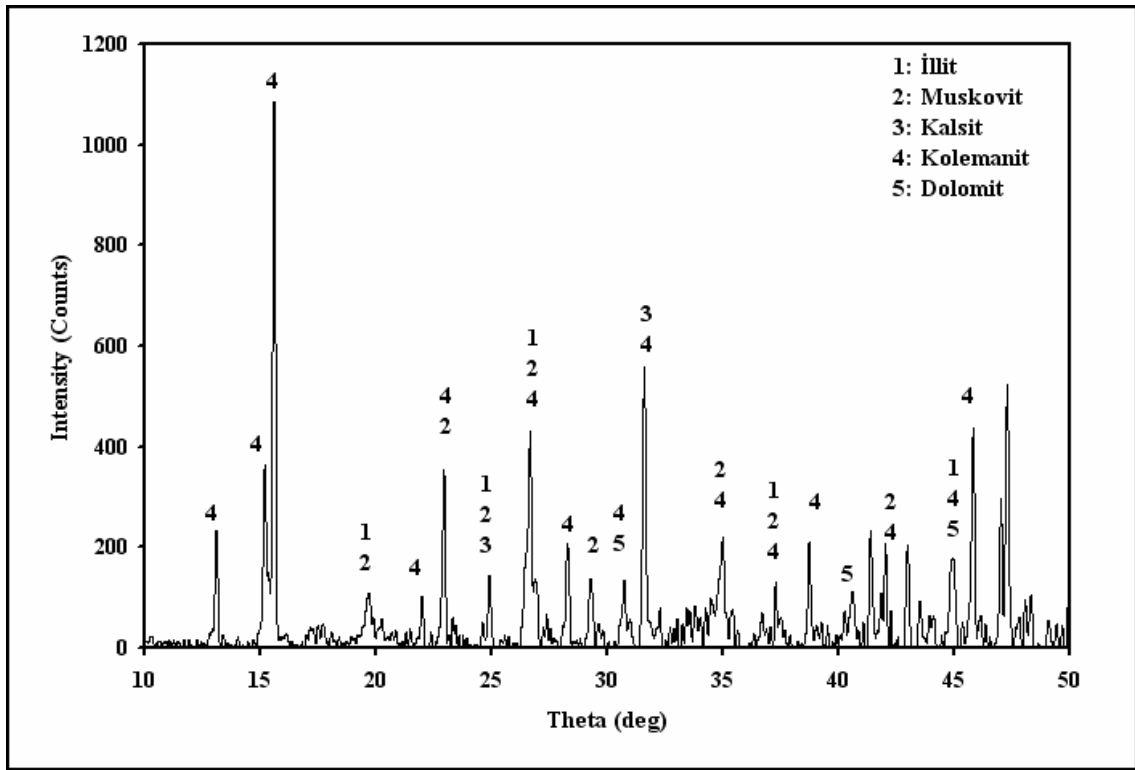
5.1. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde Kütahya-Emet bölgesinde faaliyet gösteren Emet Etibor Genel Müdürlüğü Espey Konsantratör tesisi (Şekil 2.2) 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, minerolojik analiz (XRD) ve zenginleştirme deneyleri için temsili ayrılmış ve torbalanmıştır.

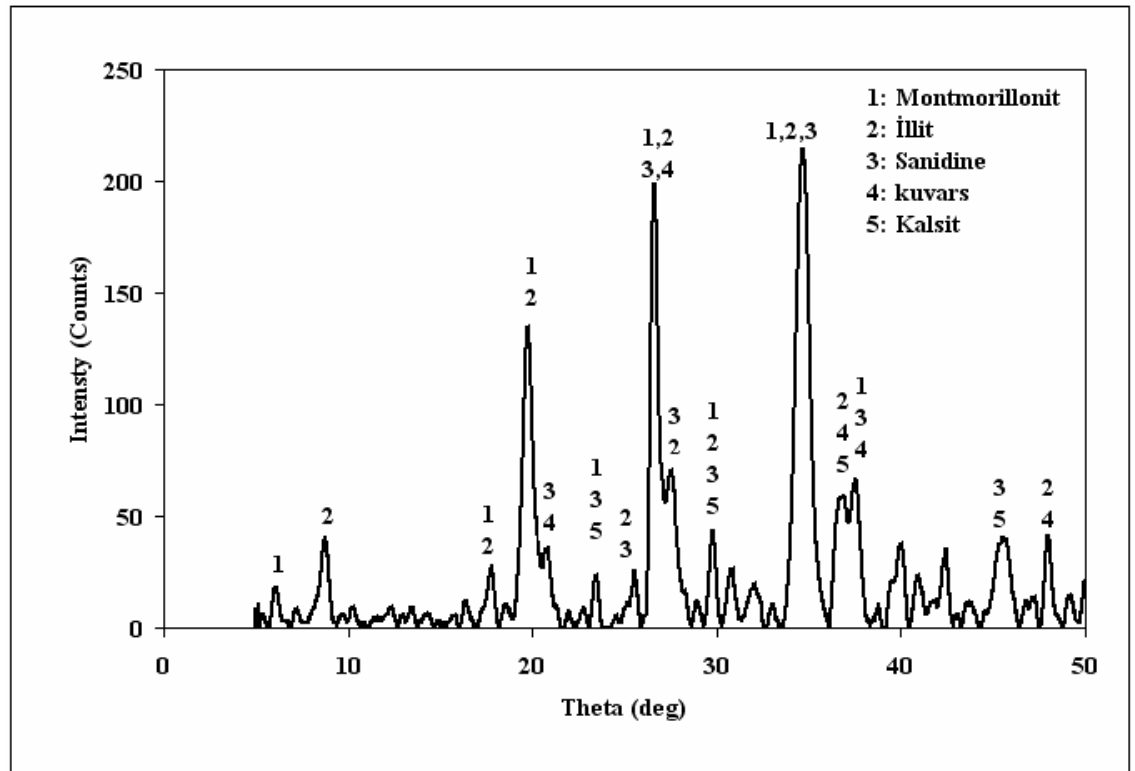
Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi Emet Etibor Genel Müdürlüğünde ARL Brand 8680⁺ model X-Ray cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir. Numunenin ve ayrıca ocaktan alınan temiz kil numunesinin minerolojik analizi Rigaku Miniflex Brand marka XRD cihazı ile Cu α ($\lambda=1,54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

Çizelge 5.1. Numunenin kimyasal analizi

İÇERİK	MİKTAR%	İÇERİK	MİKTAR %
B₂O₃	26,3	TiO₂	0,33
CO₂	11,3	Cr₂O₃	0,0146
F	0,842	MnO	0,0985
Na₂O	0,191	Fe₂O₃	2,85
MgO	6,29	NiO	0,0102
Al₂O₃	8,3	ZnO	0,0099
SiO₂	25,7	As₂O₃	0,448
P₂O₅	0,128	Rb₂O	0,0472
SO₃	0,953	SrO	0,612
Cl	0,0196	Cs₂O	0,113
K₂O	2,38	BaO	0,0635
CaO	13	PbO	0,0052



Şekil 5.1. Atık Barajı Numunesinin XRD sonuçları



Şekil 5.2. Atık Barajı Numunesindeki kilin XRD sonuçları

Çizelge 5.2. Emet Espey atık barajından alınan numunenin tane boyutuna bağlı tenörü

Elek Boyutu (Mikron)	Miktar (%)	K.E.A. (%)	B₂O₃ (%)
-3000+1000	2,86	100	40,64
-1000+500	11,58	97,14	40,96
-500+425	4,78	89,56	41,97
-425+250	17,57	80,78	39,27
-250+212	4,49	63,21	42,39
-212+180	8	58,72	40,83
-180+150	5,2	50,72	37,88
-150+125	3,11	45,52	35,07
-125+106	2,71	42,41	28,13
-106+75	3,36	39,7	31,28
-75+53	2,96	36,34	36,35
-53+38	0,8	33,38	31,5
-38	32,58	32,58	9,3
Toplam	100	0	26,3

Bu deneylerdeki amaç, Emet Etibor Genel Müdürlüğü Espey Konsantratör tesisi ince atık havuzundan alınan düşük tenörlü kolemanit cevherinin kimyasal bileşimi ve tane boyutuna göre tenör dağılımını incelemek; bu sonuçlara göre ince atık havuzu numunesinden kolemanitin hangi yöntemlerle kazanılabileceğini araştırmaktır.

Kolemanit ve kil minerallerinin elektrokinetik ve flotasyon özelliklerini belirlemek için ayrıca Emet kolemanit yatağından bu minerallerin oldukça temiz olanları seçilerek alınmıştır. Daha sonra bu mineraller mikroskop altında iyice temizlenerek agat havanda ufalanmış eleklerle elde edilen -150+38 mikron boyut grubu mikroflotasyon deneylerinde, -38 mikron boyut grubu da elektrokinetik çalışmalarda kullanılmak üzere dış şartlardan etkilenmemeleri için plastik torbalarda saklanmıştır.

Temiz kolemanit ve kil minerallerinin zeta potansiyel ölçümleri mikro işlem donanımlı foresis tekniği ile çalışan Zeta Meter+3.0 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz otomatik olarak voltaj ve tane hızını dikkate alarak zeta potansiyel değerini hesaplayabilmektedir. Ölçümlerde kolemanit için 0,5 gram, kil için 0,1 gram numune 50 ml distile su ile 10 dk karıştırılmış ve iri tanelerin çökmesi için 5 dk beklenmiştir. Alınan bu numuneler ile yaklaşık 10 ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması cihaz tarafından alınarak ortalama zeta potansiyel cihazından

okunmuştur. Tüm deneyler oda sıcaklığında ($20\pm 1^{\circ}\text{C}$) yapılmıştır. pH ayarlamalarında analitik kalite NaOH ve HCl kullanılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanılan sodyum dodecyl sülfat (SDS), oleik asit, AlCl_3 , KCl, CaCl_2 , BaCl_2 ve CaO analitik kalitededir. Bütün ölçümlerde distile su kullanılmıştır.

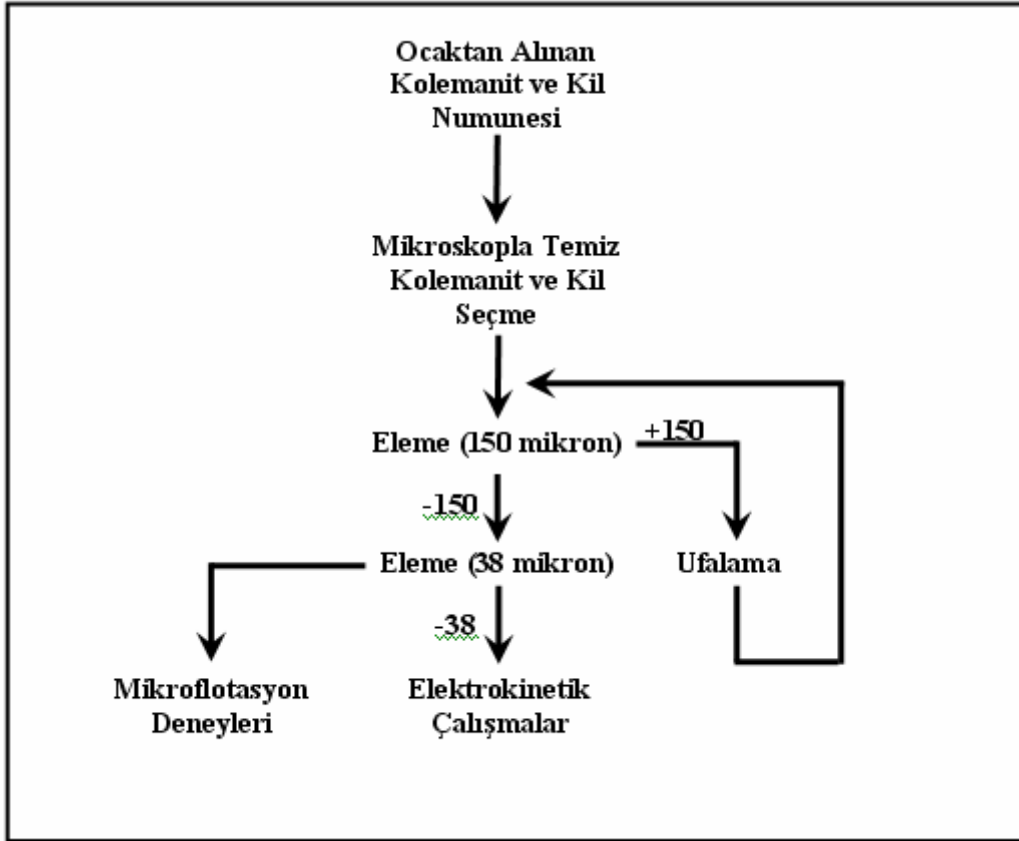
Mikroflotasyon deneyleri karıştırma süresini ve havayı otomatik olarak ayarlayan düzeneğe sahip, cam malzemenen özel olarak yapılmış 150 ml hacimli kolon hücre de yapılmıştır. Testlerde 1 gram kolemanit 150 ml reaktif içeren çözelti ile 5 dakika kıvamlandırılmış ve 1 dakika süre ile flotasyona tabi tutulmuştur. Mikroflotasyon deneylerinde reaktif olarak Şişe Cam'dan alınan R801 ve R825 analitik kalite sodyum oleat, sodyum dodecyl sülfat anyonik kolektörleri kullanılmıştır. Mikroflotasyon deneyleri distile su ile gerçekleştirilmiştir.

Tesis atıklarının mekanik dağıtma ile zenginleştirme deneylerinde Denver flotasyon hücresi kullanılmıştır. Mekanik dağıtma deneyleri sırasında denver flotasyon hücresine sağa, sola ve arkaya olmak üzere üç adet dalga kıran takılmıştır. Tüm deneyler 2 litrelik selülde gerçekleştirilmiştir. Bütün deneylerde doymuş kolemanit çözeltisi kullanılmıştır. Mekanik dağıtma ile kolemanit atığını zenginleştirme deneylerinde kili dağıtmak amacı ile analitik kalite sodyum sitrat ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sodyum hegzametafosfat ($\text{Na}(\text{PO}_3)_6$), sodyum silikat (Na_2SiO_3), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_8\text{Na}_2$) gibi kil dağıtıcılar ile deneyler yapılmıştır.

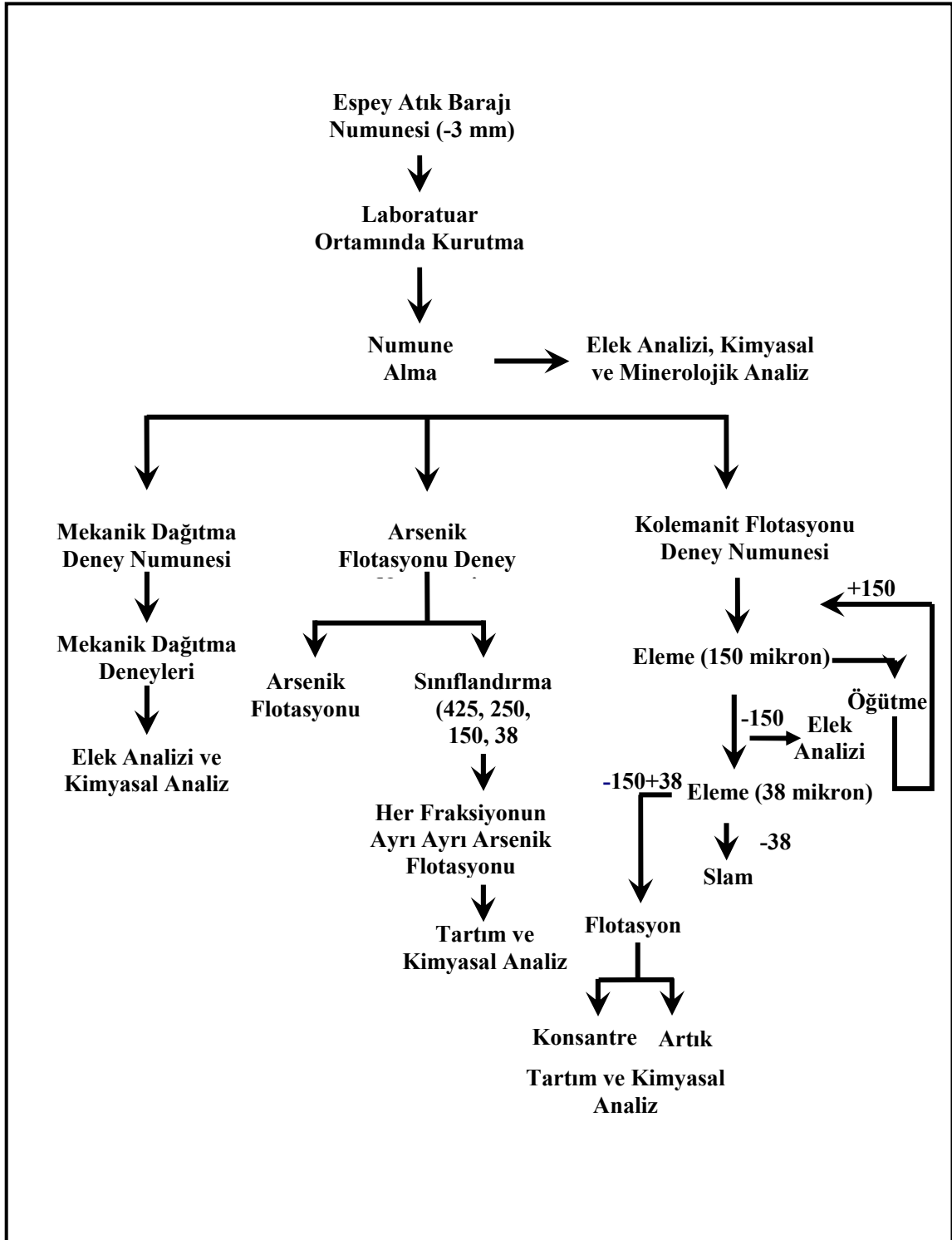
Kolemanit mineralini flotasyon tekniği ile kazanabilmek için flotasyon deneyleri 1 lt'lik denver flotasyon hücresi kullanılarak yapılmıştır. Numunenin kimyasal analizinde ve mikroskobik incelemelerde arsenik mineralleri tespit edildiğinden ve bu minerallerin kolemanit içerisinde olması istenmediğinden, flotasyonun iki aşamada yapılmasına karar verilmiş, ilk aşama da arsenik flotasyonu ikinci aşamada kolemanit flotasyonu yapılmıştır. Arsenik flotasyonu ilk önce -3 mm boyut grubuna yapılmış, sonrada numune boyut gruplarına ayrılarak her boyut grubunda yapılmıştır. En iyi sonuç -150+38 mikron boyut grubunda alındığı için kolemanit flotasyonu da bu boyut grubunda yapılmıştır. Bütün deneylerde doymuş bor çözeltisi kullanılmıştır. Arseniği yüzdürmek için toplayıcı olarak analitik kalite gaz yağı (kerosen), köpürtücü olarak çam yağı kullanılmıştır. Bastırıcı olarak Güneş marka mısır nişastası, analitik kalite tannik asit, sodyum silikat, sodyum hegzametafosfat kullanılmıştır.

Çalışmalardaki bütün B_2O_3 analizlerinde kimyasal yaş analiz yöntemi yani titrimetrik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar Şekil 5.3 ve 5.4'de özetlenmiştir.



Şekil 5.3. Ocaktan alınan temiz kolemanit ve kil ile yapılan çalışmaların akım şeması



Şekil 5.4. Espey artık barajından alınan numune ile yapılan çalışmaların akım şeması

5.2. Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyu Analizleri

Emet-Espey artık barajından alınan numunenin kimyasal analiz deneylerine bakıldığında (Çizelge 5.1) barajda %26,3 oranında B_2O_3 olduğu görülür. Bu tenör başka ülkeler için tesis giriş tenörüdür. Ayrıca konsantride istenmeyen As_2O_3 oranı da %0,448'dir.

Artık barajı numunesi (Şekil 5.1) ve kil numunesi (Şekil 5.2) ile yapılan XRD sonuçlarına göre, artık barajı numunesinde daha çok kolemanit, montmorillonit, illit, kuvars bulunmakta daha az olarak da kalsit, dolomit ve sanidin bulunmaktadır. Bu mineraller kimyasal analizle uyumludur. 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 Tablo 5.2'den görülmektedir. -38 μm 'nin üzerinde zenginleştirme olması, kolemanit ve kil ayrışmasının barajda devam ettiğini göstermektedir.

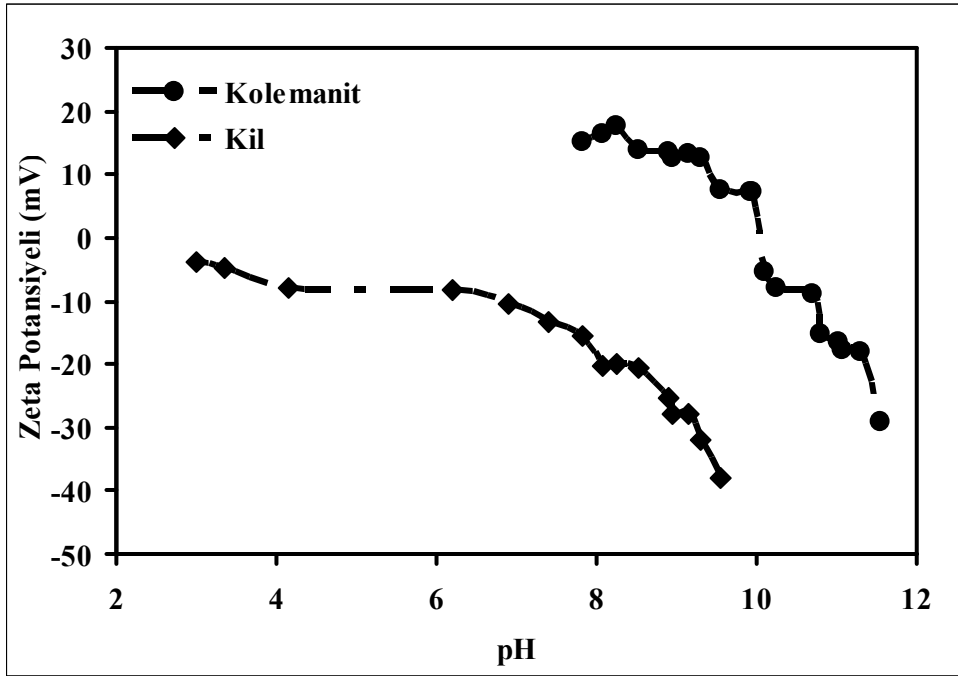
5.3. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Minerallerin yüzey yükü, dağıtma (dispersiyon) ve flotasyonda önemlidir [33]. Bu nedenle kolemanit ve kilin zeta potansiyelleri pH, elektrolitler ve flotasyon reaktiflerine göre ölçülmüştür.

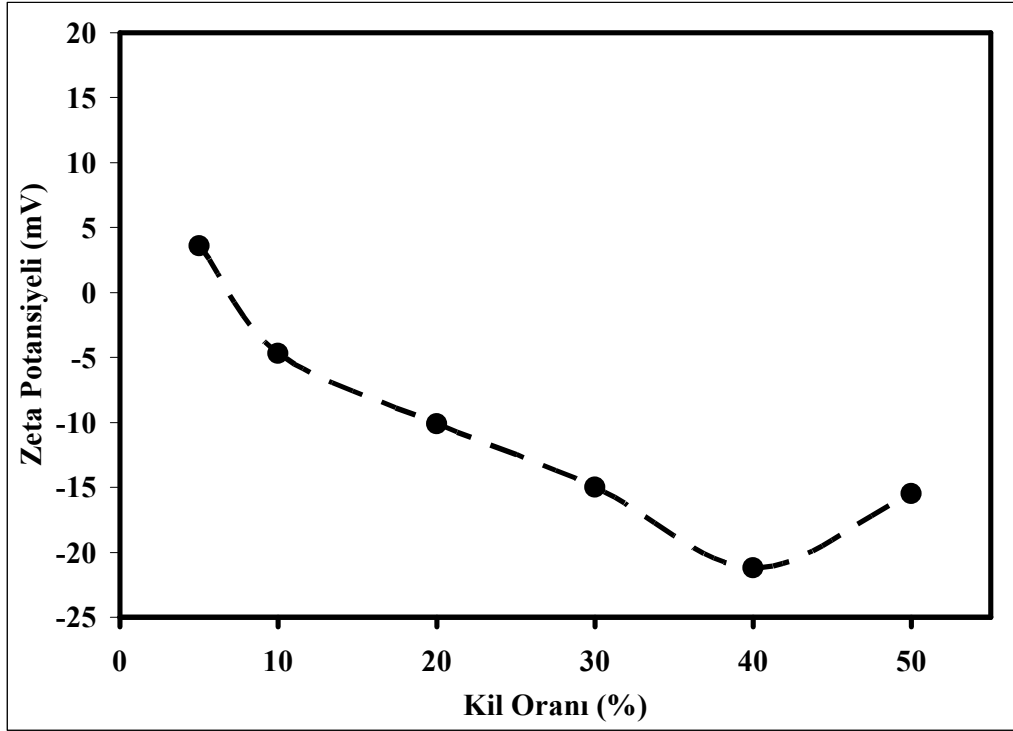
Kolemanit ve kilin pH'a göre zeta potansiyeli Şekil 5.5'de verilmiştir. Buna göre kolemanit yaklaşık pH 10,2 de sıfır yük noktasına sahipken kil ölçüm yapılan bütün pH'larda negatif yüzey yükü göstermiştir. Kolemanitin sahip olduğu sıfır yük noktası Çelik ve Yaşar (1995) tarafından yapılan ölçümlerle uyurken (pH= 10,5) [10, 47]. Koca ve savaşı (1998) tarafından yapılan ölçümlerle (sıfır yük noktası yok) [45] uyuşmamaktadır. Kolemanit çözünürlüğü az (1 gr/lt) [48], (0,8093 gr/lt) [16] ve kristal yapısında Ca^{++} içeren hidrate bir bor mineralidir. Su içerisinde yüzey yükü, onu oluşturan latis iyonları ve pH'ının bir fonksiyonudur.

Kolemanite değişik oranlarda kil eklenmesiyle elde edilen numunenin zeta potansiyelinin ölçülmesi sonucunda kil miktarının kolemanitin zeta potansiyelini arttırdığı Şekil 5.6'dan görülmektedir. Bu da doğal pH'da negatif olan kil minerallerinin pozitif yüklü olan kolemanit minerallerinin yüzeyini kapladığını göstermektedir.

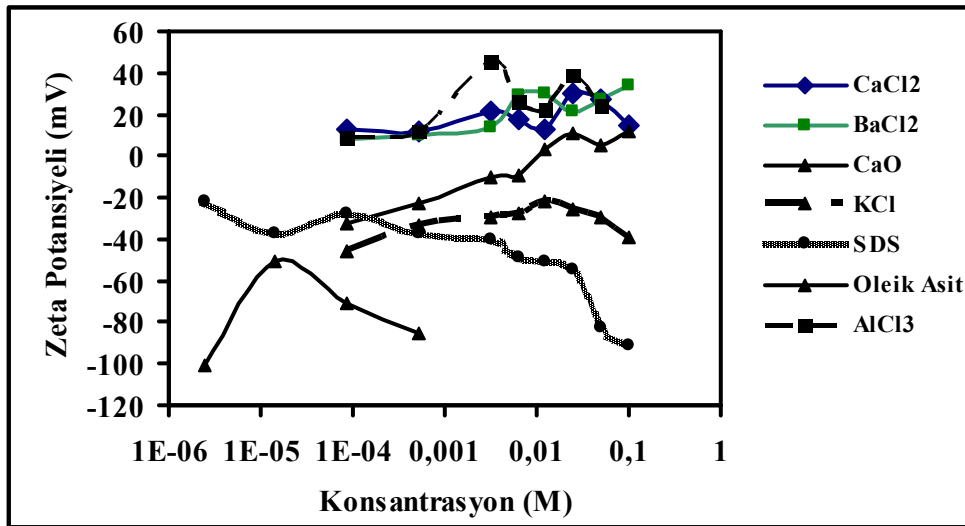
Farklı değerlikteki iyonların ve değişik flotasyon reaktiflerinin konsantrasyonlarına bağlı olarak kolemanit ve kilin zeta potansiyeline olan etkileri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de görölmektedir. Ca^{++} , Ba^{++} ve Al^{++} gibi çok değerlikli iyonlar kolemanitin zeta potansiyelini pozitif yönde artırırken, SDS ve oleik asit negatif yönde artırmaktadır. Fakat K^{+} iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak ilk önce negatif yönde azaltmış sonrada artırmıştır. CaO aynı zamanda pH’ı da değiştirdiği için yüzey yükünde işaret değişimine neden olmuştur. Çok değerlikli iyonlar kilin zeta potansiyelini pozitifte doğru oldukça değiştirmiştir. Sadece oleik asit negatif yönde artışa neden olmuştur.



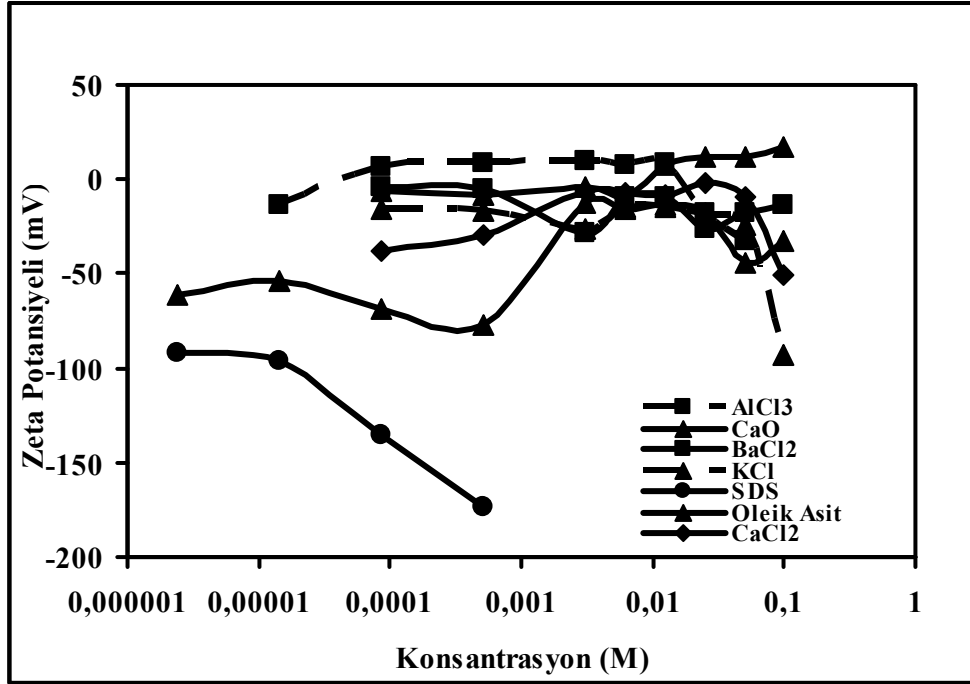
Şekil 5.5. Kolemanit ve kilin değişik pH’larda zeta potansiyeli .



Şekil 5.6. Kilin değişik oranlarda kolemanite eklenmesi ile ortam pH'larında zeta potansiyeli



Şekil 5.7. Çeşitli iyonların konsantrasyonlarının ortam pH'larında kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



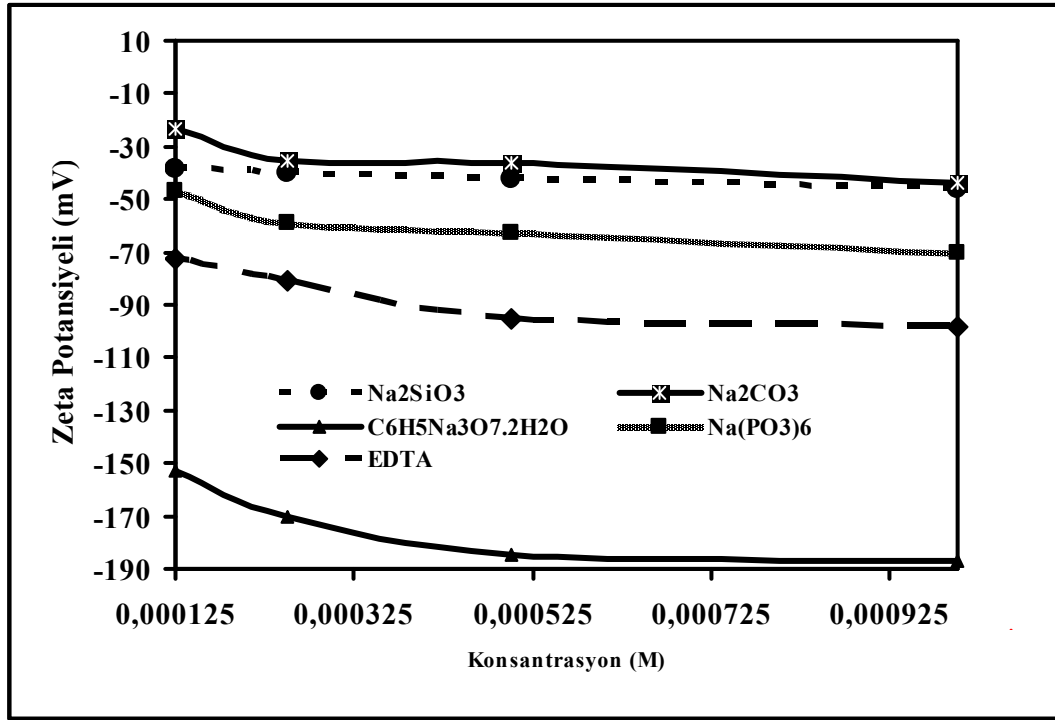
Şekil 5.8. Çeşitli iyonların konsantrasyonlarının kilin zeta potansiyeline etkisi

Çeşitli dağıtıcı reaktiflerin kolemanit ve kilin elektrokinetik özelliklerine olan etkilerini belirleyebilmek için deneyler yapılmıştır. Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , EDTA'nın kolemanit ve kil yüzeyinde benzer etkiyi gösterdiği Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da görülmektedir. EDTA yüzeyleri aynı oranda daha fazla negatif yapmıştır. $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ (sodyum hegzametafosfat) kolemanit yüzeyini daha az negatif yaparken kil yüzeyinde zeta potansiyelde mutlak değer olarak oldukça fazla artışa neden olmuştur. Sodyum sitrat ise $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ 'nın tam tersi etki oluşturmuştur. Böylece killerin dağıtılmasında en etkili reaktifin $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ olduğu daha sonrada sodyum sitrat ve EDTA'nın geldiği görülmektedir.

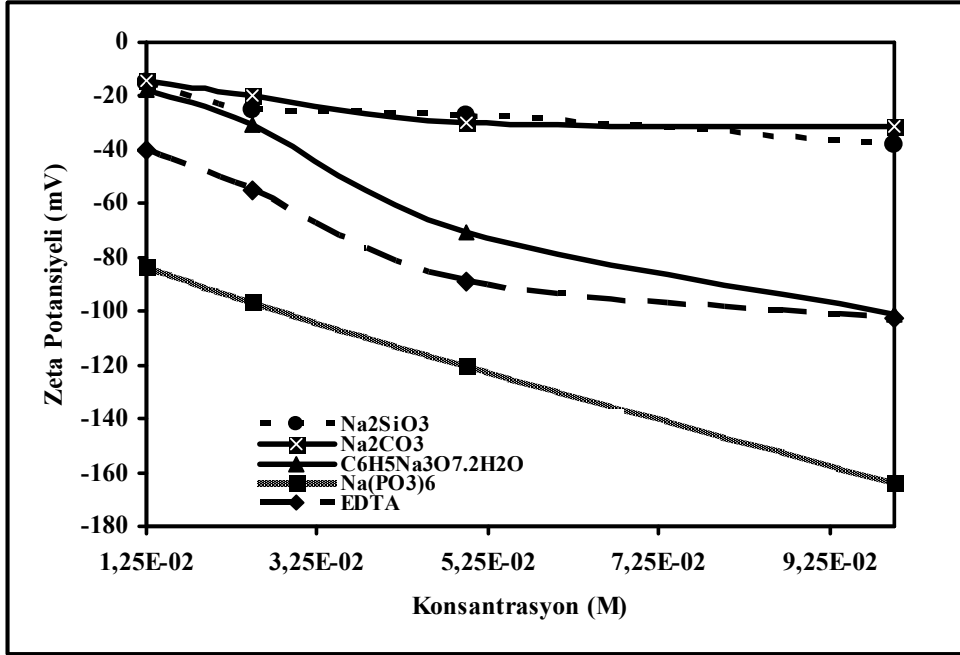
Değişik oranlarda kil içeren kolemanit yüzeyine farklı dağıtıcıların etkisini belirleyebilmek için yapılan deney sonuçları Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi hemen hemen bütün numunelerde zeta potansiyel dağıtıcı konsantrasyonuna bağlı olarak negatif yönde artmaktadır. Fakat bu artış $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$, sodyum sitrat ve EDTA da daha fazla olmuştur. Ayrıca EDTA'da pH'da düşme olduğu için çözünme olmaktadır.

Farklı dağıtıcılar, kolemanit yüzeyinde kil oranındaki değişmeye bağlı olarak oldukça değişik zeta potansiyeller ortaya çıkarmıştır. Sodyum sitrat (Şekil 5.11), Na_2SiO_3 (Şekil 5.12) ve EDTA'da (Şekil 5.15) zeta potansiyel negatif yönde kil oranındaki azalmaya bağlı olarak

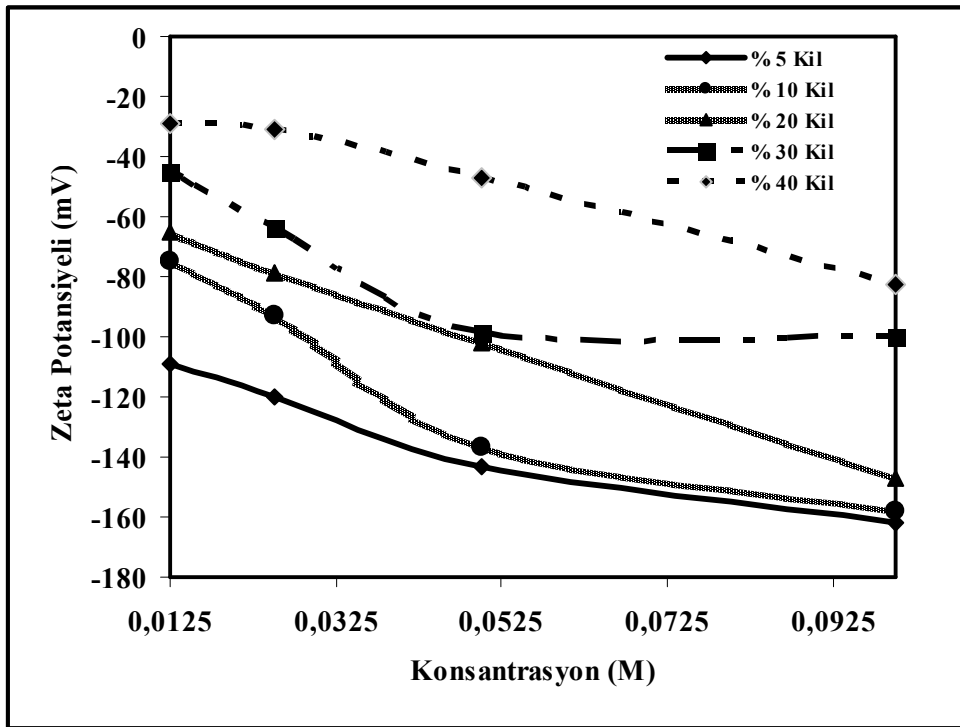
artmaktadır. Bu artış sodyum sitrat ve EDTA'da daha fazladır. Fakat $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ (Şekil 5.14) ve Na_2CO_3 (Şekil 5.13) dağıtıcılarında diğer dağıtıcıların etkisinden tamamen ters bir durum görülmektedir. Yani zeta potansiyel negatif yönde kil artış oranına bağlı olarak artmaktadır. $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ 'ın yüzeyin zeta potansiyelini yüksek kil oranlarında oldukça artırmaktadır. Bu durum Şekil 6.5 ve Şekil 6.10'dan da açıkça görülmektedir.



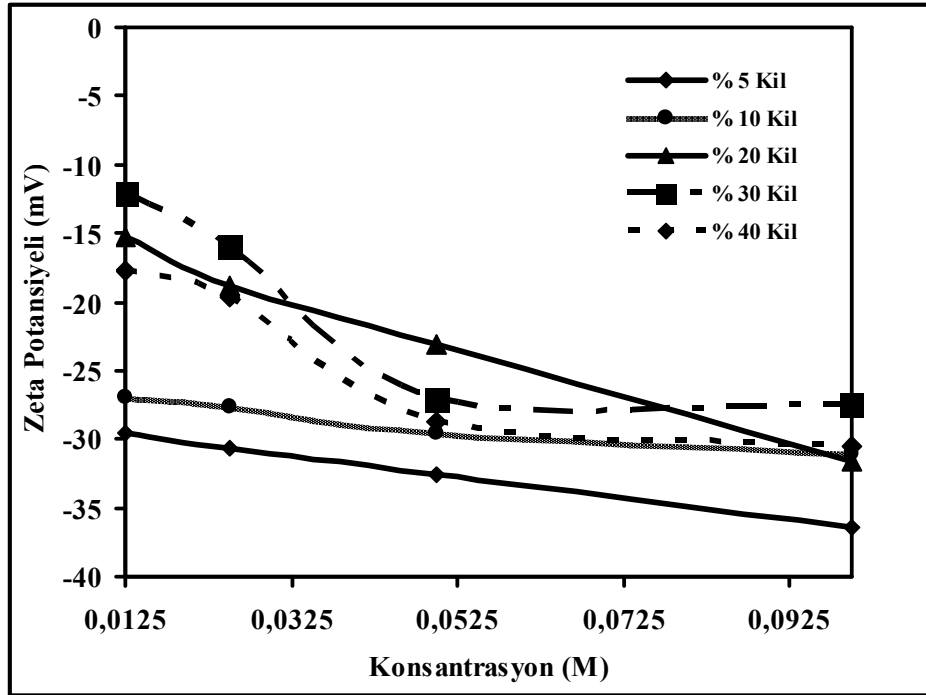
Şekil 5.9. Çeşitli dağıtıcıların konsantrasyonlarının ortam pH'sında kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



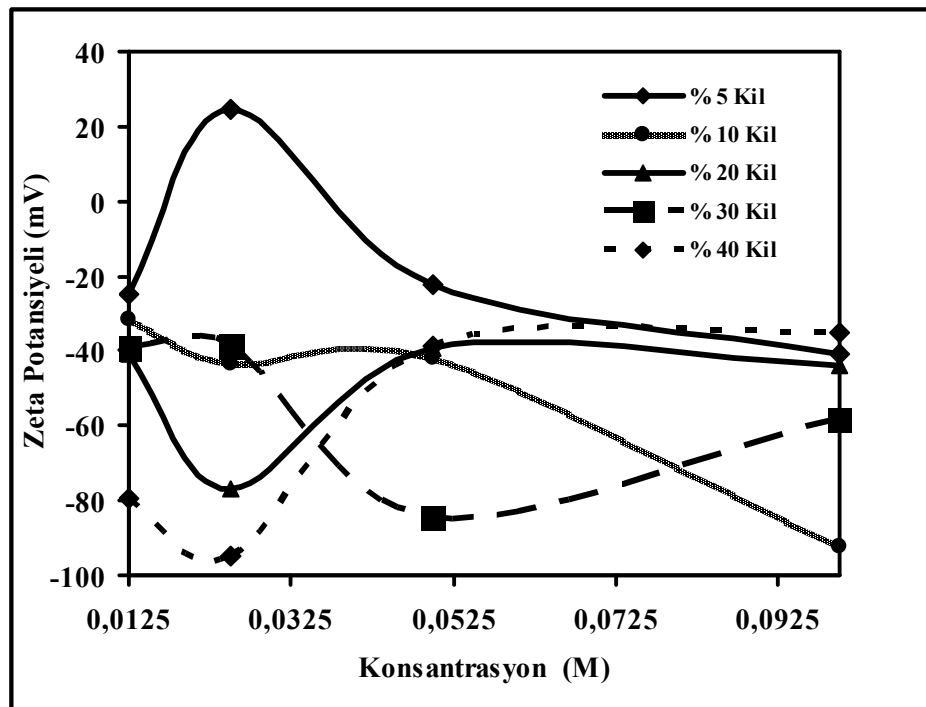
Şekil 5.10. Çeşitli dağıtıcıların konsantrasyonlarının ortam pH'sında kilin zeta potansiyeline etkisi



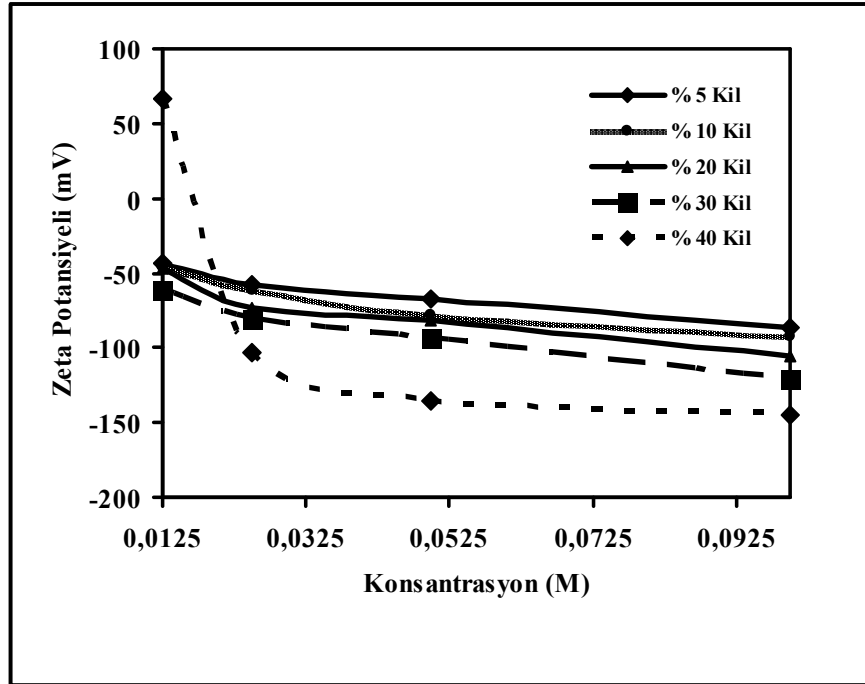
Şekil 5.11. Sodyum Sitrat'ın farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



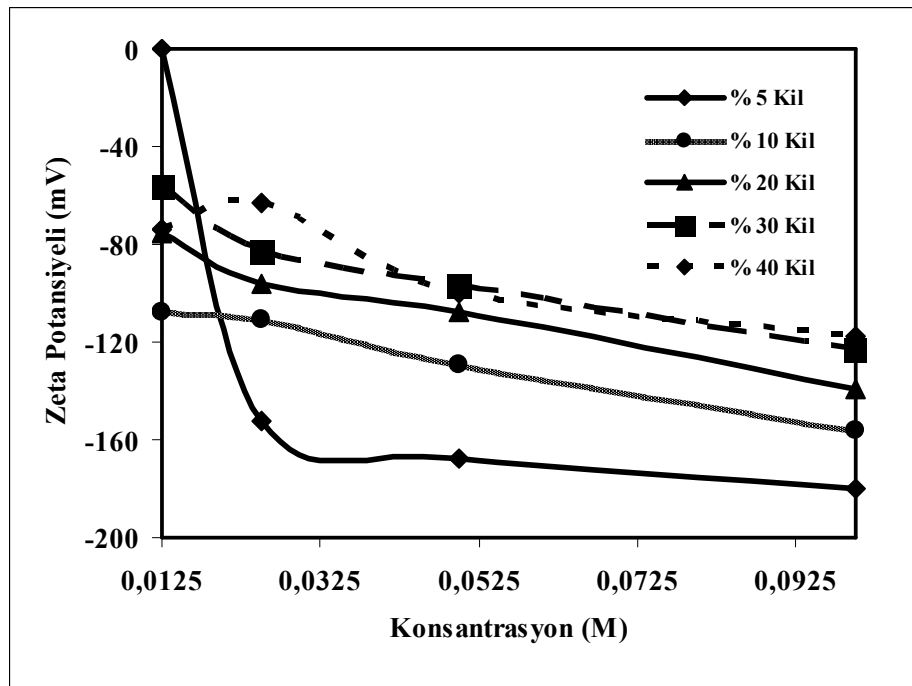
Şekil 5.12. Na_2SiO_3 'ün farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



Şekil 5.13. NaCO_3 'ün farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



Şekil 5.14. Na(PO₃)₆'nın farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



Şekil 5.15. EDTA'nın farklı konsantrasyonlarında kolemanite değişik oranlarda kil ilavesinin kolemanitin zeta potansiyeline etkisi

5.4. 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 [35, 49].

Bu çalışmalarda da 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;

- Katı oranı (%);40
- Karıştırma hızı (devir/dakika); 800, 1100, 1200, 1600, 1800, 2000
- Karıştırma zamanı (dakika); 4, 6, 8, 10, 12
- Dağıtıcı cinsi; sodyum silikat (Na_2SiO_3), sodyum karbonat (Na_2CO_3), sodyum sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_8\text{Na}_2$), sodyum hegzametafosfat ($\text{Na}(\text{PO}_3)_6$)
- Dağıtıcı miktarı (gr/ton); 200, 300, 400, 500, 600

Karıştırma ve dağıtma işlemleri sonucunda elde edilen pülp 425, 150, ve 38 μm 'lik eleklerden elenerek -425+250, -150+38 ve -38 μm boyut gruplarında ürünler elde edilmiştir.

5.4.1. Karıştırma hızının belirlenmesi

İlk önce referans numunesi elde edebilmek ve en uygun pervane hızını belirlemek için hiç dağıtıcı kullanmadan aşındırma deneyleri yapılmıştır. Kolemanitin kilden ayrılması için karıştırma hızına bağlı olarak yapılan aşındırma deney sonuçları Çizelge 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de verilmiştir. Genel olarak tane boyu inceldikçe B_2O_3 tenörü azalırken karıştırma hızı arttıkça tenör artmıştır. Kümülatif verimler beslemeye göre yapılmış olup karıştırma hızına bağlı olarak kümülatif verimlerde de artma olmuştur. Çünkü karıştırma hızı artışına bağlı olarak kolemanitte daha fazla parçalanma (ince boyut) meydana gelmekte, böylece 38 μm boyut altı tenörü artmaktadır. 38 μm elek üstü ve elek altı şeklinde baktığımızda tenör ve verim açısından en iyi sonuçların 1200 devir/dakika karıştırma hızında olduğu görülür. Bu hızda %37,82 B_2O_3 tenörlü konsantre %89,11 verimle elde edilmiştir. Ayrıca bu hız arsenik flotasyonu içinde uygundur.

Çizelge 5.3. 800 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (Mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	21,08	44,53	21,08	44,53	35,03	35,03
-425+150	29,02	33,84	50,1	38,34	36,65	71,68
-150+38	15,73	35,2	65,83	37,88	20,66	92,34
-38	34,17	6,03	100		7,66	
Toplam	100			26,79	100	

Çizelge 5.4. 1100 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	16,05	45,75	16,05	44,53	27,25	27,75
-425+150	32,94	34,26	48,99	38,02	41,88	69,13
-150+38	14,05	35,54	63,04	37,46	18,52	87,66
-38	36,96	9	100		12,34	
Toplam	100			26,94	100	

Çizelge 5.5. 1200 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	19,02	46,7	19,02	46,7	33	33
-425+150	29,35	33,28	48,37	38,55	36,29	69,29
-150+38	15,02	35,48	63,39	37,82	19,82	89,11
-38	36,61	8	100		10,89	
Toplam	100			26,90	100	

Çizelge 5.6. 1600 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	18,34	46,52	18,34	46,52	32,32	32,32
-425+150	29,63	31,50	47,97	37,24	35,36	67,68
-150+38	13,21	35,21	61,18	36,8	17,61	85,29
-38	38,82	10	100		14,71	
Toplam	100			26,39	100	

Çizelge 5.7. 1800 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	13,86	45,31	13,86	45,31	21,99	21,99
-425+150	27,49	32,66	41,35	36,9	31,44	53,43
-150+38	13,59	34,76	54,94	31,82	16,68	70,01
-38	45,06	19,70	100		29,99	
Toplam	100			28,54	100	

Çizelge 5.8. 2000 dv/dk karıştırma hızında kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	17,37	47,23	17,37	47,23	31,01	31,03
-425+150	24,35	36,81	41,72	41,15	33,88	64,89
-150+38	12,75	36,95	54,47	40,21	17,81	82,70
-38	45,53	10	100		17,30	
Toplam	100			26,45	100	

5.4.2. Uygun karıştırma zamanının belirlenmesi

Karıştırma süresi de killerin dağılmasını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle, dağıtıcı reaktiflerin etkisini daha iyi görebilmek amacıyla bu reaktifleri kullanmadan en uygun mekanik dağıtma süresini belirleyebilmek için aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmıştır.

Deney şartları;

- Katı oranı (%);40
- Karıştırma hızı (devir/dakika); 1200
- Karıştırma zamanı (dakika); 4, 6, 8, 10, 12

Değişik sürelerde karıştırılan numuneler yine aynı boyutlu eleklerden elenerek -38 µm boyutu şlam olarak atılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13'de verilmiştir. Karıştırma hızı için söylenenler, karıştırma süresi için de geçerlidir. Tabloya bakıldığında özellikle iri boyutlar için az süreli karıştırma tenör açısından yeterli değildir. 38 µm elek üstü ve elek altı şeklinde incelediğimizde sadece mekanik dağıtma ile satılabilir tenör olan %40 B₂O₃ tenörünün üzerine çıkılmamış olduğunu görürüz. Aşırı karıştırma hızı (2000 devir/dakika) ve karıştırma zamanı ile yüksek tenörler elde edildiği Çizelge 5.8'de görülmektedir. Fakat uygulanabilirlik yani artığa olan kaçak ve enerji gideri göz önüne alınırsa bu şartların uygun olmayacağı anlaşılır. Bu nedenle arsenik flotasyonu şartları düşünülerek 10 dk karıştırma süresi uygun görülmüştür.

Çizelge 5.9. 4 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	28,44	43,26	28,44	43,26	45,24	45,24
-425+150	31,62	36,55	60,06	39,72	42,5	87,74
-150+38	11,99	20,8	72,05	36,58	9,17	96,91
-38	27,95	3,9	100		3,09	
Toplam	100			27,19	100	

Çizelge 5.10. 6 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	36,34	43,78	36,34	43,78	55,2	55,2
-425+150	24,73	35,38	61,07	39,02	32,03	87,23
-150+38	8,97	32,55	70,04	38,18	10,57	97,8
-38	29,97	2	100		2,2	
Toplam	100			27,31	100	

Çizelge 5.11. 8 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	25,82	44,62	25,82	44,62	43,04	43,04
-425+150	27,19	35,9	61,72	40,14	36,47	79,51
-150+38	14,1	27,21	75,82	37,42	14,33	93,84
-38	32,89	5	100		6,16	
Toplam	100			26,7	100	

Çizelge 5.12. 10 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	16,05	45,75	16,05	45,75	27,25	27,25
-425+150	32,94	34,24	48,99	38,02	41,88	69,13
-150+38	14,05	35,54	63,04	37,46	18,53	87,66
-38	36,96	9	100		12,34	
Toplam	100			26,94	100	

Çizelge 5.13. 12 dk karıştırma süresinde kolemanit atığının tenör verim değişimi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	17,94	45,82	17,94	45,82	31,29	31,29
-425+150	33,58	37,02	51,52	40,98	47,32	60,41
-150+38	10,74	34,7	62,26	39,14	14,19	92,8
-38	37,73	5	100		7,2	
Toplam	100			26,26	100	

5.4.3. Mekanik dağıtmaya yardımcı en uygun kil dağıtıcı reaktif tipinin belirlenmesi

Sadece mekanik dağıtma ile istenilen tenörlerin elde edilememesi nedeni ile aynı zamanda çeşitli sektörlerde kil dağıtma amacıyla kullanılan kimyasal dağıtıcılar mekanik dağıtmayla birlikte kullanılmıştır. Ayrıca şimdiye kadar yapılan mekanik dağıtma ile ilgili çalışmalarda çok yüksek dağıtma hızlarında ve zamanlarında dahi elde edilen konsantr tenörleri düşük kalmıştır [29, 49]. Fakat ultrasonik dağıtmada olumlu sonuçlar alınmıştır [35]. Bunun da maliyeti tartışılır bu nedenle aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 ve 5.18'de verilmiştir.

Deney şartları;

- Katı oranı (%);40
- Karıştırma hızı (devir/dakika); 1200
- Karıştırma zamanı (dakika); 10
- Dağıtıcı cinsi; Na₂SiO₃, Na₂CO₃, C₆H₅Na₃O₇.2H₂O, (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈*2H₂O), Na(PO₃)₆
- Dağıtıcı miktarı (gr/ton); 300

Karıştırılan numuneler yine mekanik karıştırma deneylerinde olduğu gibi elenmiştir. Kümülatif olarak 38 µm boyutu üstüne bakılırsa EDTA, sodyum sitrat ve sodyum hegzametafosfat dağıtıcılarının yaklaşık olarak aynı tenörleri verdiği görülür. Fakat en iyi verim %96,34 ile sodyum hegzametafosfattan elde edilmiştir.

Çizelge 5.14. Sodyum silikat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	16,97	36,69	16,97	36,69	23,22	23,22
-425+150	35,88	38,67	52,85	38,03	51,75	74,97
-150+38	12,84	36,24	65,69	37,68	17,35	92,32
-38	34,31	6	100		7,68	
Toplam	100			26,81	100	

Çizelge 5.15. Sodyum karbonat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	16,06	31,7	16,06	31,7	19,25	19,25
-425+150	33,53	42,17	49,59	38,75	53,49	72,74
-150+38	12,9	38,4	62,49	38,7	18,74	91,78
-38	37,51	6	100		8,22	
Toplam	100			26,43	100	

Çizelge 5.16. EDTA ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	17,82	42,61	17,82	42,61	28,52	28,52
-425+150	27,76	39	45,58	40,41	40,67	69,19
-150+38	16,32	36,22	61,9	39,34	22,21	91,4
-38	38,15	6,03	100		8,6	
Toplam	100			26,62	100	

Çizelge 5.17. Sodyum sitrat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	15,15	43,2	15,15	43,2	24,33	24,33
-425+150	34,33	42,01	49,48	42,37	53,6	77,94
-150+38	11,73	30,72	61,21	40,14	13,4	91,35
-38	38,79	6	100		8,67	
Toplam	100			26,89	100	

Çizelge 5.18. Sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	17,99	44,97	17,99	44,97	29,41	29,41
-425+150	32,8	40,94	50,79	42,37	48,81	78,22
-150+38	15,7	31,75	66,49	39,86	18,13	96,34
-38	33,51	3	100		3,65	
Toplam	100			27,5	100	

5.4.4. Mekanik dağıtmaya yardımcı kil dağıtıcı miktarının belirlenmesi

Sodyum hegzametafosfat dağıtıcısı kullanılarak yapılan deneylerde yüksek verim elde edilmiş fakat istenilen tenör elde edilmediği için bu dağıtıcının miktar olarak etkisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Aşağıdaki şartlarda yapılan deney sonuçları Çizelge 5.19, 5.20, 5.21, 5.22 ve 5.23'den görülmektedir.

Deney şartları;

- Katı oranı (%);40
- Karıştırma hızı (devir/dakika); 1200

- Karıştırma zamanı (dakika); 10
- Dağıtıcı cinsi; Na(PO₃)₆
- Dağıtıcı miktarı (gr/ton); 200, 300, 400, 500, 600

Tablodan görüldüğü gibi 600 gr/ton sodyum hegzametafosfat dozajında ince boyutlarda (-150+38) dahi B₂O₃ tenörü %40'ın üzerindedir. Bu dozajda 38 µm'nin üstü kolemanit konsantrisi beslemeye göre % 44,63 B₂O₃ tenörü ve %95,43 verimle elde edilmiştir. Artık tenörü %3 B₂O₃'dür.

Dağıtıcılarla ilgili zeta potansiyel çalışmalarında sodyum hegzametafosfatın kilin yüzey yükünü negatif yönde oldukça arttırdığı Şekil 5.10'dan görülmektedir. Yine bu dağıtıcı kil oranına bağlı olarak da yüzey yükü oldukça artmıştır (Şekil 5.14). Böylece zeta potansiyel çalışmalarından elde edilen sonuçların dağıtma deneyleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.19. 200 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	16,93	44,76	16,93	44,76	28,19	28,19
-425+150	31,63	41,69	48,56	42,76	49,07	77,26
-150+38	14,61	34,19	63,17	40,78	18,58	95,84
-38	36,83	3,03	100		4,16	
Toplam	100			26,87	100	

Çizelge 5.20. 300 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	17,99	44,97	17,99	44,97	29,41	29,41
-425+150	32,8	40,94	50,79	42,37	48,81	78,22
-150+38	15,7	31,75	66,49	39,86	18,13	96,34
-38	33,51	3	100		3,65	
Toplam	100			27,5	100	

Çizelge 5.21. 400 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	20,62	46,63	20,62	46,63	34,35	34,35
-425+150	30,64	43,99	51,26	44,78	48,16	82,51
-150+38	10,39	38,61	61,65	43,73	14,33	96,84
-38	38,35	2,3	100		3,15	
Toplam	100			27,98	100	

Çizelge 5.22. 500 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	22,12	43,85	22,12	43,85	36,13	36,13
-425+150	30,99	35,97	53,11	39,25	41,53	77,66
-150+38	9,5	35,96	62,61	38,75	12,73	90,36
-38	37,39	6,9	100		9,64	
Toplam	100			26,84	100	

Çizelge 5.23. 600 gr/ton sodyum hegzametafosfat ilavesinin kolemanit atığının tenör-verim değişimine etkisi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Elek Üstü (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)
+425	15,45	44,97	15,45	44,97	25,37	25,37
-425+150	33,85	44,31	49,3	45,26	54,53	79,9
-150+38	9,6	41,41	58,9	44,63	15,53	95,43
-38	41,1	3	100		4,57	
Toplam	100			27,52		

5.4.5. Dağıtıcının öğütme ortamında kil uzaklaştırmaya etkisi

Sodyum hegzametafosfat dağıtıcısının mekanik karıştırma ortamında etkili olduğu belirlendikten sonra, bu dağıtıcının öğütme ortamındaki etkisini belirlemek için ilk önce %40 katı oranında dağıtıcı konulmadan (Çizelge 5.24) ve daha sonrada 600 gr/ton dağıtıcı dozajında yaş öğütme deneyleri yapılmıştır. Dağıtıcı kullanmadan yapılan öğütme deneylerinde, öğütme zamanına bağlı olarak tüm boyut gruplarında tenörde artma olmuştur. Aynı olay dağıtıcının kullanıldığı deneylerde de olmuş fakat buradaki tenör artışının daha fazla olduğu Çizelge 5.25’de görülmektedir. Her iki grup deney sonucunda da görüldüğü gibi 38 µm’nin altına geçen miktarda ve tenörde artış olmasındır. Bu artış dağıtıcı kullanıldığında daha da artmıştır. Dağıtıcı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda 15 dakika öğütme süresinde 38 µm üzerinde kümülatif olarak %44,12 B₂O₃ tenörlü konsantr %72,74 verimi ile elde edilmiştir. Fakat artık tenörü % 12,76 B₂O₃’dir.

Çizelge 5.24. Farklı zamanlarda öğütme işlemi

Öğütme Zamanı (dk)	+150 Mikron			-150+38 Mikron					-38 Mikron	
	% Miktar	% B ₂ O ₃	Kümülatif Verim %	% Miktar	%B ₂ O ₃	Kümülatif Elek Üstü	Kümülatif %B ₂ O ₃	Kümülatif Verim %	% Miktar	%B ₂ O ₃
5	50,08	36,43	69,36	17,14	28,18	67,22	34,32	87,72	32,78	9,83
10	33,25	42,03	53,14	22,62	33,04	55,87	38,39	81,55	44,13	10,99
15	22,99	43,27	37,82	24,75	39,23	47,74	41,17	74,74	52,26	12,71
20	20,35	37,16	28,75	26,77	44,45	47,12	41,30	73,99	52,88	12,93

Çizelge 5.25. Sodyum hegzametafosfat ilavesi ile farklı zamanlarda öğütme işlemi

Öğütme Zamanı (dk)	+150 Mikron			-150+38 Mikron					-38 Mikron	
	% Miktar	% B ₂ O ₃	Kümülatif Verim %	% Miktar	%B ₂ O ₃	Kümülatif Elek Üstü	Kümülatif %B ₂ O ₃	Kümülatif Verim %	% Miktar	%B ₂ O ₃
5	30,15	41,06	47,07	23,04	34,90	53,19	38,39	77,65	46,81	12,56
10	29,03	41,59	45,90	24,14	36,72	53,17	39,37	79,60	46,83	11,45
15	20,10	46,95	35,88	23,07	41,66	43,17	44,12	72,74	56,83	12,76
20	15,43	46,30	27,16	23,20	41,55	38,63	43,44	63,81	61,37	15,51

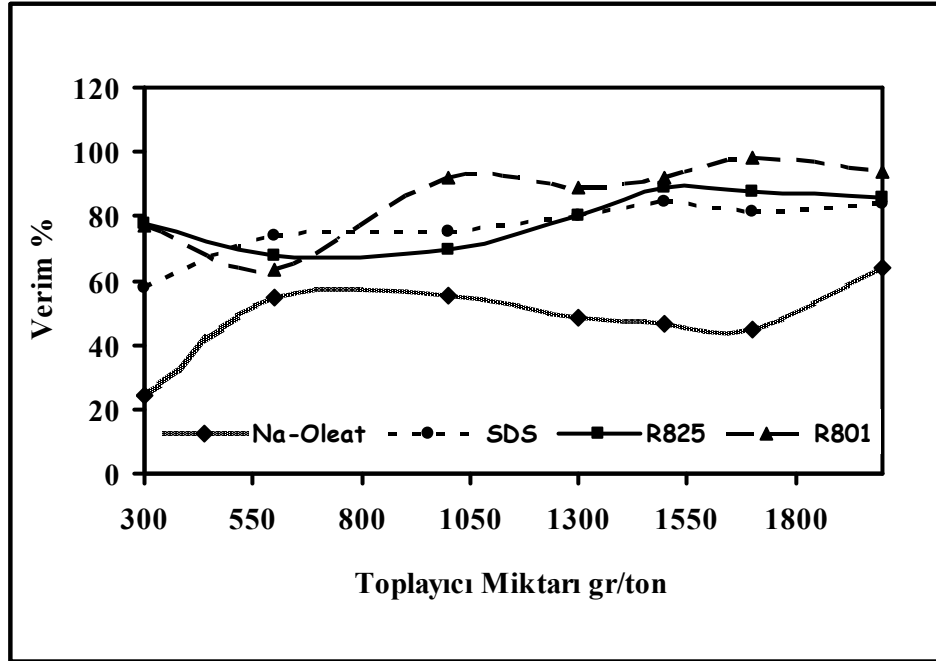
5.5. Flotasyon Deneyleri

Flotasyon, birçok parametrenin birbiriyle etkileşim halinde olduğu kompleks bir prosestir. Bu minerallerin yüzey özellikleri çok önemli olduğu için ilk önce ayırımı yapılacak olan kolemanit ve kil minerallerinin zeta potansiyel çalışmaları yapıp yüzey özellikleri belirlenmiştir. Buna dayanarak mikroflotasyon çalışmaları ile laboratuvar boyutlu denver flotasyon deneylerine açıklık getirilmeye çalışılacaktır.

5.5.1. Mikroflotasyon deneyleri

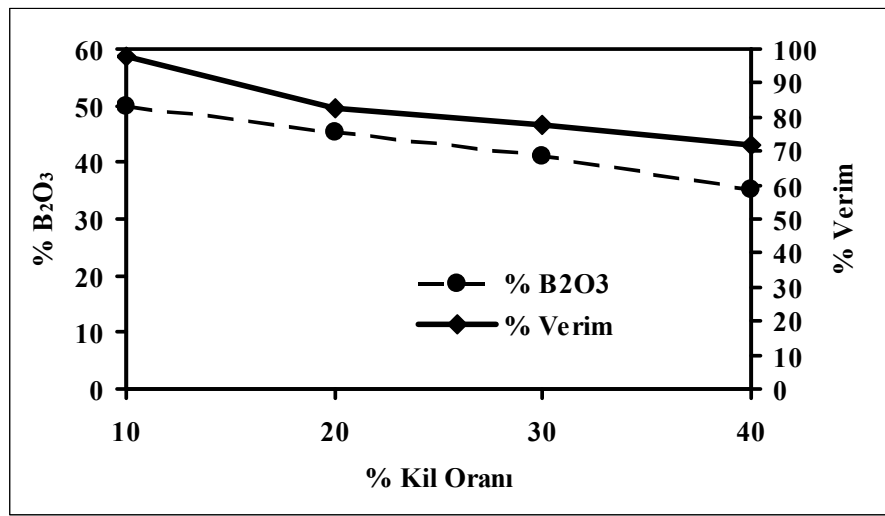
Mikroflotasyon deneyleri; flotasyon reaktiflerinin, kilin ve ortamda bol miktarda bulunan Ca^{++} iyonlarının etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Bu deneylerde birçok araştırmacının [47, 50] kullanmış olduğu tane boyutu olan -150+38 μm boyutu kullanılmıştır. Deneylerde, kolon içerisine konulan 1 gr temiz kolemanit her toplayıcı ile ve saf su kullanılarak 5 dk karıştırılarak yüzdürülmüştür (Şekil 5.16). Şekilde görüldüğü gibi tüm dozajlarda en iyi verim R801 kullanılmasıyla elde edilmiştir.

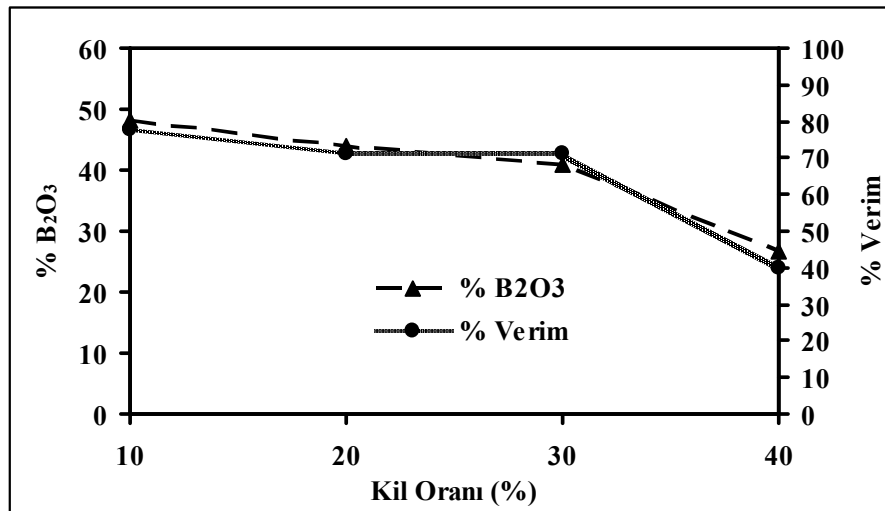


Şekil 5.16. Çeşitli toplayıcı reaktiflerin kolemanit flotasyon verimine etkisi

Zeta potansiyel çalışmalarında ortam pH'sında (pH=8,88) pozitif olan kolemanit yüzeyinin negatif yüzey yüküne sahip kil mineralleri tarafından kaplandığı açıklanmıştır. Ayrıca daha önce yapılan çalışmalarda da kolemanit flotasyonuna kilin önemli oranda engel olduğu belirtilmektedir [47, 50]. Bu nedenle yine aynı şartlarda 1500 gr/ton R801 ve R825 kullanılarak kolemanit flotasyonuna kil oranının etkisini belirlemek için deneyler yapılmıştır (Şekil 5.17 ve Şekil 5.18). Şekillerden görüldüğü gibi, kil her iki toplayıcıda da flotasyon veriminde ve tenörde düşüşe neden olmuştur. Fakat bu düşüş R825'de daha fazladır.

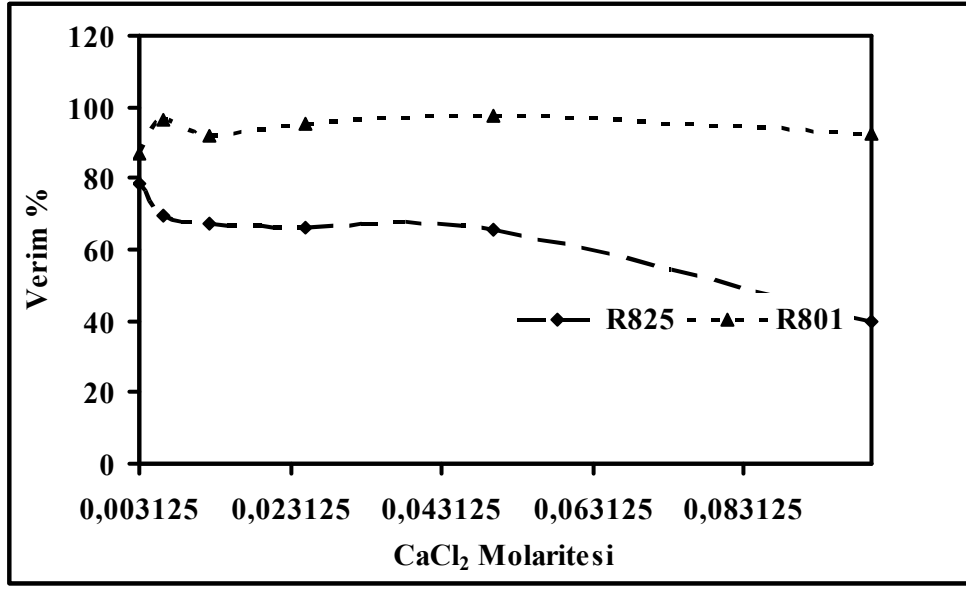


Şekil 5.17. Kil miktarına bağlı olarak sabit R801 miktarında (1500 gr/ton) kolemanitin tenör-verim değişimi



Şekil 5.18. Kil miktarına bağlı olarak sabit R825 miktarında (1500 gr/ton) kolemanitin tenör-verim değişimi

Yine aynı şartlarda yapılan flotasyon çalışmalarında flotasyon ortamına ilaveten Ca^{++} iyonlarının verilmesi R801’de verimde önemli bir değişiklik oluşturmazken R825 kullanılması durumunda verim Ca^{++} dozajına bağlı olarak oldukça düşmüştür(Şekil 5.19).



Şekil 5.19. $CaCl_2$ konsantrasyonlarında R801 ve R825’e bağlı olarak kolemanitin verim değişimi

5.5.2. Arsenik flotasyonu

Emet kolemanit yatağında arsenik minerali olarak Realgar ve Orpiment bulunmaktadır. Kolemanit yüzeyini kaplamış olarak oluşan bu mineraller ocaktan cevherle beraber tesise gelmekte bir kısmı elle ayıklama ile ayrılmakta bir kısmı konsantreye gitmekte bir kısmı ise artıkla beraber artık barajına gitmektedir.

Arsenik minerallerinin konsantreye gitmesi istenmez ayrıca bu mineraller doğal hidrofobik özellik gösterirler. Bu nedenle bu mineraller için toplayıcı olarak gaz yağı kullanılmıştır [16, 51].

Gaz yağı suyla karışmayan bir sıvıdır. Aslında aşırı köpürmeyi önlemesi flotasyon selülünün üst kısmında (sıvı gaz ara yüzeyinde) toplanmasındandır. Suyla karışmayan flotasyon reaktiflerinin emülsiyonlar halinde kullanılması bilinen bir tekniktir [16].

İlk aşamada kil dağıtma deneylerinden önce arsenik minerallerinin flotasyonla uzaklaştırılabildiğini belirlemek için artık barajı numunesi boyut gruplarına ayrılmadan arsenik flotasyonu deneylerine tabi tutulmuştur. Aşağıdaki şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçları Çizelge 5.26 ve Şekil 5.20’de verilmiştir.

Flotasyon şartları;

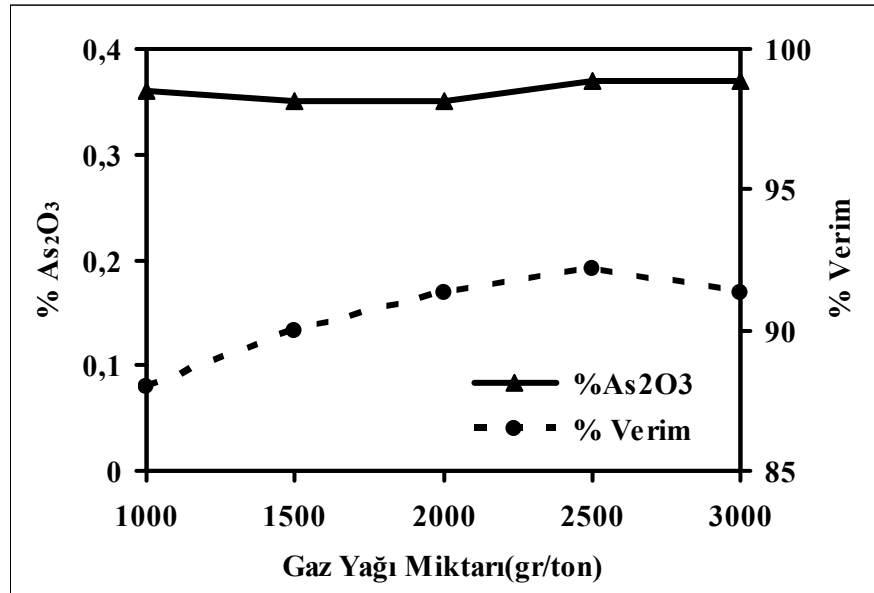
- Tane boyutu: -3 mm,
- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200 ±50
- Katı oranı (%): 40
- Selül hacmi (lt): 2
- pH: 8,83
- Toplayıcı: Gaz yağı
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 1000
- Köpürtücü (gr/ton): Çam yağı, 50 gr/ton
- Flotasyon zamanı (dk): 2
- Koşullandırma süresi (dk): 10
- Dağıtıcı: Sodyum hegzametafosfat

Arsenik flotasyonunda, arseniği yüzdürmek için kullanılan gaz yağı emülsiyon halinde kullanılmıştır. Emülsiyon halindeki gaz yağı hücreye ilavesinden sonra numuneyle birlikte 5 dakika karıştırılmış 3. dakikada çam yağı ilave edilmiştir.

En etkili arsenik uzaklaştırmanın 1500-2000 gr/ton olduğu görülmektedir. Böylece kil dağıtma sonrası numuneyi elemeden arsenik flotasyonu yapılarak belli oranda arsenik uzaklaştırılmış olacaktır.

Çizelge 5.26. Artık barajı numunesi arseniğinin flotasyon ürünleri tenör-verim tablosu

Gazyığı Miktarı		Miktar (%)	As ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
1000 Gr/Ton	Konsantre	7,64	0,59	12
	Artık	92,36	0,36	88
	Besleme	100	0,38	100
1500 Gr/Ton	Konsantre	3,67	1,05	10
	Artık	96,33	0,35	90
	Besleme	100	0,38	100
2000 Gr/Ton	Konsantre	3,32	1	8,7
	Artık	96,68	0,35	91,3
	Besleme	100	0,38	100
2500 Gr/Ton	Konsantre	5,87	0,51	7,8
	Artık	94,13	0,37	92,2
	Besleme	100	0,38	100
3000 Gr/Ton	Konsantre	6,61	0,50	8,7
	Artık	93,39	0,37	91,3
	Besleme	100	0,38	100



Şekil 5.20. Farklı gaz yağı miktarlarının kolektör etkisi

İkinci aşamada da numunenin tane boyut dağılımına göre arsenik tenörü ve verimi incelenmiştir. -425+250, -250+150 ve -150+38 μm boyut gruplarında arsenik flotasyonu deneyleri yapılmıştır (Çizelge 5.27 ve Şekil 5.21).

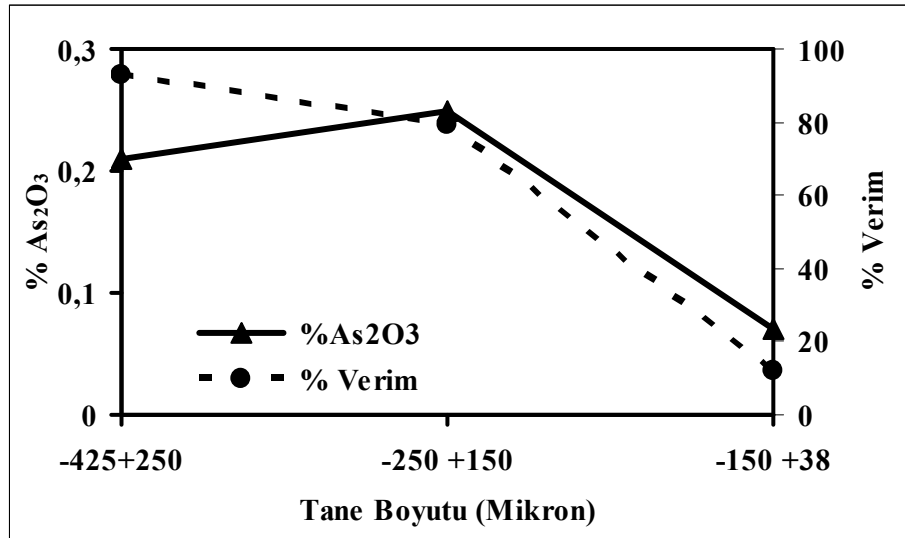
Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200±50
- Katı oranı (%): 40
- Selül hacmi (lt): 2
- pH: 8,83
- Toplayıcı: Gaz yağı
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 1000
- Köpürtücü (gr/ton): Çam yağı, 50 gr/ton
- Flotasyon zamanı (dk): 2
- Koşullandırma süresi (dk): 10
- Dağıtıcı: Sodyum hegzametafosfat

Hazırlanan atık numuneleri 2 lt'lik hücrede sodyum hegzametafosfatla 10 dakika koşullandırılmıştır. Arsenik flotasyonunda, arseniği yüzdürmek için kullanılan gaz yağı emülsiyon halinde kullanılmıştır. Emülsiyon halindeki gaz yağı hücreye ilavesinden sonra numuneyle birlikte 5 dakika karıştırılmış 3. dakikada çam yağı ilave edilmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları Çizelge 6.8. ve Şekil 5.21'de verilmektedir.

Çizelge 5.27. Tane boyutuna göre arseniğin flotasyon ürünleri tenör-verim tablosu

Tane Boyutu (Mikron)		Miktar (%)	As ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
-425 +250	Konsantre	3,47	0,46	7,22
	Artık	96,53	0,21	92,78
	Besleme	100	0,22	100
-250 +150	Konsantre	7,04	0,89	20,9
	Artık	92,96	0,25	79,1
	Besleme	100	0,3	100
-150 +38	Konsantre	14,7	3,11	87,9
	Artık	85,3	0,07	12,1
	Besleme	100	0,52	100



Şekil 5.21. Tane boyutuna göre tenör-verim dağılımı

Yapılan tane boyutu deneylerinden arseniğin -150+38 mikron boyut grubunda serbestleştiği görülmektedir. Bu boyut grubunda tekrar farklı gaz yağı miktarlarında deneyler yapılarak arsenik tenörü ve verimi incelenmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçları Çizelge 5.28 ve Şekil 5.22'de verilmektedir.

Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200±50

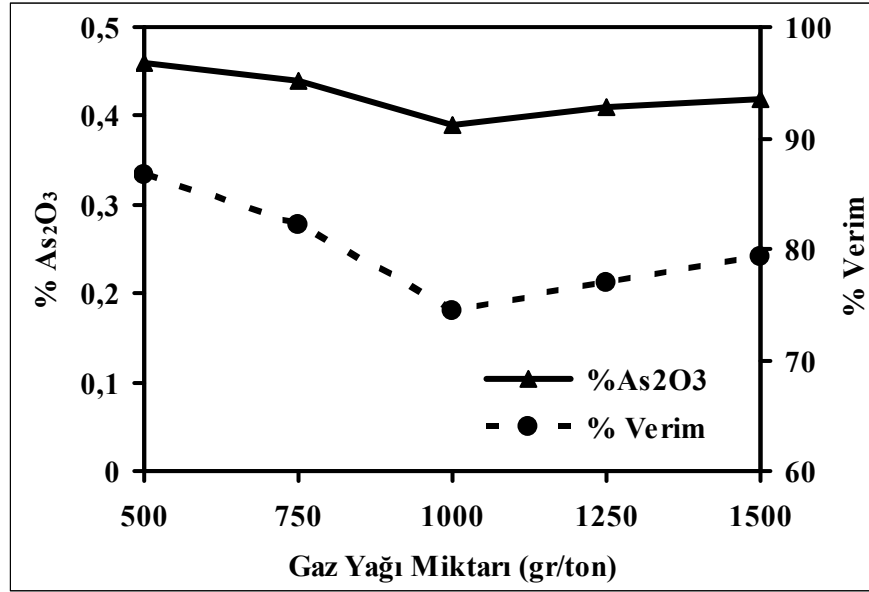
- Katı oranı (%): 25
- Selül hacmi (lt): 1
- pH: 8,83
- Toplayıcı: Gaz yağı
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 500, 750, 1000, 1250, 1500
- Köpürtücü (gr/ton): Çam yağı, 50 gr/ton
- Flotasyon zamanı (dk): 2

Emülsiyon halindeki gaz yağı hücreye ilavesinden sonra numuneyle birlikte 5 dakika karıştırılmış 3. dakikada çam yağı ilave edilmiştir.

Gaz yağı miktarına bağlı olarak yapılan deneyler sonucunda en etkili arsenik uzaklaştırmanın 1000 gr/ton olduğu görülmektedir. Böylece kolemanit flotasyon işlemi öncesinde arsenik flotasyonu yapılarak belli oranda arsenik uzaklaştırılmış olacaktır.

Çizelge 5.28. Gaz yağı miktarına göre %As₂O₃ tenör-verim tablosu

Gazyağı Miktarı	-150+38 (Mikron)	Miktar (%)	As ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
500 Gr/Ton	Konsantre	2,88	2,41	10,35
	Artık	97,12	0,62	89,65
	Besleme	100	0,67	100
750 Gr/Ton	Konsantre	3,71	2,49	13,79
	Artık	96,29	0,59	86,21
	Besleme	100	0,67	100
1000 Gr/Ton	Konsantre	3,16	4,2	19,8
	Artık	96,84	0,55	80,2
	Besleme	100	0,67	100
1250 Gr/Ton	Konsantre	5,4	1,65	13,29
	Artık	94,6	0,61	86,71
	Besleme	100	0,67	100
1500 Gr/Ton	Konsantre	2,14	4,44	14,18
	Artık	97,86	0,58	85,82
	Besleme	100	0,67	100



Şekil 5.22. Gaz yağı miktarına göre %As₂O₃ tenör-verim tablosu

5.5.3. Kolemanit flotasyonu

DeneySEL çalışmalarında 1 lt'lik denver flotasyon hücresi kullanılmıştır. Arsenik flotasyonu çalışmalarında arsenik minerallerinin en iyi -150+38 µm boyut grubunda uzaklaşabildiği tespit edilmişti. Bu nedenle kolemanit flotasyonundan önce arsenik flotasyonu yapılacağı için kolemanit flotasyonunda da artık barajı numunesi -150 µm'nun altına öğütülmüştür. Öğütülen numunenin elek analizi Çizelge 5.29'da görülmektedir.

Çizelge 5.29. -150 µm'ye öğütülmüş numunenin elek analizi

Elek Boyutu	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	K.E.A (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)
-150+106	38,83	35,2	100	35,2
-106+75	16,97	36,9	61,17	35,71
-75+53	7,55	35,2	44,2	35,65
-53+38	2,33	34,1	36,65	35,6
-38	34,32	12,87	34,32	27,79
TOPLAM	100	27,79	0	

Arsenik Flotasyonu şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200 ±50
- pH: 8,83
- Toplayıcı: Gaz yağı
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 1000
- Köpürtücü (gr/ton): Çam yağı, 50 gr/ton

Ayrıca kolemanit yüzeyine şlam kaplama nedeniyle flotasyonun engellendiği de elektrokinetik, mikroflotasyon ve daha önce yapılmış çalışmalarda [16, 35] ortaya konmuştur. Bu nedenle 38 µm'nin altı şlam olarak atılarak elde edilen -150+38 µm boyut grubunda kolemanit flotasyon çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kolemanitin çözünürlüğünü daha da azaltmak için doygun çözelti kullanılmıştır. Deneyler doğal pH'da ve 22±1°C sıcaklıkta yapılmıştır. flotasyon deneylerinde toplayıcı olarak, mikroflotasyon deneylerinde en iyici sonucu veren R801 kullanılmıştır. Karıştırma hızı 1200 devir/dakika olarak sabit tutulmuştur. Her kolemanit flotasyonundan önce emülsiyon halinde 1000 gr/ton dozajında gaz yağı ile arsenik flotasyonu yapılmıştır.

5.5.3.1. Toplayıcı miktarının belirlenmesi

Optimum toplayıcı miktarının belirlenmesi hem verimli bir flotasyon açısından hem de ekonomiklik açısından önemlidir. Bu nedenle kolemanit flotasyonunda, mikroflotasyon çalışmalarında diğer reaktiflere nazaran en iyi sonucu veren R801 toplayıcısı kullanılmıştır. Bu toplayıcı ile aşağıda verilen deney şartlarında elde edilen sonuçlar Çizelge 5.30 ve Şekil 5.23'de verilmiştir.

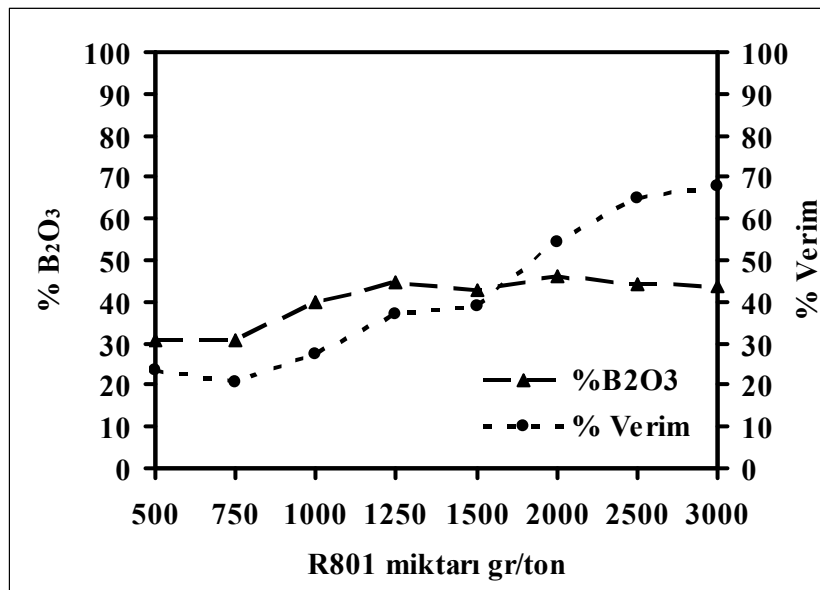
Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200 ±50
- Katı oranı (%): 25
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 500, 750, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000
- Bastırıcı cinsi: Tannik asit
- Bastırıcı miktarı (gr/ton): 500
- Kıvam zamanı (dk): 2+5
- Flotasyon zamanı (dk): 3,5

Şekil ve çizelgeden görüldüğü gibi toplayıcı miktarına bağlı olarak verim artmaktadır. Fakat tenör 2500 gr/ton toplayıcı miktarına kadar artmakta daha sonra düşmektedir. 2500 gr/ton toplayıcı dozajına kadar verim yeterli olmadığı için bu dozaj daha sonraki deneylerde kullanılmak üzere, yeterli tenör (%44,47) ve verim (%65,89) sağlaması bakımından uygun bulunmuştur.

Çizelge 5.30. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Toplayıcı Miktarı (g/t)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Toplayıcı Miktarı (g/t)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
500	Arsenik	4,59	5,26	0,66	1500	Arsenik	4,56	11,3	1,42
	Konsantre	28,15	30,79	23,73		Konsantre	33,23	42,71	38,86
	Artık	67,26	41,05	75,61		Artık	62,21	35,06	59,72
	Besleme	100	36,52	100		Besleme	100	36,52	100
750	Arsenik	3,22	6,02	0,56	2000	Arsenik	3,65	6,8	0,68
	Konsantre	24,39	30,98	20,7		Konsantre	43,03	45,92	54,1
	Artık	72,39	39,74	78,74		Artık	53,32	30,97	45,22
	Besleme	100	36,52	100		Besleme	100	36,52	100
1000	Arsenik	3,17	6,75	0,59	2500	Arsenik	3,97	7,5	0,82
	Konsantre	25,19	39,75	27,44		Konsantre	53,29	44,47	64,89
	Artık	71,64	36,69	71,97		Artık	42,74	29,3	34,29
	Besleme	100	36,52	100		Besleme	100	36,52	100
1250	Arsenik	5,41	10,9	1,62	3000	Arsenik	4,2	7,25	0,84
	Konsantre	30,12	44,6	36,78		Konsantre	56,65	43,58	67,6
	Artık	64,47	34,89	61,6		Artık	39,15	29,44	31,56
	Besleme	100	36,52	100		Besleme	100	36,52	100



Şekil 5.23. Toplayıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değerleri

5.5.3.2. Bastırıcı Cinsinin Belirlenmesi

Artık barajı numunesinde gang mineral olarak kil büyük bir oranı oluşturmaktadır ve bu kil mineralleri de elektrostatik olarak kolemanit yüzeyini kaplamaktadır. Bu nedenle uygun bastırıcılarla kili yüzeyden uzaklaştırıp kolemanitin yüzebilirliliğini artırmak gerekir. Bunun için bu deneylerde çeşitli kil dağıtıcıları veya aynı zamanda bastırıcıları kullanılmıştır. Aşağıda verilen flotasyon şartlarında yapılan deney sonuçları Çizelge 5.31 ve Şekil 5.24'de verilmiştir.

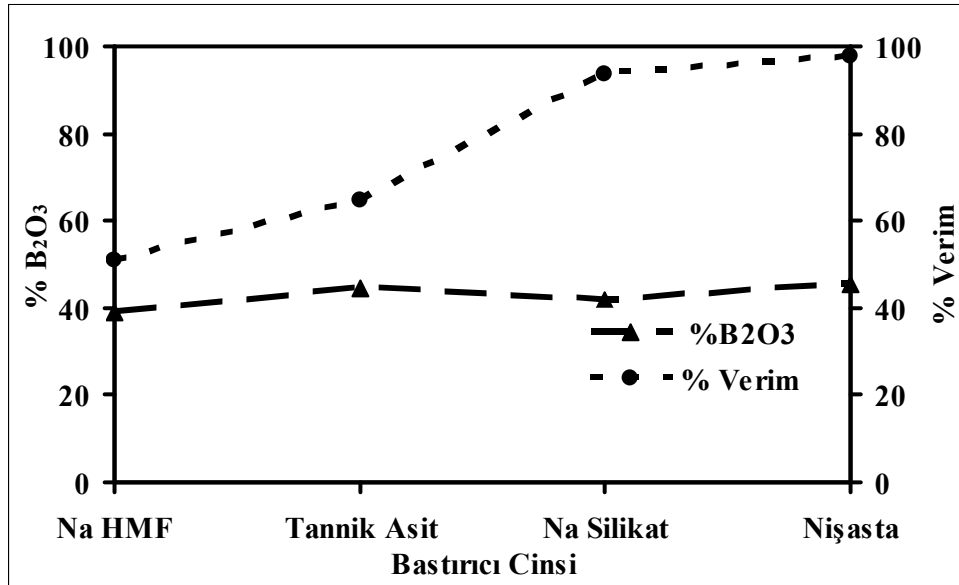
Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200 ±50
- Katı oranı (%): 25
- pH: 8,83
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 2500
- Bastırıcı cinsi: Sodyum hegzametafosfat, Tannik asit, Sodyum silikat, Nişasta
- Bastırıcı miktarı (gr/ton): 500
- Kıvam zamanı (dk): 2+5
- Flotasyon zamanı (dk): 3,5

Çizelge ve şekilden görüldüğü gibi en iyi sonuçlar nişastadan ve daha sonra sodyum silikatta elde edilmiştir. Sodyum hegzametafosfat kil dağıtma deneylerinde görüldüğü gibi kili iyi bir şekilde dağıtmasına rağmen kolemanitle beraber yüzmesine engel olamamıştır. Nişasta ile yapılan deneyler sonucunda %45,5 B₂O₃ tenörlü konsantre % 97,69 verimle elde edilmiştir.

Çizelge 5.31. Bastırıcı cinsine bağlı olarak tenör-verim değişimi

Bastırıcı Cinsi		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
Sodyum Hegza Metafosfat	Arsenik	3,96	7,5	0,82
	Konsantre	47,64	38,86	50,69
	Artık	48,4	36,59	48,49
	Besleme	100	36,52	100
Tannik Asit	Arsenik	3,97	7,5	0,82
	Konsantre	53,29	44,47	64,89
	Artık	42,74	29,3	34,29
	Besleme	100	36,52	100
Na Silikat	Arsenik	4,71	2,1	0,28
	Konsantre	82,39	41,57	93,78
	Artık	12,9	16,82	5,94
	Besleme	100	36,52	100
Nişasta	Arsenik	3,56	2,8	0,28
	Konsantre	78,76	45,3	97,69
	Artık	17,68	4,19	2,03
	Besleme	100	36,52	100



Şekil 5.24. Bastırıcı cinsine bağlı olarak tenör-verim değişimi

5.5.3.3. Bastırıcı miktarı seçimi

Bastırıcı olarak nişasta belirlendikten sonra, bunun en uygun miktarlarının belirlenmesi için aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmıştır.

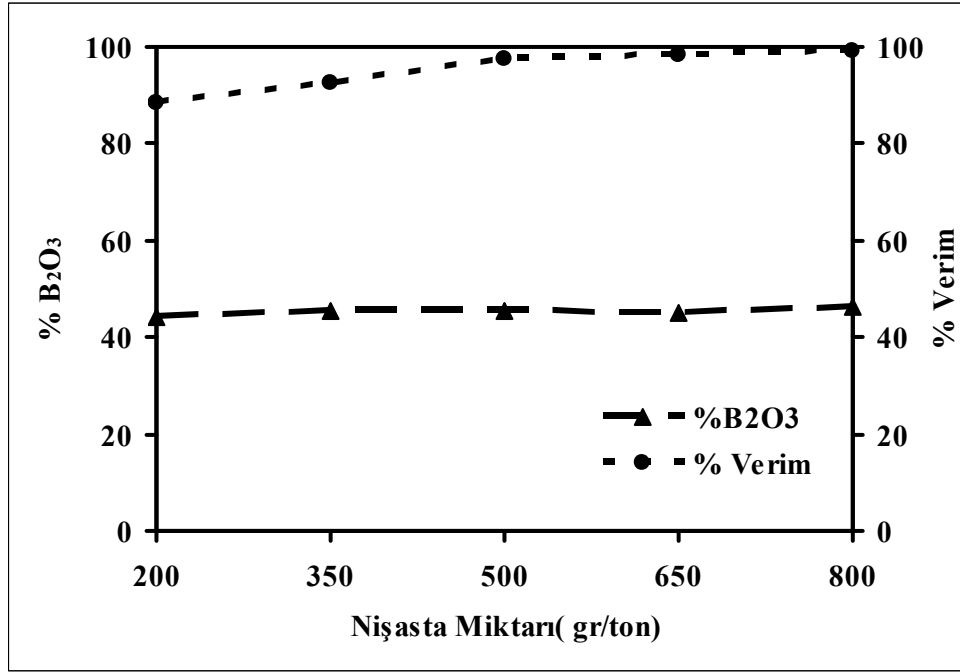
Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200 ±50
- Katı oranı (%): 25
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 2500
- pH:8,83
- Bastırıcı cinsi: Nişasta
- Bastırıcı miktarı (gr/ton): 200, 350, 500, 650, 800
- Kıvam zamanı (dk): 2+5
- Flotasyon zamanı (dk): 3,5

Deneyler sonucu elde edilen sonuçlar Çizelge 5.32 ve Şekil 5.25’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tenör ve verim artmaktadır. Özellikle 500 gr/ton’dan sonra oldukça iyi sonuçlara ulaşılmaktadır. Fakat 800 gr/ton bastırıcı miktarında %46,41 B₂O₃ tenörlü konsantre %99,07 verimle kazanıldığı gibi artık tenörü de %1,25 olmaktadır.

Çizelge 5.32. Bastırıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Bastırıcı Miktarı (g/t)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
200	Arsenik	4,83	2,6	0,35
	Konsantre	73,03	44,25	88,48
	Artık	22,14	18,42	11,17
	Besleme	100	36,52	100
350	Arsenik	4,89	2,3	0,31
	Konsantre	74,42	45,37	92,45
	Artık	20,67	12,77	7,24
	Besleme	100	36,52	100
500	Arsenik	3,56	2,8	0,28
	Konsantre	78,76	45,3	97,69
	Artık	17,68	4,19	2,03
	Besleme	100	36,52	100
650	Arsenik	4,48	3,1	0,39
	Konsantre	79,33	45,19	98,16
	Artık	16,19	3,29	1,45
	Besleme	100	36,52	100
800	Arsenik	5,42	2,4	0,35
	Konsantre	77,95	46,41	99,07
	Artık	16,63	1,25	0,58
	Besleme	100	36,52	100



Şekil 5.25. Bastırıcı miktarına bağlı olarak tenör-verim değişimi

5.5.3.4. Katı Oranın Belirlenmesi

Flotasyonda katı oranı da seçimliği etkileyen parametrelerden biridir. Yüksek katı oranlarında seçimlilik azalır. Düşük katı oranlarında seçimlilik artmasına rağmen su gereksiniminin artması nedeniyle fazla su sarfiyatı sorunu ortaya çıkabilir ayrıca belirli kapasiteyi karşılayabilmek için seçilen cihaz hacimleri artar. Bu nedenle optimum bir katı oranının belirlenmesi gerekir. Bu nedenle değişik katı oranlarında aşağıdaki şartlarda flotasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.33 ve Şekil 5.26'da verilmiştir.

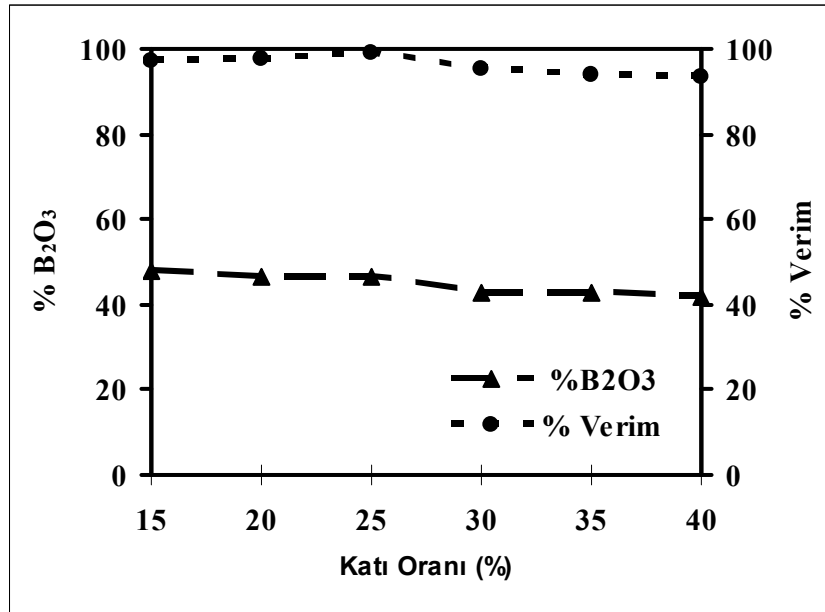
Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200±50
- Katı oranı (%): 15, 20, 25, 30, 35, 40
- pH: 8,83
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 2500
- Bastırıcı cinsi: Nişasta
- Bastırıcı miktarı (gr/ton): 800
- Kıvam zamanı (dk): 2+5
- Flotasyon zamanı (dk): 3,5

Çizelge ve şekilden görüldüğü gibi katı oranına bağlı olarak tenörde azalma meydana gelmiştir. Verimde ise %25'e kadar artış olmuş daha sonra da verim düşmüştür. Bunun nedeni katı oranı arttıkça seçimliliğin azalması yani yüzebilecek durumda olan kolemanit tanelerinin yüzememesidir. %15 katı oranında oldukça iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen yukarıda dediğimiz sorunlardan dolayı katı oranının % 25 olarak alınmasında yarar vardır.

Çizelge 5.33. Katı oranına bağlı olarak tenör-verim değişimi

Katı Oranı (%)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)	Katı Oranı (%)		Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Verim (%)
15	Arsenik	2,62	1,98	0,14	30	Arsenik	2,57	2,89	0,21
	Konsantre	73,69	47,96	97,37		Konsantre	81,12	42,75	95,53
	Artık	23,69	3,82	2,49		Artık	16,31	9,48	4,26
	Besleme	100	36,3	100		Besleme	100	36,3	100
20	Arsenik	3,48	2,65	0,25	35	Arsenik	2,2	2,92	0,18
	Konsantre	76,06	46,7	97,85		Konsantre	79,78	42,65	93,73
	Artık	20,46	3,36	1,9		Artık	18,02	12,26	6,09
	Besleme	100	36,3	100		Besleme	100	36,3	100
25	Arsenik	4,53	2,4	0,3	40	Arsenik	2,17	3,02	0,18
	Konsantre	77,49	46,42	99,09		Konsantre	81,04	41,78	93,27
	Artık	17,98	1,22	0,61		Artık	16,79	14,15	6,55
	Besleme	100	36,3	100		Besleme	100	36,3	100



Şekil 5.26. Katı oranına bağlı olarak tenör-verim değişimi

5.5.3.5. Flotasyon Zamanının Belirlenmesi

Flotasyon işleminde tane-hava kabarcığı agregasının oluşması ve yüzmesi istenir. Flotasyon ortamında bulunan hidrofob tanelerin kabarcıklara yapışıp köpük zonuna çıkması zamana bağlıdır [33]. En uygun flotasyon zamanı aşağıdaki şartlarda yapılan deneye göre saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar **Çizelge 5.34** ve **Şekil 5.27**'de verilmiştir.

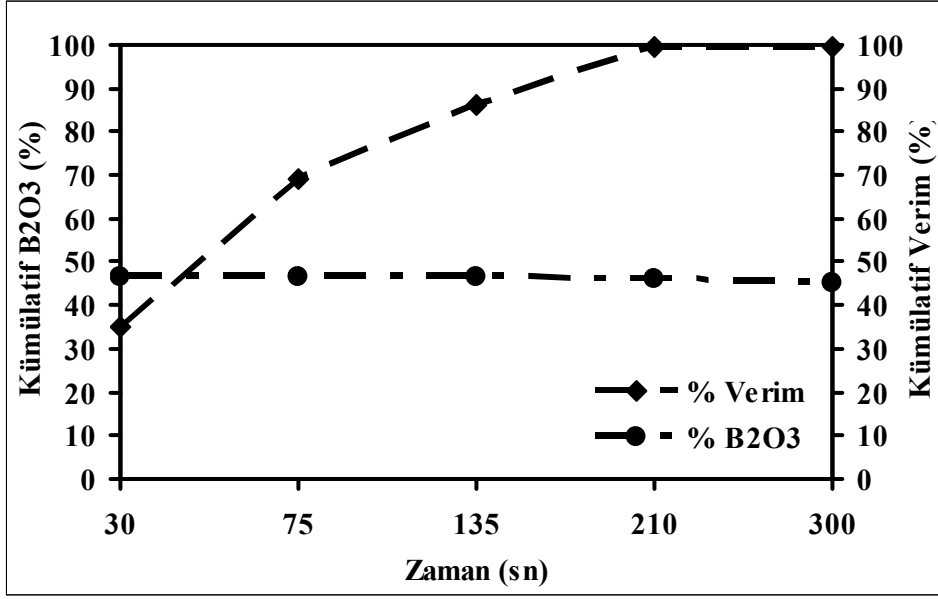
Flotasyon şartları;

- Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200±50
- Katı oranı (%): 25
- Toplayıcı cinsi: R801
- Toplayıcı miktarı (gr/ton): 2500
- Bastırıcı cinsi: Nişasta
- Bastırıcı miktarı (gr/ton): 800
- Kıvam zamanı (dk): 2+5
- Flotasyon süresi (sn): 30, 45, 60, 75, 90

Kinetik olarak tanelerin 210 sn (3,5 dk) süreye kadar iyi yüzdükleri görülmektedir. Bu sürede %46,23 B₂O₃ tenörlü konsantre %99,36 verimle elde edilmektedir.

Çizelge 5.34. Flotasyon zamanına bağlı olarak tenör-verim değişimi

	Kümülatif Zaman (sn)	Ağırlık (gr)	B ₂ O ₃ (%)	Kümülatif Ağırlık	Verim (%)	Kümülatif Verim (%)	Kümülatif B ₂ O ₃ (%)
Konsantre - 1	30	111,75	46,38	111,75	34,87	34,87	46,38
Konsantre - 2	75	109,8	46,63	221,55	34,45	69,32	46,5
Konsantre - 3	135	54,84	46,25	276,39	17,06	86,38	46,45
Konsantre - 4	210	43,06	44,79	319,45	12,98	99,36	46,23
Konsantre - 5	300	8,9	1,28	328,35	0,08	99,44	45,01
Artık	(-)	66,6	1,24	394,95	0,56	100	37,63
Besleme		394,95	37,63		100		



Şekil 5.27. Flotasyon zamanına bağlı olarak tenör-verim değişimi

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Atık barajı numunesi yapılan mineralojik çalışmalara göre kolemanit, montmorillonit, muskovit, kuvars, kalsit, dolomit, illit, sanidin, orpiment ve realgar minerallerinden oluşmaktadır. Kimyasal çalışmalara göre ise, %26,3 oranında B_2O_3 ve %0,448 oranında istenmeyen As_2O_3 içermektedir.

- Yapılmış elektrokinetik çalışmalar sonucunda kolemanitin sıfır yük noktası pH 10,2 olarak belirlenirken, kil bütün pH'larda negatif yüzey yüküne sahiptir.

- Çeşitli tuzlarla yapılan zeta potansiyel çalışmalarına göre CaO 'dan gelen Ca^{++} iyonları kolemanit ve kil yüzey yükünde pH değişimi nedeniyle işaret değişimine neden olurken diğer iki değerlikli iyonlar ve Al^{+++} kolemanitin zeta potansiyelini pozitif, K^+ ise negatif yönde değiştirmiştir. Kil yüzeyinde ise Al^{+++} yüksek pH değerlerinde yükte işaret değişimi oluşturmuş diğer iyonlar ise yüzey yükünü negatif olarak değiştirmiştir.

- Ortam pH'sında (pH=8,88) pozitif olan kolemanit yüzeyinin negatif yüklü kil mineralleri tarafından kaplandığı belirlenmiştir.

- $Na(PO_3)_6$ (sodyum hegzametafosfat) kil yüzeyinde, sodyum sitrat ise kolemanit yüzeyinde oldukça fazla zeta potansiyel değişimine neden olmuştur.

- Killerin dağıtılmasında en etkili reaktifin $Na(PO_3)_6$ olduğu daha sonrada sodyum sitrat ve EDTA'nın geldiği tespit edilmiştir.

- Mekanik dağıtmaya yardımcı kimyasal dağıtıcılardan $Na(PO_3)_6$ ile %44,63 B_2O_3 tenörlü konsantre %95,43 verimi ile aşağıdaki optimum deney şartlarında elde edilmiştir. Artık tenörü %3 B_2O_3 'dür.

Optimum deney şartları;

- ✓ Katı oranı (%): 40
- ✓ Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200±50
- ✓ Karıştırma zamanı (dakika): 10
- ✓ Dağıtıcı cinsi: $Na(PO_3)_6$
- ✓ Dağıtıcı miktarı (gr/ton): 600

- Mikroflotasyon deneylerinde kolemanit flotasyonunda en iyi toplayıcının R801 olduğu, killerin flotasyonu engellediği fakat Ca^{++} iyonlarının flotasyonu etkilemediği belirlenmiştir.

- Yapılan denver flotasyon deneyleri sonucunda % 46,42 B_2O_3 tenörlü konsantre % 99,09 verimle aşağıdaki optimum şartlarda elde edilmiştir. Artık tenörü %1,22 B_2O_3 'dür.

Optimum deney şartları;

- ✓ Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200±50
- ✓ Katı oranı (%): 25
- ✓ Toplayıcı cinsi: R801
- ✓ Toplayıcı miktarı (gr/ton): 2500
- ✓ Bastırıcı cinsi: Nişasta
- ✓ Bastırıcı miktarı (gr/ton): 800
- ✓ Kıvam zamanı (dk): 2+5
- ✓ Flotasyon süresi (dk): 3,5

- %34,32 oranına sahip %12,87 B_2O_3 tenörlü 38 μm 'nun altı malzeme hiç flotasyona girmeden atıldığı için bu flotasyonda bir kayıp oluşturmaktadır. Hâlbuki mekanik ve kimyasal dağıtmada böyle bir kayıp yoktur.

- Hem mekanik karıştırma+kimyasal dağıtma+sınıflandırma deneylerinden önce hem de kolemanit flotasyonundan önce aşağıdaki şartlarda arsenik mineralleri uzaklaştırılabilir.

Arsenik flotasyonu şartları;

- ✓ Karıştırma hızı (devir/dakika): 1200
- ✓ pH: 8,83
- ✓ Toplayıcı: Gaz yağı
- ✓ Toplayıcı miktarı (gr/ton): 1000
- ✓ Köpürtücü (gr/ton): Çam yağı, 50 gr/ton
- ✓ Flotasyon zamanı (dk): 2

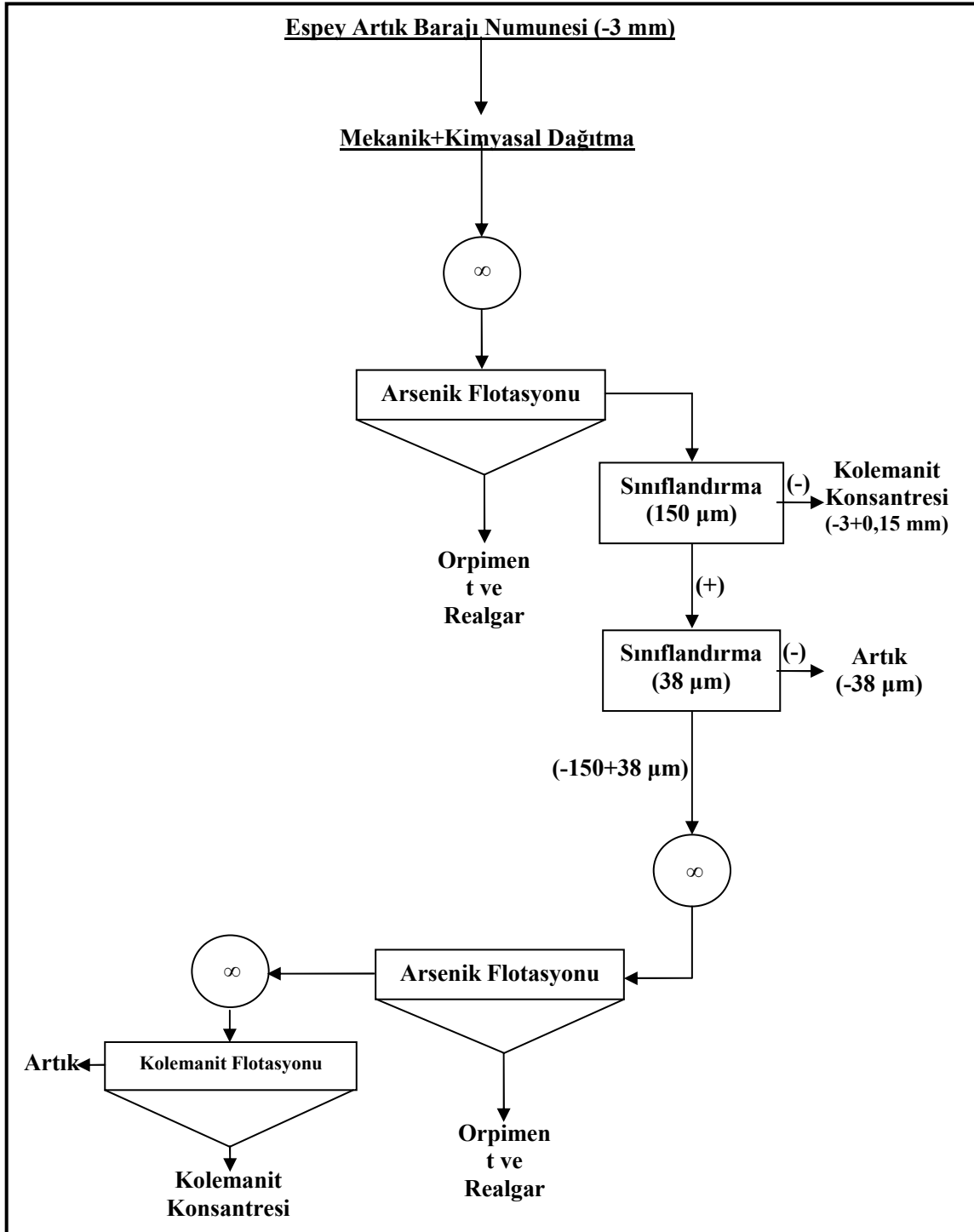
Sadece mekanik karıştırma+kimyasal dağıtma+sınıflandırmadan önce malzeme iri taneli olduğu için arsenik uzaklaştırması daha az etkilidir ve daha fazla gaz yağı kullanmak gerekir.

- Arsenik flotasyonunda serbestleşme boyutu 150 μm olarak saptanmıştır. Bu boyut kolemanit içinde uygundur. Kil minerallerinin kolemanit yüzeyini kaplayıp flotasyona engel olması nedeniyle 38 μm 'nin altı şlam olarak atılmıştır.

Öneriler;

- Daha az sodyum hegzametafosfat dozajında mekanik karıştırma+kimyasal dağıtma+sınıflandırma deneyleri yapıp 38 μm 'nin altı uzaklaştırılıp mekanik ve kolon flotasyon çalışmaları yapılabilir. Önerilen akım şeması Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

- Elde edilen çok az B_2O_3 içerikli artıkların seramik, tuğla, çimento gibi sektörlerde kullanım olanakları araştırılmalıdır.



Şekil 6.1. Espey Artık Barajı numunesinden kolemaniti kazanmak için önerilen akım şeması

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] EGİAD, 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.
- [16] Yarar, B., 1971, Kolemanit mineralinin Flotasyon yolu ile değerlendirilmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [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.
- [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.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [33] Öteyaka, B., 2004, Flotasyon Prensipleri, Ders Notları, DPÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye.
- [34] Özkan, Ş.G., Veasey, T.J., 1994, The Effect of Slime Coatings on Colemanit Flotation, Progress in Mineral Processing Technology, Balkema, Rotterdam.
- [35] Çelik, M.S., Elma, İ., Müdüroğlu, M., Ultrasonik Ortamın Şlam Kaplı Kolemanitin Flotasyona Etkisi, İTÜ, Cevher ve Kömür Hazırlama. İstanbul, Türkiye.
- [36] Özkan Ş.G., Alp M.S., Veasey T.J., 1993, “Emet Kolemanit Cevheri Üzerindeki Flotasyon Çalışmaları” Türkiye 13.Madencilik Kongresi, Türkiye.
- [37] Bulut, G., Ören, E., Acarkan, N., Bakan, S., 2004, Tinkal Atığına Uygulanan Flotasyon Çalışmaları, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, Türkiye.
- [38] Gül, A., Kaytaç, Y., Önal, G., 2005, Beneficiation of Colemanite Tailings by Attrition and Flotation, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye.
- [39] Hançer, M., Kaytaç, Y., Çelik, M.S., 1993, Doygun Çözeltilerde Boraks Flotasyonunun Anyonik ve Katyonik Reaktiflerle İncelenmesi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi.
- [40] Koca, S., Koca, H., Savaş, M., 2003, Flotation of Colemanite from Realgar, Osmangazi Üniversitesi Eskişehir, Türkiye.
- [41] Özkan, Ş.G., Acar, A., 2003, Investigation of İmpact of Water type on Borate Ore Flotation, Mining Engineering Dep.Engineering Faculty, İU. Institute of Science and Technology, İstanbul, Türkiye.
- [42] Koca, S., Savaş, M., 2003, Contact Angle Measurements at the Colemanite and Realgar Surface, Maden Mühendisliği Bölümü Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- [43] Yarar, B., 1985, The Surface Chemical Mechanism of Colemanite-Calcite Separation by Flotation, Economic Geology and Production, Barker, J.M. ve Lefond, S.j., Newyork.
- [44] Uçar, A., 2004, Kolloid ve Yüzey Kimyası, DPÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Cevher Hazırlama, Ders Notları, Kütahya, Türkiye.
- [45] www.zeta-meter.com
- [46] Koca, S., Savaş, M., 1998, Kolemanit ve Realgarın Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi, VII International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye.
- [47] Çelik, M.S., Hançer, M., Miller, J.D., 2002, Flotation Chemistry of Boron Minerals, İTU Mining Faculty Minerals and Cool Processing.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [48] Gülensoy, H., 1961, Türkiye'deki Bor Mineralleri ile Bunların Dehidrolanmaları, Çözünürlükleri ve Katı Cisim Reaksiyonları, Şirketi Mürettibiye Basımevi, İstanbul, Türkiye.
- [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.
- [50] Gülgönül, İ., Çelik, M.S., Çınar, M., 1997, Üleksit Flotasyonunda Şlamin Etki Mekanizması, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 16-17 Ekim.
- [51] Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M., Öztoprak, M., Emet Konsantratör Atık Barajındaki Arsenik ve Kolemanitleri Seçimli Olarak Kazanma İmkanları, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

EKLER

B₂O₃ Analizi

1. 0-3 mm ebadına getirilen kolemanit cevheri numunesi 105⁰ C de etüvde 2 saat süreyle kurutulur. Kurutulan numune diskli öğütücüden geçirilerek pudra haline getirilir.
2. Pudra halindeki bu numuneden tartım anındaki nemi tayin etmek için 4±1 gr numune alınır.
3. Bu numuneden 250 mililitrelik erlen için 1±0,2 gr tartılır.
4. Erlenin içine 60-70 ml saf su eklenmesiyle bulamaç yapılır.
5. Tekrar erlenin içine 10±0,5 ml derişik HCl asit ilave edilir.
6. Erlenin üzerine bir huni yerleştirildikten sonra, kaynamaya başladığı andan itibaren 10 dk kaynatılır.
7. Kaynama bittikten sonra huni yıkanarak alınır.
8. Birkaç damla metil kırmızısı damlatılır. Renk sarıya dönünceye kadar azar azar sodyum karbonat-sodyum bikarbonat karışımı eklenerek +3 eğerlikli (Al, Ti, Fe) çöktürülür.
9. Ortam nötre yakın bazik olmalıdır. Karbonat fazla eklenmiş ise asitlendirilip tekrar ayarlanır.
10. Birkaç dakika yeniden kaynatılır ve soğutulur.
11. Süzülür ve üç defa sıcak su ile yıkanır.
12. Berrak çözelti hafif asitlendirilip, CO₂ yi ortamdan atmak için kaynatılır ve soğutulur.
13. Soğuyan çözeltiye, ayarlı faktörü belirlenmiş 0,5 Normal NaOH ve 4-5 gr mannitol ilave edilerek üzerine fenolftalein eklenir.
14. Faktörlenmiş 0,5 Normal NaOH ile titre edilir.
15. Titrasyon sonundaki sarfiyat dikkate alınarak aşağıdaki formülle B₂O₃ yüzdesi hesaplanır.

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

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

1grmetil 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

1982 yılında Kütahya'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kütahya'da tamamladı. 2000 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2005 yılında lisans eğitimini tamamlamış olup yine 2005 yılında aynı üniversitede Cevher Hazırlama üzerine yüksek lisansa başladı. 2007 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.