

EMET HİSARCİK BOR TESİSİ İNCE GÖLET
ATIKLARININ FLOTASYONLA KAZANILMASI

Seçil AYZ

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2007

EMET HİSARCIK BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ FLOTASYONLA
KAZANILMASI

Seçil AYZ

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

Danışman : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

Ekim - 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Seçil AYAZ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “EMET HİSARCIK BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ FLOTASYONLA KAZANILMASI” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

05/10/2007

Üye : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

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 HİSARCİK BOR TESİSİ İNCE GÖLET ATIKLARININ FLOTASYONLA KAZANILMASI

Seçil AYZAZ

Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Hisarcık konsantratör tesisinde bor zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan artık barajında depolanan, hem çevresel sorunlara, hem de ekonomik kayıplara neden olan ince (-3 mm) artıkların zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Bunun için ilk önce malzemenin kimyasal, fiziksel ve fizikokimyasal karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada artık barajından alınan temsili numunenin %27,64 B₂O₃ içerikli olduğu aynı zamanda %0,6026 oranında As₂O₃ içerdiği tespit edilmiştir. Mineralojik incelemeler sonucunda ise numunenin esas olarak kolemanit, montmorillonit ve kalsit minerallerinden oluştuğu az olarak da, dolomit ve muskovit içerdiği belirlenmiştir.

Zenginleştirme çalışmalarında, flotasyon ile zenginleştirme yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla özellikle kolemanit ve kil minerallerinin zeta potansiyel çalışmaları; pH, kil oranı, inorganik iyonlar, flotasyon reaktiflerine 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.

Flotasyon deneyleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada arsenik flotasyonu, ikinci aşamada da kolemanit flotasyonu yapılmıştır. Tane boyutuna göre yapılan flotasyon çalışmalarında serbestleşme boyutunun -150 µm olması ve şlamın olumsuz etkisi nedeniyle -38 µm'nin atılmasıyla flotasyon boyutu -150+38 µm olarak saptanmıştır. Böylece optimum koşullarda yapılan kolemanit deneyleri sonucunda %46,28 B₂O₃ tenörlü konsantre %98,42 verim ile elde edilmiştir. Artık tenörü ise %1,38 B₂O₃'dir

Anahtar Kelimeler : Flotasyon, Hisarcık Bor Tesisi, Kolemanit.

BENEFICIATION OF FINE TAILINGS OF EMET HISARCIK BORON PLANT WASTE DAM BY FLOTATION

Seçil AYZAZ

Master of Science Thesis, 2007

Thesis Supervisor : Prof. Dr. Ahmet AYDIN

SUMMARY

In this study, the possibility to beneficiate fine tailings of Emet Hisarcık 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 27,64% B_2O_3 and 0,6026% As_2O_3 . As a result of the mineralogical examinations, it has been determined that the sample mainly consisted of colemanite, montmorillonite and calcite minerals. Also sample contains small amounts of dolomite and muscovite.

In the beneficiation study, flotation has been applied. Therefore, first the zeta potential studies of colemanite and clay minerals have been performed in accordance with pH, clay ratio, inorganic ions, flotation reagents 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 clay surface approaches to positive degree. The flotation reagents have changed to colemanite surface to negative.

Flotation tests have been performed in two stages. In the first two stages, arsenic minerals and colemanite flotations have been performed, respectively. According to particle size analysis, 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 . As the result of the colemanite flotation performed under optimum conditions, the recovery for the concentrate having 46,28% B_2O_3 has been obtained as 98,42%. Tailing grade is 1,38% B_2O_3 .

Keywords : Flotation, Hisarcık Boron Plant, Colemanite.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yoğun uğraşlar sonucunda ortaya çıkan bu tez çalışması boyunca maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, üstün bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmanın başarıyla sonuçlanmasını sağlayan değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Ahmet AYDIN'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 Yrd. Doç. Dr. Ali UÇAR'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 Müge YARGAN'a ve yine çalışmalarımda 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 Ayşe AYAZ'a ve babam Mehmet Emin AYAZ'a minnettarım...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Borun Tanımı	3
2.2. Bor Mineralleri	4
2.3. Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları	6
2.4. Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri	9
2.5. Borun Türkiye’de ve Dünya’ daki Durumu	10
2.5.1. Dünya’ da Durum	11
2.5.2. Türkiye’de Durum	12
3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLME STRATEJİLERİ	19
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri	19
3.1.1. Bor Atıklarının Uygun Bir Şekilde Değerlendirilmesinden Elde Avantajlar ...	19
3.2. Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri	19
3.3. Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması	20
3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması.....	21
3.5. Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması	21
4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ YÖNTEMLERİ	22
4.1. Boyuta Göre Zenginleştirme	22
4.2. Gravite Yöntemi ile Zenginleştirme.....	22
4.3. Manyetik Zenginleştirme	22
4.4. Dekreпитasyon Yöntemi ile Zenginleştirme	23
4.5. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme	23

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4.6. Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirme	23
4.6.1. Flotasyonun Prensipleri (İlkeleri).....	24
4.6.2. Uygulama Alanları	25
4.6.3. Avantaj ve Dezavantajları	26
4.6.4. Flotasyon Tekniği (Laboratuar Denemeleri).....	26
4.6.5. Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyeli.....	30
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
5.1. Malzeme ve Yöntem	37
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
6.1. Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyu Analizleri	43
6.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri	43
6.3. Flotasyon Deneyleri	46
6.3.1. Arsenik Flotasyonu	47
6.3.2. Kolemanit Flotasyonu	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR DİZİNİ	67
EKLER	70
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor Mineral ve Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları	7
2.2. Dünya Bor Üreticileri	12
2.3. Hisarcık Bor Konsantre Tesisi Akım Şeması	16
3.1. Bor Atıklarının Değerlendirme Yöntemleri	20
4.1. Flotasyon Hücresi	25
4.2. Elektriksel Çift Tabakanın İç kısımları	32
4.3. Temas Açısı ve Fazlar Arası Denge	35
4.4. Temas Açısı Ölçümü	36
5.1. Atık Barajı Numunesinin XRD Sonuçları	38
5.2. Malzemedeki Kilin XRD Sonuçları	38
5.3. Malzemenin Tane Boyutu Dağılımı ve Tenör Değişimi	39
5.4. Ocaktan Alınan Temiz Kolemanit ve Kil ile Yapılan Çalışmaların Akım Şeması	41
5.5. Yapılan Deneysel Çalışmaların Akım Şeması	42
6.1. Kolemanit ve Kilin Değişik pH' larda Zeta Potansiyeli	44
6.2. Kilin Değişik Oranlarda Kolemanite Eklenmesi ile Doğal pH' larda Zeta Potansiyeli ..	45
6.3. Çeşitli İyonların Konsantrasyonlarının Doğal pH' da Kolemanitin Zeta Potansiyeline Etkisi	45
6.4. Çeşitli İyonların Konsantrasyonlarının Kilin Zeta Potansiyeline Etkisi	46
6.5. Tane Boyutuna Göre Tenör-Verim Dağılımı	49
6.6. Tane Boyutuna Bağlı Tenör-Verim Grafiği	50
6.7. Gaz Yağı Miktarına Göre %As ₂ O ₃ Tenör-Verim Tablosu	52
6.8. Toplayıcı Cinsine Bağlı Tenör-Verim Grafiği	53
6.9. Toplayıcı Miktarına Bağlı Tenör-Verim Grafiği	54
6.10. Bastırıcı Cinsine Bağlı Tenör-Verim Grafiği	57
6.11. Bastırıcı Miktarına Bağlı Tenör-Verim Grafiği	59
6.12. Devir Sayısına Bağlı Tenör-Verim Grafiği	60
6.13. Katı Oranına Bağlı Tenör-Verim Grafiği	62
6.14. Zamana Bağlı Tenör-Verim Grafiği	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri	4
2.2. Önemli Bor Mineralleri	4
2.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları	6
2.4. Bor Ürünlerinin Kullanım Sektörü	8
2.5. Dünya Bor Rezervleri	11
2.6. Türkiye Bor Tuzu Rezervlerinin ve B ₂ O ₃ Bazında Rezervlerin Havzalara Dağılımı	13
5.1. Malzemenin Kimyasal Bileşimi	37
5.2. Emet Hisarcık Atık Barajındaki Kolemanitin Tane Boyutuna Göre Tenör Dağılımı	39
6.1. Tane Boyutuna Göre Arseniğinin Flotasyon Ürünleri Tenör-Verim su	48
6.2. Tane Boyutuna Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve %Verim Değerleri	50
6.3. Gaz Yağı Miktarına Göre %As ₂ O ₃ Tenör-Verim su	51
6.4. Toplayıcı Cinsine Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve %Verim Değerleri	53
6.5. Toplayıcı Miktarına Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve %Verim Değerleri	55
6.6. Bastırıcı Cinsine Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve %Verim Değerleri	57
6.7. Bastırıcı Miktarına Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve %Verim Değerleri	58
6.8. Devir Sayısına Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve %Verim Değerleri	60
6.9. Katı Oranına Bağlı Olarak %Miktar-%Tenör ve % Verim Değerleri	61
6.10. Zamana Bağlı Olarak Miktar-%Kümülatif Tenör ve %Kümülatif Verim Değerleri	63

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]. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan aleve dayanıklı malzemelere, yakıt pillerinden nükleer uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanı olan bor ürünleri günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahiptir.

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

Çalışmanın yapıldığı Emet bölgesi Kolemanit yataklarının toplam rezervi B_2O_3 bazında 232 milyon ton olup, %28,5 B_2O_3 tenörüne sahiptir. Hisarcık konsantratörü tüvenan cevher işleme kapasitesi 900.000 ton/yıl, konsantre cevher üretim kapasitesi 450.000 ton/yıl'dır [4, 5]. Kolemanit, kırılğan bir yapıya sahip olduğu için, konsantratör de ufalama devresinde oluşan ince kolemanit taneleri (-3 mm) gang mineralleri ile atık havuzunda toplanmaktadır. Atık barajının ortalama %27,64 B_2O_3 içerdiği tespit edilmiştir.

Türkiye'deki tüm tesislerde bor konsantresi 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 [4]. Atık madenciliğinin amaçları arasında; evrensel kaynakların yeniden kazanımının maksimize edilmesi, atık maddelerdeki değerli mineralin tekrar elde edilmesi ve doğal kaynakların korunması ile doğaya ve dolayısıyla insanlığa zararı olan maddelerin veya minerallerin eliminesinin sağlanmasıdır [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. Atık barajı yapımı işlemi büyük masraflar ve yeni yatırımlar gerektirmektedir. Atıkların yeniden değerlendirilmesi sayesinde bu tür olumsuzluklar ortadan kalkacak ve ekonomik açıdan büyük faydalar sağlanmış olacaktır [4]. Gelişmiş ülkelerde sanayi atığı yok denecek kadar azdır, atıklar değişik sektörlerde kullanılmaktadır.

Emet-Hisarcık 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 çalışmadaki amaç, hem çevresel zararlara neden olan, hem de ekonomik açıdan kayıplara neden olan Emet-Hisarcık zenginleştirme tesisinde ortaya çıkan ve arsenik içeren ince boyutlu atıklardan arseniği uzaklaştırdıktan sonra, flotasyon yöntemi ile temiz kolemanit konsantresi üretimini sağlamaktır. Böylece baraj atıklarının değerlendirilmesiyle çevresel sorunlar ortadan kalktığı gibi ülke ekonomisine de katkı sağlanmış olacaktır. Ayrıca 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].

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

Bor elmastan sonra ametaller arasında elektropozitifliği en yüksek olan elementtir. Oda sıcaklığında elektrik iletkenliği zayıftır fakat yüksek sıcaklıklarda çok yüksektir.

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, 13].

Çizelge 2.1. Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri [14]

Özellik	Değeri
Atom ağırlığı	10,811+0,003
Ergime noktası	2190+20 °C
Kaynama noktası	3660 °C
Isıl genleşme katsayısı(25-1050 °C arası, 1 °C için)	$5 \times 10^{-7} \times 106$
Knoop sertliği	2100-2580 HK
Mohs sertliği (elmas-15)	11
Vickers sertliği	5000 HV

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].

Çizelge 2.2. Önemli Bor Mineralleri [7, 8, 9, 12, 15, 16]

Mineral	Formülü	% B ₂ O ₃	Bulunduğu Yer
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,6	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ .+H ₂ O	51,0	Kırka, A.B.D., Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43,0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
Propertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49,6	Kestelek, Emet, A.B.D
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,8	Emet, Bigadiç, Kestelek, A.B.D
Pandermit(Priseit)	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49,8	Sultançayır, Bigadiç
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,2	Almanya
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41,4	B.D.T. (Eski S.S.C.B.)
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ .6H ₂ O	50,5	Emet

Boraks (Tinkal) : Tabiatta genellikle renksiz ve saydam olarak bulunur. Ancak içindeki bazı maddeler nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde de bulunabilir. Sertliği 2-2,5 ve özgül ağırlığı 1,7 gr/cm³'dür. B₂O₃ içeriği %36,5'dir. Tinkal suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarından üretilmektedir [14, 15].

Kernit (Razorit) : Tabiatta renksiz, saydam uzunlamasına iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95 gr/cm³ ve B₂O₃ içeriği %51'dir. Soğuk suda az çözünür. Kırka'da Na-borat kütesinin alt kısımlarındadır. Dünya'da ise Arjantin ve ABD'de bulunur [10, 12, 14, 17]

Üleksit : Tabiatta masif, karnabahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroborasit ve propretit ile birlikte teşekkül etmiştir. B₂O₃ içeriği %43'tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde, Dünya'da ise Arjantin'de bulunmaktadır [6, 12, 14, 18].

Propertit : Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ışınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. B₂O₃ 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, 14, 17].

Kolemanit : Monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5 ve özgül ağırlığı 2,42'dir. B₂O₃ içeriği %50,8'dir. Suda yavaş, HCl asitte hızla çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında, Dünya'da A.B.D.'de bulunur [6, 10, 12, 14, 16].

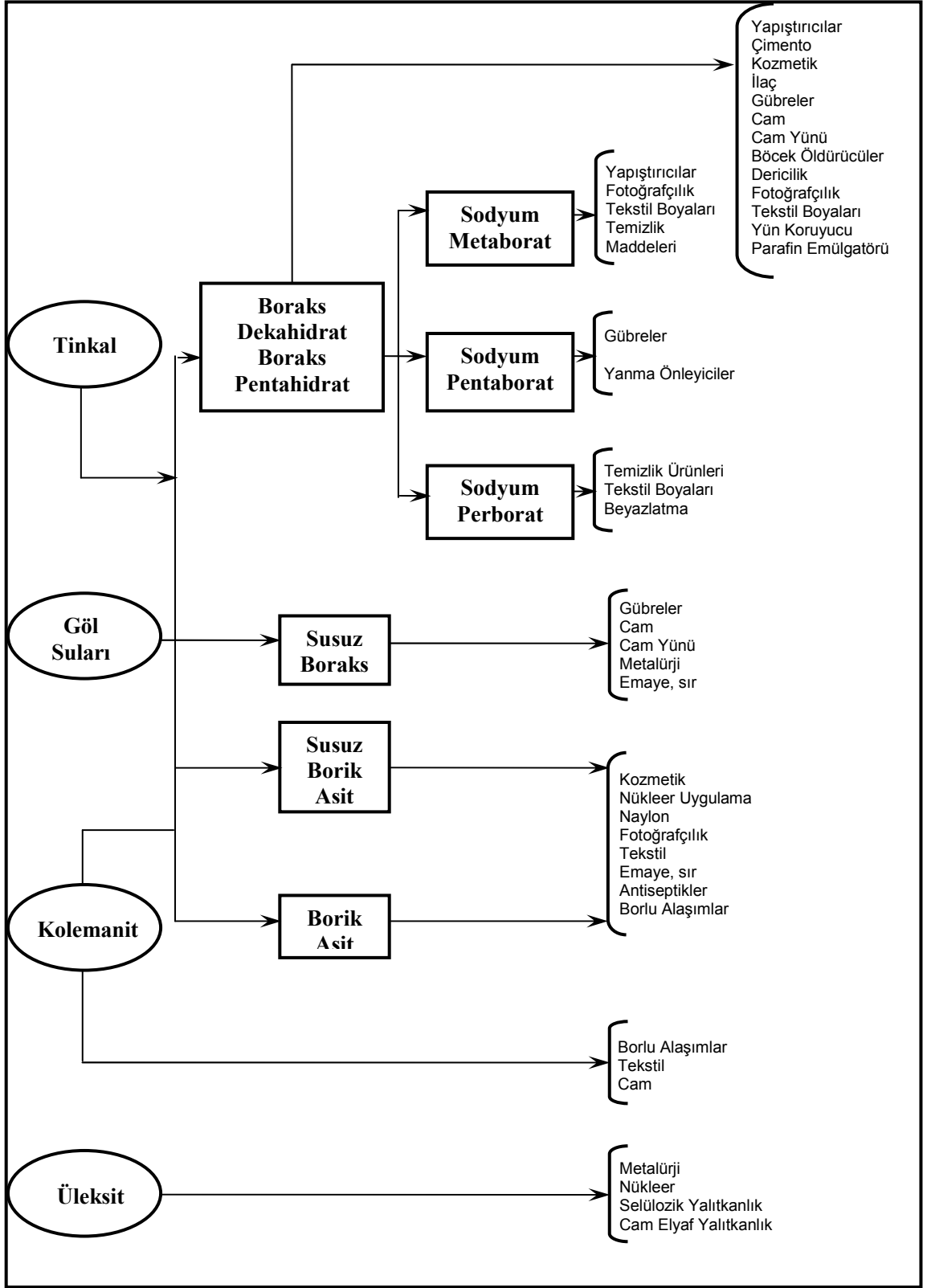
Pandermit (Priseit) : Beyaz renkte ve yekpare olarak teşekkül etmiş olup kireçtaşına benzer. Ülkemizde Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. B₂O₃ içeriği %49,8'dir [6, 14].

Hidroborasit : Bir merkezden ışınal ve iğne şeklindeki kristallerin rasgele yönelmiş ve birbirini kesen kümeler halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B₂O₃ 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, 14].

2.3. Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları

Çizelge 2.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları [7, 15, 19]

ÜRÜN	KULLANIM ALANLARI
Amorf ve Kristal Bor	Askeri Piroteknik, Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza, Metallerde Alaşım Elemanı ve Deoksidan, Bakır ve Alaşımarda Gaz Giderici, Alüminyum Dökümlerinde Tane Rafinasyonu, Yan 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 Koruyucu, Aşındırıcılar, Tesviye Aksamları, Yüzey Parlaticılar, Yüksek Aşınma Direnci ve Esnemezlik Gerektiren Diğer Alanlar.
Borazon	Yüksek Hızlı Kesiciler
Borik Asit	Antiseptikler, Göz Damlaları, Bor Alaşımaları, Nükleer, Yangın 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 Zirai Araçlar
Sodyum Bor Cevheri (Üleksit ve Probertit)	Yalıtım Cam elyafı, Borosilikat Cam
Sodyum Bor Hidrür	Özel Kimyasalların Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, Deterjan, Zirai İlaçlama, Fotoğrafçılık, Tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın Geciktirici, Gübre
Sodyum Perborat	Deterjan ve Beyazlatıcı, Tekstil
Sodyum Tetraborat (Boraks)	Lehim ve Kaynak İşlemlerinde, Metal Yüzeylerinin Temizlenmesi, Seramikler, Sırlama, Yüksek Mukavemetli Camlar vb.
Susuz Boraks	Gübre, Cam, Cam Elyafı, Metalurjik Cüruf Yapıcı, Emaye, Sır, Yangın Geciktirici
Trimetil Borat	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler



Şekil 2.1. Bor Mineral ve Bor Bileşiklerinin Kullanım Alanları [8, 11, 20, 21]

Çizelge 2.4. Bor Ürünlerinin Kullanım Sektörü [1, 7, 9, 15, 19]

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Askeri & Zırhlı Araçlar	Zırhlı Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli silah Namulunu vb.
Cam Sanayi	Borosilikat Camlar, Laboratuvar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayii	Mikro Çipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında, Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yan İletkenler, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Laser Printer tonerleri vb.
Enerji Sektörü	Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb.
Fotoğrafçılık ve Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayii	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb.
İletişim Araçlarında	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, Bahç Oltaları, Golf Sopaları, Darbe Korucuları vb.
Tarım Sektörü	Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Gübreler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabancı Otlar vb.
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları, Deri Renklendiricileri, Suni İpek Parlatma Malzemeleri vb.
Tıp	Osteopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artrit, 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, Zepinler, Balonlar vb.

2.4. 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, 13, 17, 22].

Bor madeninin kullanım miktarındaki asıl önemli artış, borun yakıt taşıyıcısı olarak kullanılmasıyla sağlanabilecektir. Bir çok 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, 13, 17].

Dünya bor piyasasında büyük gelir sağlayan uluslararası şirketler, bu gelirini Türkiye'den bor olarak yapmaktadır. Türkiye sanayileşmesini tamamlayamadığından, ne yazık ki nihai ürünün eldesini sağlayacak teknolojileri de gerçekleştirememiştir. Gelecekte ihtiyacımız olacak cevherleri, bugün, hammadde olarak ihraç ettiğimiz bir gerçektir. Hammadde ihracı ile yeterli katma değer sağlanamamaktadır. Katma değer için yurt içinde kalması için Ar-Ge' ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi gerekir [1, 2, 3, 13, 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, 13, 17, 22].

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. [1, 13, 17].

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, 13, 17].

Türkiye en büyük rezerv sahibi olarak bor dünya piyasasını ve fiyatlarını belirleyecek konumda olma imkanına 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, 7, 11, 13, 17, 22].

2.5. 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, 14, 19].

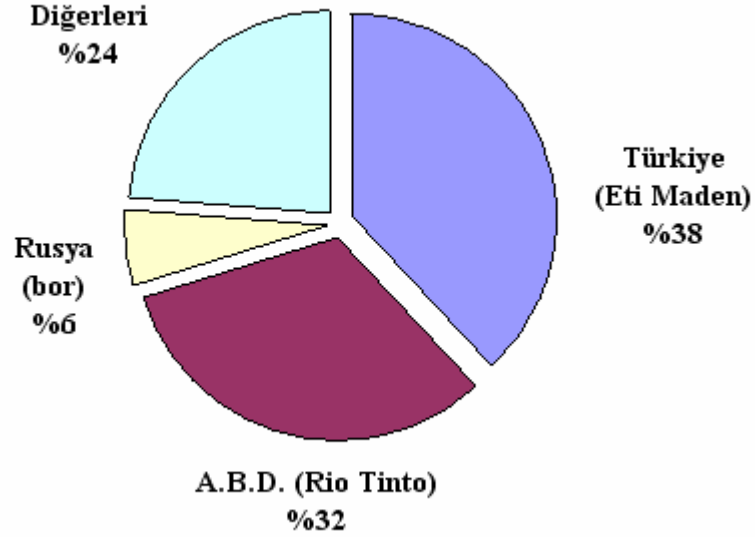
Dünyadaki önemli bor yatakları ise Türkiye, ABD ve Rusya 'dır. Türkiye'nin bor madenlerinin rezerv ömrü 412 yıl iken, dünyanın ikinci büyük rezerv ülkesi Rusya'nın bor rezervleri 85 ve ABD ise 76 yıllık ömre sahiptir. Türkiye rezervlerinin %37'si Bigadiç, %34'ü Emet, %28'i Kırka ve %1'i Kestelek bölgesinde bulunmaktadır [1, 11, 15].

Çizelge 2.5. Dünya Bor Rezervleri (Bin-Ton B₂O₃) [6, 8, 14]

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
Sırbistan	3.000	0	3.000	0,3
Toplam(Bin Ton)	369.000	807.000	1.176.000	100,00

2.5.1. 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, 14, 17]

2.5.2. Türkiye'de Durum

2.5.2.1 Ürünün Türkiye'de Bulunış Şekilleri ve Rezervleri

Türkiye'de devlete ait olan Eti Holding A.Ş. aracılığı ile bor madenleri, Burhaniye'den Savaştepe'ye, Susurluk'tan Dursunbey'e, Bigadiç'ten Sultançayı'na, Bursa Kestelek'ten Sındırgı'ya, Kütahya Emet'ten Eskişehir Kırka'ya kadar 1 milyon 700 bin hektarlık bir bor maden rezervleri alanı kamusallaştırılmış durumdadır. Bu alandaki bor rezervleri yaklaşık 2,5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin ülkesi Türkiye'dir. Türkiye bor madenlerinin ihracatının %50'sini hammadde halinde %50'sini işlenmiş olarak satmaktadır [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, borazan, 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 2.6.). Türkiye'nin ekonomik değer ifade eden borat yatakları hakkında daha geniş bilgi aşağıda verilmiştir [6].

Çizelge 2.6.Türkiye Bor Tuzu Rezervlerinin ve B₂O₃ Bazında Rezervlerin Havzalara Dağılımı [7, 9, 19]

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

2.5.2.1.1. Kırka Borat Yatakları ve Zenginleştirilmesi

Eskişehir ili sınırları içerisindedir. 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 mercleklerinin 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 yataкта tinkalkonit, tünelit (SrB₆.10H₂O), kurnakovit, inyoit, meyerhofferit ve hidroborasit mineralleri de oluşmuştur. Boraks konsantrasyonunun en yüksek olduğu yer, yatağın merkezi olan Sarıkaya'dır. Boraks, 1mm-1cm iriliğinde sübhedral ve anhedral kristaller halindedir. Yatağın kenar kesimlerinde ana mineraller

üleksittir ve genellikle lifli, masif yapıdadır. Kolemanit, yatağın alt ve üst kısımlarında yumrular ve "geod"lar halinde bulunur. Yatakta birbirine tedricen geçiş gösteren ve boraks kristalleri ile killerin yer değiştirmesine göre sınıflandırılan 3 tip cevhere rastlanmaktadır; bantlı cevher, bileşik cevher (yeşilimsi, sarımsı ve kahverenginin değişik tonlarında), camsı cevher (saydam, beyaz renkte olup tuz görünümündedir). Kırka boraks yatağı dünyanın en büyük rezervine sahip olup, toplam rezerv 520 milyon ton dolayındadır. Yatağın ortalama B_2O_3 tenörü %24,7'dir.

Kırka bölgesinde bulunan doğal boraks (Tinkal) açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Üzerindeki örtü tabakası delme, patlatma ve ekskavatörlerle kaldırılmakta sonra kamyonlarla konsantratör tesisine nakledilmektedir. Yılda ortalama 1.150.000 ton tüvenan cevher işleme ve %32-33 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 eritilerek yıkanması için yıkama hücrelerine verilir. Buradan çıkan malzeme +1mm'lik sulu elekten geçirilerek elek üstü santrifüj su arındırıcılardan geçirilerek stoklanır. +6 mm'lik malzeme tesislerdeki merdaneli ve paletli kırıcılarda kırılarak aynı işlemlerden geçirilir [10, 23].

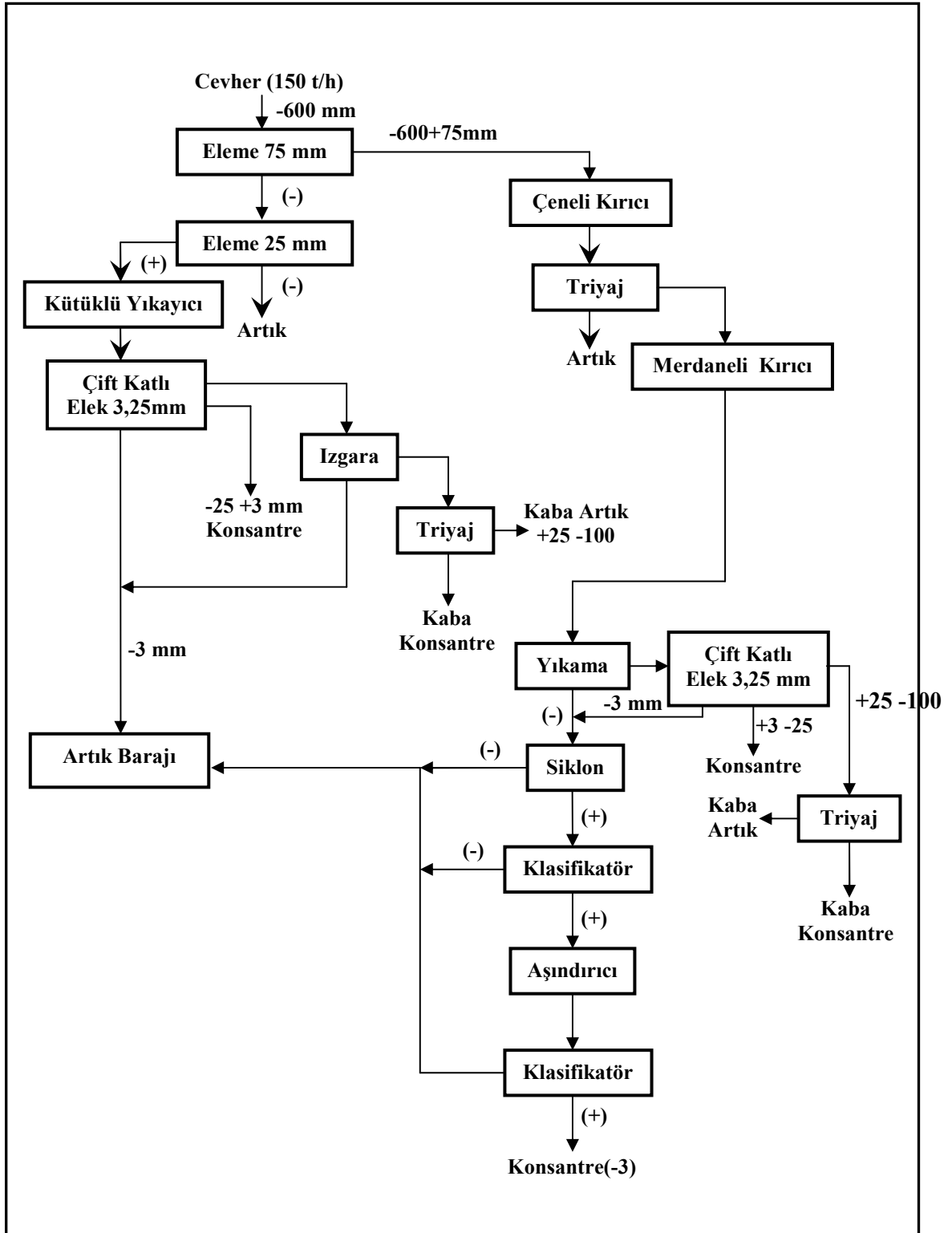
2.5.2.1.2. Emet Borat Yatakları ve Zenginleştirilmesi

Kütahya'nın yaklaşık 60 km batısında yer alan Emet yöresinde Etibank tarafından işletilen Hisarcık, Hamamköy, Göktepe ve Espey ocakları vardır. Bölgenin toplam rezervi yaklaşık 40 milyon ton %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.

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

Üretilen tüvenan cevheri zenginleştirmek amacı ile açık işletmenin bulunduğu Hisarcık bölgesine kurulan konsantratör de yapılan başlıca işlemler kırma, klasifikasyon ve yıkamadan oluşmaktadır. Elle ayıklama, yıkama-dağıtma sonrasında boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Hisarcık'daki açık işletmeden elde edilen tüvenan tenörü yaklaşık %29 B₂O₃ olup, konsantratör tesisi çıkış tenörü %41 dolayında gerçekleşmektedir [10, 15, 23].



Şekil 2.3. Hisarcık Bor Konsantre Tesisi Akım Şeması [24]

2.5.2.1.2.1. Hisarcık Konsantratörü Atık Barajı Hakkında Genel Bilgi

Atık barajı, Hisarcık ilçesine 3 km uzaklıkta, Koca Çay ve Emet-Gediz karayolu kenarında bulunmaktadır. 1973 yılında devreye alınan Hisarcık Konsantratör Tesisinin atıkları bu tarihten itibaren bu atık barajına bırakılmaya başlanmıştır. Atık barajının gövde dolgusunu kireçtaşı ve kalın kil tabakası oluşturmaktadır. Barajın iç kısmı ise ince bir kil tabakası ile kaplanmıştır. Atık barajının yüzey alanı 92.750 m² olup, iç hacmi yaklaşık 1.500.000 m³'dür. Barajda yıllarca devam eden çalışma süresi boyunca herhangi bir sızıntı meydana gelmemiş olup, herhangi bir çevresel zarara da sebep olmamıştır. Fakat Hisarcık Konsantratör Tesisinin mevcut haliyle üretim yapması durumunda yeni bir atık barajına ihtiyaç duyulmuş ve bu atık barajının birkaç yüz metre ilerisine yeni bir atık barajı daha yapılmıştır. Bu yüzden eski atık barajlarının değerlendirilerek ekonomiye kazanılması ve mevcut atık barajlarına olanak sağlaması gerekmektedir [4].

2.5.2.1.3. Bigadiç Borat Yatakları ve Zenginleştirilmesi

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

Kolemanit : Toplam 58 milyon ton, ortalama %30 B₂O₃

Üleksit : Toplam 11 milyon ton, ortalama %30 B₂O₃

Bigadiç'te halen bir adet kapalı ve üç adet açık ocakta tüvenan kolemanit ve üleksit cevherleri üretilmektedir. Çıkarılan cevherler; konsantratör tesisinde zenginleştirme işlemine tabi tutularak satılabilir ürün haline getirilmektedir. Tesiste yapılan zenginleştirme; cevheri su ile yıkayarak kil minerallerinden ayırma ve ardından da sınıflandırma işleminden ibaret olup üç ayrı boyutta konsantre ürün elde edilmektedir. Elle ayıklama, tamburla aktararak dağıtma, boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme yapılır. Tesise beslenen ortalama tüvenan cevher tenörü %30-32 B₂O₃ olup, elde edilen kaba konsantre tenörü %42 B₂O₃, ince konsantre tenörü %36 B₂O₃ ve ara ürün tenörü %29 B₂O₃ civarında gerçekleşmektedir. Artık ince ürün ise %16 B₂O₃ içermektedir. Tüvenanın üleksit olması halinde ise %30 B₂O₃'lük cevherden elde edilen kaba konsantrenin tenörü %38 B₂O₃, ince konsantre tenörü ise %26 B₂O₃ olarak gerçekleşmektedir [6, 10, 23].

2.5.2.1.4. Kestelek Kolemanit Yatakları ve Zenginleştirilmesi

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

Başlıca bor minerali kolemanit olup, hidroborasit, propertit, meyerhofferit ve üleksit yan mineraller olarak görülür. Yatağın ortalama %29,4 B₂O₃ tenörlü toplam 7 milyon ton rezervi vardır [10, 23]. Konsantratör tesisi kırma, ıslatma, yıkama, eleme ve triyaj ünitelerinden oluşmakta olup konsantratör de işlenen tüvenan cevher kapasitesi 200.000 ton/yıl ve elde edilen konsantre ise 90.000 ton/yıl'dır [6].

3. BOR ATIKLARI VE DEĞERLENDİRİLME STRATEJİLERİ

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 atılmasında 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. Atıkların atılmasında standartlar, yönetmelikler ve ilgili kanunlarla getirilen sınırlamalar mevcuttur [6, 25, 26].

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 miktarı azalarak yer altı ve yer üstü sularını kirletmesi önlenecektir.
- Atıkların atıldığı göletlerin kapladıkları alanlar azalacak [6, 25, 26].

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, 25, 26]

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, dekrepatasyon) ve briketleme yöntemleri uygulanmaktadır. Ayrıca son zamanlarda ses ötesi dalgaların kil uzaklaştırmadaki etkinliği ve atıklardaki borun doğrudan çözme helezonu ile kazanımı araştırılmış ve önemli neticeler alınmıştır. Bor konsantratör tesislerinde uygulanan elle ayıklama, mekanik dağıtma+sınıflandırma yöntemleri ancak iri boyutlara uygulanabilmekte, ince boyuttaki (-0.5 mm) %15-20 B₂O₃ tenörlü cevherler ise atık barajına gönderilmektedir. Atıklardaki killerin içinde ferromanyetik ve para manyetik minerallerin bulunması durumunda sabit mıknatıslı yüksek olan şiddetli manyetik ayırıcılar etkili bir ayırım yapabilmektedir. Aytekin ve Badruk Amerikan Borate Corporation şirketinin kolemanit ve üleksit zenginleştirmede flotasyon ve kalsinasyon yöntemlerini kullandığını bildirmiştir [6, 25, 26].

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

patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri kalsinasyon esnasında patlayarak ince boyutlara geçerken kil mineralleri agrega haline gelmektedir. Kalsinasyon yönteminin yaş yöntemlere göre daha verimli, ekonomik ve kolay olduğu yanında çevre kirliliği meydana getirmediği belirtilmektedir. Aytekin ve Badruk konsantre, düşük tenörlü cevher ve atıkların kalsinasyon ile zenginleştirilmesinin Tübitak tarafından proje kapsamında çalışıldığı ve hatta Etibank'ın Banaz'da pilot çapta bir tesiste denemeler yaptığını bildirmektedir. Araştırmalar bor atıkları içindeki borun kalsinasyon yöntemi ile kazanılabileceğini göstermiştir. Bor minerallerinin kalsinasyon ile zenginleştirilmesi hakkında ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. İster ham cevher olsun ister konsantre olsun boratların çok ince boyutta (-0,5 mm) satışının mümkün olmaması, bunların briketleme ile boyut kazandırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu amaca yönelik olarak çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan çıkan ortak sonuç, tanelerin suyla veya borik asitle nemlendirilmesi ile istenen özellikte biriket elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür [6, 21, 26].

3.4. Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması

Bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, bu atıkların seramik sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killerin tuğla sanayinde değerlendirmesi ile hem tuğla sanayinde ek hammadde kaynağı sağlamak hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler en aza indirilmektedir. Atık killer seramik sanayinde frit, sır ve masse yapımında da kullanılabilir. Atık killer inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir [6, 25, 26].

3.5. Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması

Tesislerde zenginleştirme sonucu ortaya çıkan ince artıklar atık barajına verilmeden önce bir tükine beslenip etkili bir çökelme ile suyu tekrar kazandıktan sonra ortaya çıkan koyu artıklar artık barajına verilebilir veya en uygun zenginleştirme yöntemiyle borları kazanmak gerekir.

4. BOR CEVHERLERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ 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 karışımdan ayrılırsa geride yararlı mineral konsantresi ve kilden ibaret artık elde edilir. Kilin yıkanması işlemi için kullanılan başlıca aygıtlar kütüklü yıkayıcı, pervaneli yıkayıcı ve aktarma tamburlarıdır. Karıştırma süresi, karıştırma hızı, yıkama çözeltisinin süspansiyon yoğunluğu, katı/sıvı oranı ve tane boyutu bu zenginleştirme işleminde etkili olan parametrelerdir [10].

4.2. Gravite Yöntemi ile 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 tercih edilebilir [10, 27].

4.3. Manyetik Ayırma ile 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 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 tabi tutulduğunda kristal suyunu kaybederek ilk önce şişme özelliği gösterirken zayıf bir yapıya dönüştüğünden, kırılma yapıda olup, gang minerali kilden eleme yöntemi 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, 23, 28].

4.5. Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirme

Mineraller arası elektrik iletkenlik farkına dayanan, elektrostatik kuvvetlerin aktif olduğu bu yöntemde, minerallerin yüksek gerilim altındaki statik bir elektrik yükü kazanma, bu yükü bir süre kaybetmeme veya tamamen iletken kaybetme özelliklerinden yararlanılmaktadır [10, 23, 28].

4.6. Flotasyon Yöntemi ile Zenginleştirme

Cevher zenginleştirmenin amacı, değerli mineralleri birbirinden ve gang minerallerinden uygun zenginleştirme yöntemleriyle endüstrinin isteği doğrultusunda ekonomik olarak ayırmaktır. Bu yöntemlerden biride flotasyondur [29].

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 [29].

Flotasyon yönteminin 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 [29].

Bu aletlerde aranacak temel özellikler şunlardır:

1. Pülp içindeki katı tanelerin homojen karışımını sağlayıp ve süspansiyon halinde tutabilmek,

2. Pülp içine yeterli havayı verebilmek.

Minerallerin fiziko-kimyasal yüzey özellikleri farklılıklarından yararlanan bu proses, oldukça karmaşık (kompleks) bir işlemdir. Diğer zenginleştirme yöntemleri katı taneciklerin kütlelerinden ve hacminden yararlanırken flotasyon katının yüzey özelliklerinden yararlanır. Flotasyon işleminin başarısı çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik faktörlere bağlıdır ve bu faktörler arası etkileşim kaçınılmazdır [29].

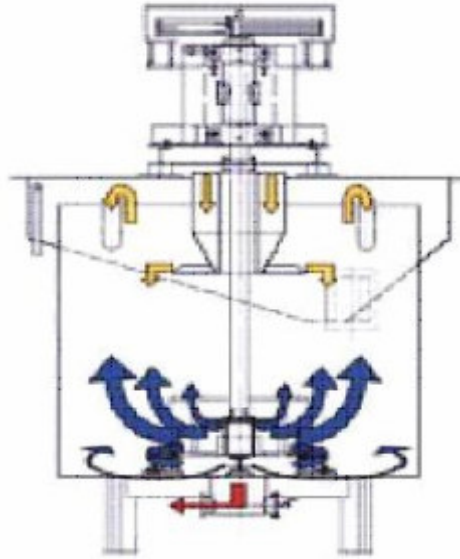
4.6.1. Flotasyonun Prensipleri (İlkeleri)

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),

- Yüzmesi istenen 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 pülp ile beraber alınması [29].



Şekil 4.1. Flotasyon hücresi

4.6.2. Uygulama Alanları

Flotasyon cevher zenginleştirmede kullanıldığı gibi diğer endüstri dallarında da kullanılır. Cevher zenginleştirmede, metalik, metalik olmayan (kuvars, feldspat, barit, kalsit vs. endüstriyel minerallerin ve katı yakıtların (kömür) zenginleştirilmesinde kullanılır. Atık kağıtlardan baskı mürekkebinin ayrılması, bazı endüstriyel atıkların yeniden kazanımı (kok

üretimi artığı olan naftalinin, filmlerden gümüşün ve atık yağlar vs.) amacıyla diğer endüstri dallarında da kullanılmaktadır [29].

4.6.3. Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

- Diğer zenginleştirme yöntemleri ile zenginleştirilmesi zor ve olanaksız ince boyutta serbestleşen minerallerin zenginleşmesine imkan sağlar.

- Toplam gidere göre düşük kapital ile ekonomik ürün elde edilir.

- Elde edilen konsantre ürünün kalitesi diğer yöntemlere göre yüksektir [29].

Dezavantajları

- Üretilen ürünün birim ağırlığına göre enerji tüketimi oldukça yüksektir.

- Reaktif kullanımı nedeniyle;

- Maliyet artar (reaktifler pahalı ve dışa bağımlı),

- Çevre kirliliğine sebep olabilir (önlem alınmaz ise),

- Çevre sağlığına sebep olan reaktifleri zararsız hale getirme problemi olabilir.

- Su tüketimi fazladır.

- Dizayn konusunda ve parametrelerdeki değişikliklere karşı hassastır.

- Zamana bağlı olarak minerallerin oksitlenmesi olumsuz etki yaratır [29].

4.6.4. Flotasyon Yöntemi (Laboratuvar Denemeleri)

Herhangi bir cevhere flotasyon yöntemi uygulamadan önce cevherin mineralojik analizi, serbestleşme derecesi, hangi reaktiflerin kullanılacağı, reaktiflerin mineral yüzeylerine bağlanabilmesi için gerekli zamanı (kıvamlandırma zamanı) ve pülp yoğunluğu laboratuvarda saptanır. Laboratuvarda yapılacak deneylerde optimum boyutta (uygun serbestleşme derecesi) öğütülmüş ve cevheri temsil eden taze yüzeyli örnek kullanılır. Öğütme işlemi bilyalı değirmenlerde yada çubuklu değirmenlerde yapılır. En uygun öğütme boyutunu belirleyebilmek amacıyla farklı boyutlarda öğütülmüş örnekler üzerinde deneylerin yapılması idealdir.

Laboratuarda yapılan denemelerde en çok kullanılan alet 1, 2 ve 4 litrelik hacme sahip flotasyon hücreleridir. Hücre içinde koşullandırma işlemi yapılır ve sonra hava verilir. Yüzen ve köpük zonunda (hücrenin üst kısmında) toplanan mineral taneleri köpükle beraber hücrenin üst kısmından sıyrılarak alınır. Genel olarak farklı zaman dilimlerinde olmak üzere 4 veya 5 adet konsantre alınır (0-1 dk., 1-2 dk., 2-4 dk., 4-8 dk., 8-16 dk.). Alınan konsantreler kurutulur ve tartılır, kimyasal analizleri yapılır. Hücre içinde kalan artık alınır, kurutulur ve tartılır. Ayrıca kimyasal analizi de yapılır. İlk etapta alınan konsantre tenör açısından en zengin, en son alınan konsantre tenör açısından en fakir olanıdır [29].

Borla ilgili yapılmış flotasyon çalışmaları ;

Literatürde, kolemanit ve diğer bor minerallerinin flotasyonu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelediğinde, kolemanitin değişik flotasyon reaktiflerinin kullanılmasıyla doğrudan yüzdürülebileceği görülmüştür.

Özkan ve Veasey, 1994, şlam kaplamanın kolemanit flotasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılmış olan çalışmada tane boyutunu -210 mikron olarak almışlar, -20 mikronu şlam olarak atmışlardır. %20 katı oranında yapmış oldukları bu deneylerde pH 9,3' dür. 1lt'lik flotasyon hücresinde $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ de, 1350 dev/dk pervane hızında 5dk'da flotasyonu gerçekleştirmişlerdir. Toplayıcı olarak oleik asit, AP-825, CA-927 kullanmışlardır. Hazırlanan bu toplayıcılar %5'likdir. Deneylerde 100 gr/ton toplayıcı kullanmışlardır. Köpürtücü olarak ise AF-70 (Aerofrother) kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda %35 B_2O_3 tenörlü kolemanitten %80 verim elde etmişlerdir [30].

Çelik, Elma ve Müdüroğlu ultrasonik ortamın, şlam kaplı kolemanit flotasyonuna etkisini araştırmışlardır. Yapılmış olan çalışmada tane boyutunu -150 +75 mikron olarak kabul etmişler, -38 mikronu da zeta potansiyeli ölçümlerinde kullanmışlardır. 150 ml kolon hücrede yapılan çalışmada kıvamlandırma zamanını 10 dk, flotasyon zamanını ise 1 dk olarak belirlemişlerdir. Zeta potansiyeli ölçümleri sonucunda yüzey yükünü sıfır olarak bulmuşlardır. Sıfır yük noktası (İEP) 10,5'dur. Oda sıcaklığında yapılan bu çalışmada toplayıcı olarak %98 safılıkta SDS (sodyum dodesil sülfat), canlandırıcı olarak Ca iyonları kullanmışlar ve %90 verim elde etmişlerdir [31].

Özkan, Alp ve Veasey tarafından 1993 yılında Emet kolemanit cevherini flotasyonla kazanmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada tane boyutunu -210 mikron, katı oranını %20 olarak kabul etmişlerdir. Doğal pH'da yapmış oldukları bu çalışmada Denver flotasyon hücresi kullanmışlar, sıcaklığı $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ve devri 1350 dev/dk olarak ayarlamışlardır.

Toplayıcı olarak 1500 gr/ton R-825, köpürtücü olarak 100 gr/ton AF-70 kullanmışlardır. %40 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren kolemanit cevherini %48 B₂O₃ tenörü ve %90 verimle kazanmışlardır [32].

Bulut, Ören, Acarkan, Bakan, 2004, tinkal atığını flotasyonla kazanmaya yönelik çalışmalar yapmışlardır. Buna göre 0,3 mm tane boyutundaki tinkali (-38 mikron şlam olarak atılmış) doğal pH'da (9,3), Denver flotasyon hücresinde, 5dk kıvamlandırmışlar ve 5 dk' da flotasyonu tamamlamışlardır. Toplayıcı olarak DAH (dodesil amin hidroklorat), SDS (500, 1000, 2000 gr/ton) ve R-825, R-801 (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 R-801 kullanmışlardır. %20-25 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona giren tinkali %34,85-35,93 B₂O₃ konsantre tenörü ile ve %75,05-80,70 verim ile kazanmışlardır [33].

Gül, Kaytaz ve Önal, 2005, kolemanit atığını aşındırma ve flotasyon ile kazanmaya yönelik yapmış oldukları çalışmada mineral olarak kolemanit ve üleksiti kullanmışlardır. Flotasyon hücresinde yapmış oldukları bu deneylerde tane boyutu -0,074 mm, katı oranı %15, devir 1200 dev/dk ve pH 10 olarak kabul etmişler ve pH ayarlayıcı olarak da NaOH kullanmışlardır. 5dk kıvamlandırılan kolemanit ve üleksitin flotasyonunu 3dk'da tamamlamışlardır. Toplayıcı olarak R-801, R-825, 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 kullanmışlardır. %20 B₂O₃ tenörü ile flotasyona beslenmiş olan kolemanit atığını %44,50 B₂O₃ tenör ve %68,40 verim ile flotasyondan konsantre olarak almışlardır [34].

Hançer, Kaytaz ve Çelik, 1993, flotasyon çalışmalarında saf boraks numunesini -250 +100 mikron tane boyutuna getirmişlerdir. Doğal pH (9,3)'da yapmış oldukları bu çalışmada pH ayarlayıcı olarak NaOH ve HCL kullanılmıştır. Deneyler mikroflotasyon hücresinde 10 dk flotasyon zamanında, 20°C sıcaklıkta yapılmıştır. Toplayıcı olarak SDS-DAH kullanılmış ve deneyler sonucunda %65 verim sağlanmıştır [35].

Çelik, Hançer ve Miller, 2001 yılında bor minerallerinin flotasyon kimyasını incelemiştir. Yapılmış olan çalışmada -150 +74 mikron tane boyutuna getirilen saf kolemanit-üleksit ve boraks kullanılmıştır. pH 10,5 olarak ayarlanmış ve 150 ml'lik kolon hücre kullanılmıştır. Zeta potansiyeli sıfır yük noktası olarak belirlenmiş ve İEP noktası 10,5 olarak bulunmuştur. 22°C'de yapılan bu çalışmada toplayıcı cinsi olarak SDS ve DAH kullanılmıştır [36].

Alp ve Özkan'ın, 2003, Emet kolemanit atıkları üzerine yaptıkları çalışmada tane boyutu -106 +20 mikron olarak belirlenmiş olup %20 katı oranı uygun görülmüştür. 5 dk kıvamlandırılıp, 10 dk flotasyon yapılmıştır. $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, 1000 dev/dk pervane hızında yapılmış olan bu deneyde toplayıcı cinsi olarak AP-825 (1500 gr/ton), OMC-520, OMC-111, CA-927 ve köpürtücü cinsi olarak ise AF-70 (100 gr/ton) kullanılmıştır. %15-25 B_2O_3 besleme tenörü ile flotasyona beslenen kolemanit %48 B_2O_3 konsantre tenörü ve %75 verim ile elde edilmiştir.

Koca, Savaş ve Koca, 2003 yılında kolemanitten realgarın flotasyonla kazanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Buna göre yapılan çalışmada kolemanitin tane boyutu -150 +75 mikron olarak belirlenmiştir. NaOH-HCL pH ayarlayıcıları ile pH 9 olarak ayarlanmıştır. %3 katı oranında yapılan bu deneylerde mikroflotasyon hücresi kullanılmıştır. 10 dk kıvamlandırıldıktan sonra 60 dk da flotasyon tamamlanmıştır. Toplayıcı cinsi olarak R-825, R-840, Na-Oleat, Armac-T, KAX (potasyum amin ksantat), KEX (potasyum etil ksantat), canlandırıcı olarak $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,5kg/ton) ve köpürtücü olarak ise MIBC kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %32,45 B_2O_3 konsantre tenörü %88 verim sağlanmıştır [37].

Yılmaz, 2002, tarafından yapılan bor üretimi ve zenginleştirme deneylerinde mineral olarak -25 mm boyutunda tinkal kullanılmıştır. %50 katı oranında yapılan bu deneylerde pH 9-10 olarak ayarlanmış ve 10 dk kıvamlandırılan tinkalin flotasyon zamanı yine 10 dk'dır. 1500 dev/dk pervane hızında yapılan bu deneyde toplayıcı cinsi olarak R-825, R-801 (1000 gr/ton), bastırıcı cinsi olarak nişasta, sodyum silikat (2000 gr/ton) ve Qebrocho, canlandırıcı cinsi olarak baryum klorür ve köpürtücü olarak ise çam yağı (200 gr/ton), Dawfroth-250, Flotigal-CS kullanılmıştır. %22,81 B_2O_3 besleme tenörü ile flotasyona giren tinkal %30,85 B_2O_3 konsantre tenörü ve %56,78 verim ile kazanılmıştır [18].

Özkan ve Acar, 2003, tarafından yapılan çalışmada kolemanitin tane boyutu -210 +20 mikron olarak belirlenmiştir. %25 katı oranında, doğal pH, oda sıcaklığında ve 1200 dev/dk' da yapılan bu deneylerde Denver flotasyon hücresi kullanılmıştır. Toplayıcı cinsi olarak CA-927 (1500gr/ton) ve R-825 (2000gr/ton) ve köpürtücü cinsi olarak AF-70 (100 gr/ton) kullanılmıştır. Flotasyon sonunda çıkan konsantrelerin tenörü %40-44 B_2O_3 olarak hesaplanmıştır [38].

Diğer bir çalışmada kolemanitin tane boyutu -147 mikron olarak belirlenmiştir. -53 mikron şlam olarak atılmıştır. Toplayıcı cinsi olarak AP-825 (1,6 kg/ton), AP-710, AP-801, (100 gr/ton) ve köpürtücü cinsi olarak çam yağı (400 gr/ton) ve gaz yağı (50 gr/ton) kullanılmıştır. %27 B_2O_3 besleme tenörü ile giren kolemanitten %45,70 B_2O_3 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. 10 dk kıvamlandırılmış ve 10 dk'da flotasyon gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı cinsi olarak R-285, R-801 (1000 gr/ton), bastırıcı cinsi olarak nişasta, Qebrocho, sodyum silikat (2000 gr/ton), canlandırıcı cinsi olarak baryum klorür (200 gr/ton) ve köpürtücü cinsi 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 cinsi olarak oleik asit (100 gr/ton), bastırıcı cinsi olarak nişasta, Na₂SiO₃ (500 gr/ton) ve köpürtücü cinsi olarak gazyağı (400 gr/ton) ve çam yağı (50 gr/ton) kullanılmıştır. %18-34 B₂O₃ tenörü ile beslenen hidroborasitten %81-92 verim sağlanmıştır.

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 cinsi olarak R-825, R-801 (1750 gr/ton), R-830, R-845, naftenik asit, bastırıcı cinsi olarak nişasta, dekstrin (100 gr/ton), tannik asit (400 gr/ton), sodyum silikat ve canlandırıcı cinsi olarak baryum klorür (200 gr/ton) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %42-43 B₂O₃ konsantre tenörü ve %65-68 verim sağlanmıştır.

4.6.5. Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyeli

Mineraller su içerisine atıldığında çeşitli yollarla yüzeylerinde yükler oluşur. Bu sayede taneler birbirlerini iter yada çekerler. Mesela negatif yüklü bir tane sıvı içerisinde pozitif iyonları kendine çeker. Sıvı içerisinde normalde katyon ve anyonlar bir denge halindedir. Tane yüzeyinde katyonlar en yoğun şekilde yer alırlar. Tane yüzeyinden itibaren bir molekül kalınlığındaki tabakaya “**stern tabakası**” adı verilir. Bu noktadan başlayıp anyon ve katyonları dengede olduğu noktaya kadar olan tabakaya “**yaygın tabaka**” adı verilir. Her ikisinin birden oluşturduğu sisteme ise “**elektriksel çift tabaka**” denir [16]. Şekil 4.2’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 [39].

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 [29].

Zeta potansiyeli aşağıdaki yöntemlerden birisi ile kontrol altında tutulabilir.

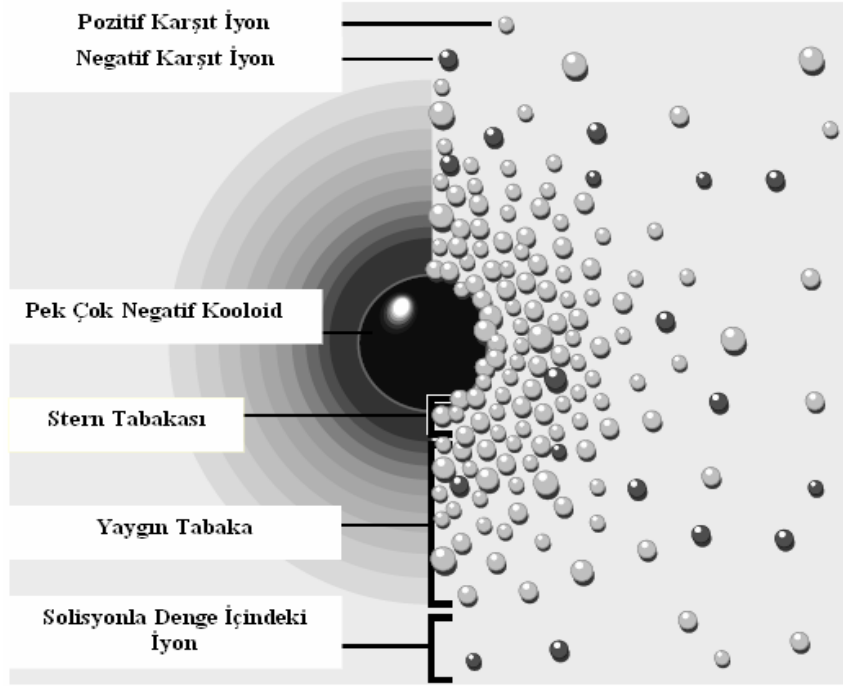
- Farklı iyonların konsantrasyonları ve değerliklerinin etkisi, zeta potansiyel, elektrolit konsantrasyonu (elektriksel çift tabaka kalınlığının azalmasından) ve eklenen katyonların değerliliği arttıkça düşer.

- Potansiyel belirleyen iyonlar; zeta potansiyel doğrudan doğruya yüzey elektrik yüküne ve buda potansiyel belirleyen iyonların miktarına bağlı olduğundan, bu iyonların ilavesiyle zeta potansiyelin hem işareti hem de yükü kolaylıkla değiştirebilir.

- Aynı değerlikli iyonların atomik çapı, aynı değerliliğe sahip iyonlarda atomik yarıçap arttıkça zeta potansiyeli düşer.

- Hidrojen iyonu, yüksek değerlikli iyonlar ve kompleks organik katyonlar; bu iyonlar kuvvetli olarak zeta potansiyeli azaltır ve hatta çok düşük konsantrasyonlarda bile işaretini değiştirir.

- Yüzey aktif maddeler, bunların zeta potansiyele etkisi çok spesifiktir [29].



Şekil 4.2. Elektriksel Çift Tabakanın İç kısımları [40]

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 Flotasyonda önemlidir [29].

4.6.5.1. 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 elektroosmoz 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 [39].

4.6.5.2. 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.

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.

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].

Zeta potansiyeli ilgili yapılmış çalışmalar ;

Koca ve Savaş, 2003, kolemanit ve realgar üzerinde elektrokinetik çalışmalar yapmışlardır. R-825, R-840, Sodyum oleat, KAX, KEX kullanılarak 10 dk karıştırma süresince yaptıkları bu çalışmada sıfır yük noktası tespit edilememiştir [37].

Çelik, Elma ve Müdüroğlu, Bigadiç bölgesi kolemanitleri ile ultrasonik ortamın şlam kaplı kolemanit flotasyonuna etkisini incelemişlerdir. -38 mikron temiz kolemanit ile zeta potansiyeli ölçümleri yapılmışlardır. Sıfır yük noktasını pH=10,5’da ölçtükleri saptanmıştır [31].

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 [36].

4.6.5.3. 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;

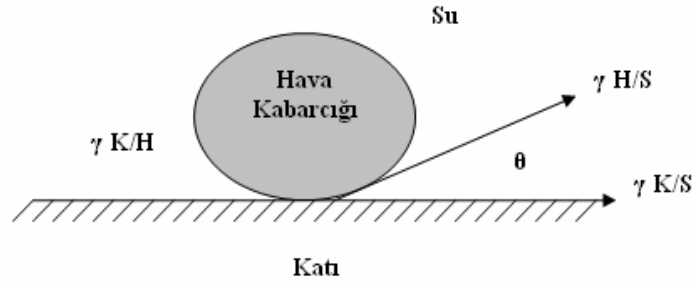
- Katı / hava
- Katı / su
- Sıvı / hava

Bu üç fazın teması basit olarak şekil 4.3’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi üç fazın dengede olabilmesi fazlar arasındaki arayüzey gerilimine (enerji, γ) bağlıdır [29].

Aşağıdaki şekle göre; fazlar arası denge şu şekilde sağlanır:

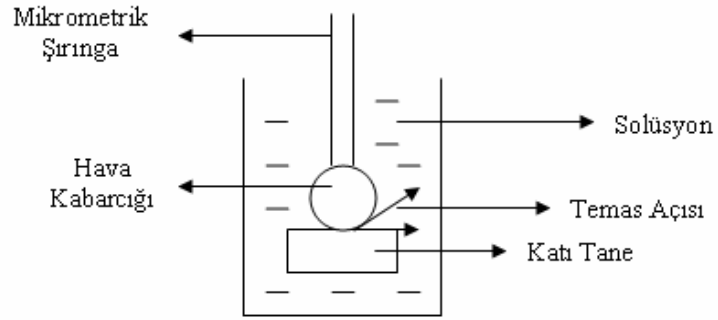
$$\gamma_{k/h} = \gamma_{k/s} + \gamma_{h/s} \cdot \cos \theta$$

θ : Temas açısı, katı ile sıvı – hava arayüzeyi arasındaki açıdır [29].



Şekil 4.3. Temas açısı ve fazlar arası denge

Temas açısının ölçülmesi : Temas açısı laboratuarda ölçülür. Projeksiyon ve fotografik yöntemle ölçülür. Katı tanenin yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde hazırlanır veya düz yüzeylisi alınır. Önceden pH’sı ve ortam koşulları belirlenmiş solüsyon (su+reaktif) hazırlanır. Bu solüsyon beher içine konur. Daha sonra katı tane solüsyon içine konur ve koşullandırma zamanına uygun olarak karıştırılır. Tane 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 4.4.) [29].



Şekil 4.4. Temas açısı ölçümü

Temas açısı ile ilgili yapılmış çalışma ; Koca ve Savaş, 2003, tarafından yapılan temas açısı ölçümlerinde kolemanitin pH'ı 6-11, sıcaklık 20-22°C arasında değişmektedir. Ölçümleri KEX, KAX, R-825, R-840, Na-Oleat, Armac-T toplayıcıları ve Na₂SiO₃ bastırıcısı ile yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; KAX, KEX, Na-Oleat, R-825, R-840, Armac-T için uygun temas 47° olduğunu tespit edilmiştir [41] .

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

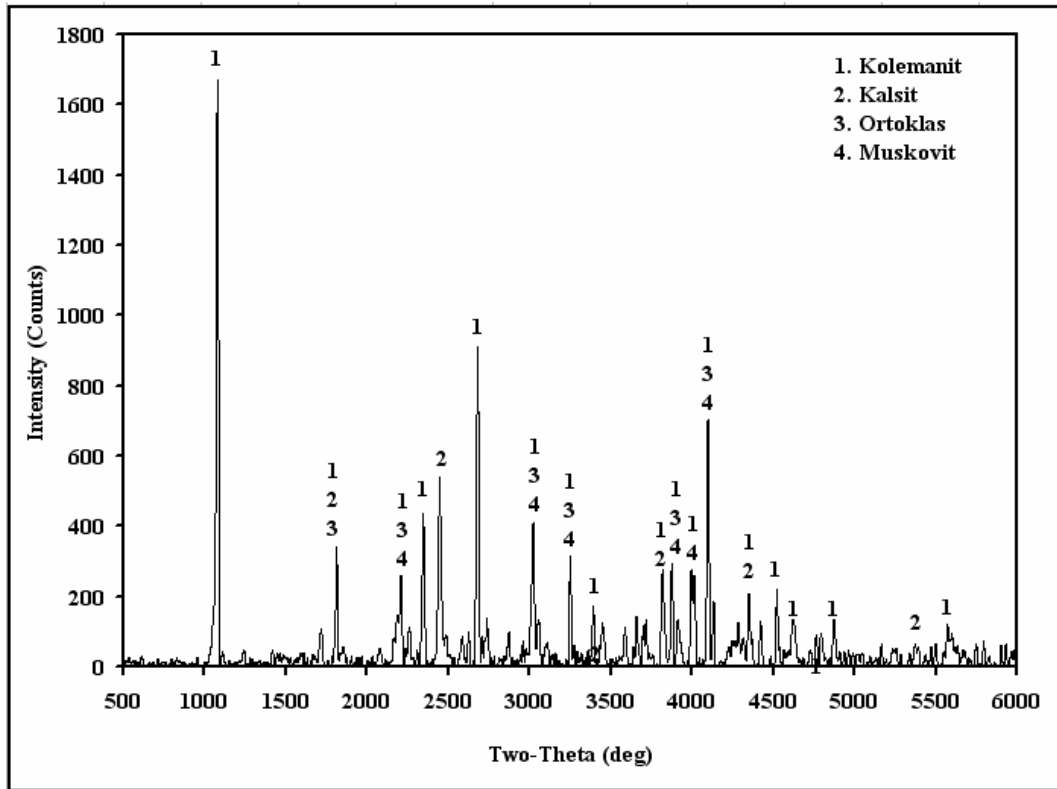
5.1. Malzeme ve Yöntem

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numune Eti Bor A.Ş. Emet Bor İşletmesi Müdürlüğü, Hisarcık konsantratör tesisi ince atık (-3mm) barajından (Şekil 2.2), numune alma şartlarına uygun olarak alınmıştır. Atık barajının çeşitli noktalarından temsili olarak 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 (XRF), mineralojik analiz (XRD) ve flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere temsili olarak ayrılmış ve torbalanmıştır.

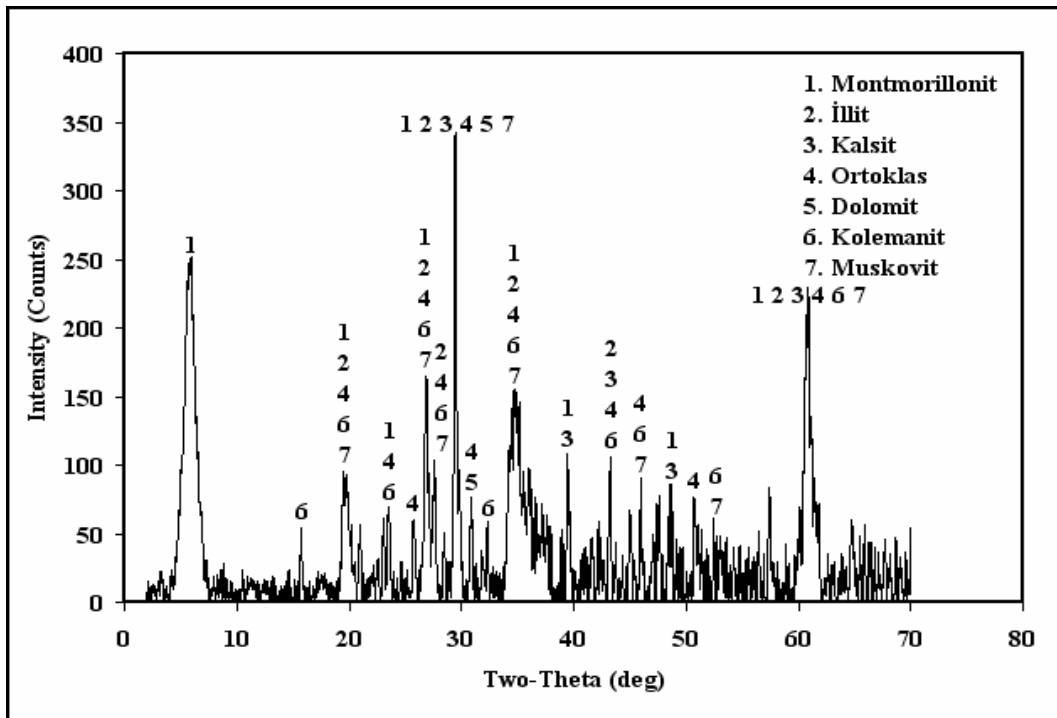
Deneylerde kullanılan numunenin kimyasal analizi (XRF) Emet Etibor Genel Müdürlüğünde ARL Brand 8680⁺ model X-Ray cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Numunenin ve ayrıca ocaktan alınan temiz kil numunesinin mineralojik analizi (XRD) Rigaku Miniflex Brand marka cihazı ile Cu α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

Çizelge 5.1. Numunenin kimyasal bileşimi

BİLEŞİM	Miktar %	BİLEŞİM	Miktar %
B₂O₃	27,64	CaO	21,4481
CO₂	11,91	TiO₂	0,1384
F	1,2806	Cr₂O₃	0,0097
Na₂O	0,079	MnO	0,1178
MgO	8,7692	Fe₂O₃	2,0055
Al₂O₃	4,1836	NiO	0,0068
SiO₂	22,2815	ZnO	0,0057
P₂O₅	0,0804	As₂O₃	0,6026
SO₃	1,2405	Rb₂O	0,0193
Cl	0,0128	SrO	0,8902
K₂O	1,5546	Cs₂O	0,0414



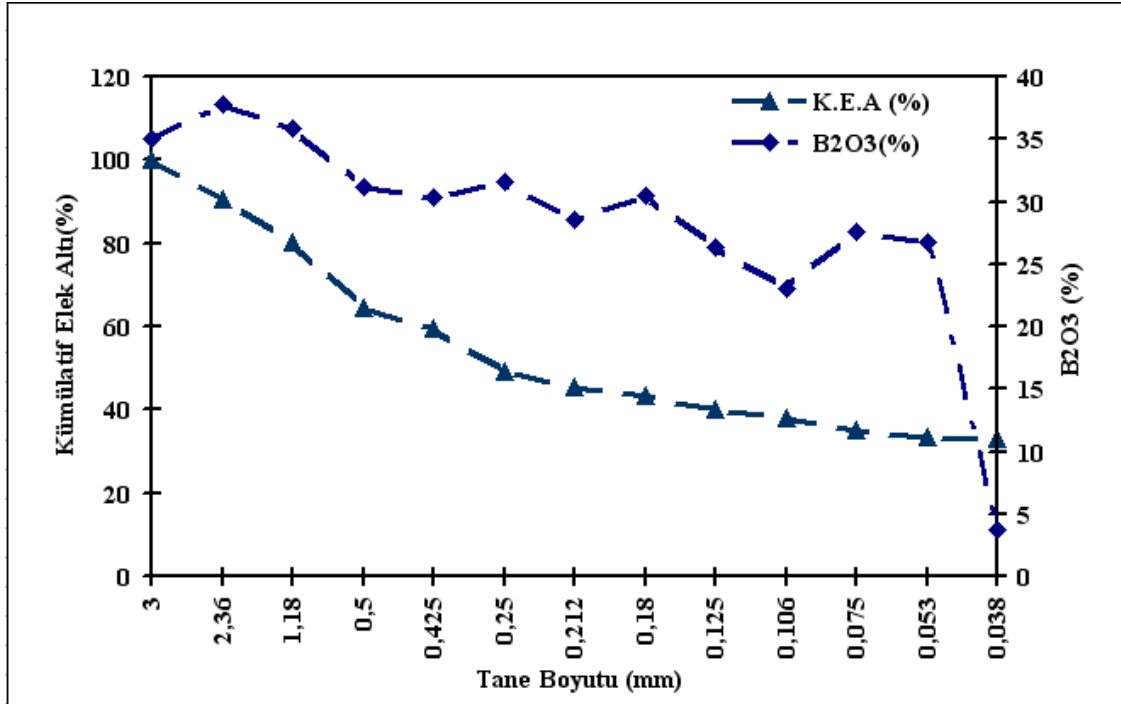
Şekil 5.1. Atık Barajı Numunesinin XRD sonuçları



Şekil 5.2. Numunedeki kilin XRD sonuçları

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

EMET HİSARCİK ATIK BARAJINDAKİ KOLEMANİTİN ELEK ANALİZ SONUÇLARI					
ELEK BOYUTU	AĞIRLIK MİKTAR (gr)	AĞIRLIK MİKTAR (%)	K.E.Ü (%)	K.E.A. (%)	%B ₂ O ₃
+2,36 mm	94,32	9,432	9,432	100	35,05
-2,36 +1,18 mm	103,85	10,385	19,817	90,568	37,73
-1,18mm +500 µm	154,54	15,454	35,271	80,183	35,82
-500 +425 µm	52,88	5,288	40,559	64,729	31,2
-425 +250 µm	102,88	10,288	50,847	59,441	30,41
-250 +212 µm	34,58	3,458	54,305	49,153	31,54
-212 +180 µm	21,68	2,168	56,473	45,695	28,6
-180 +125 µm	35,35	3,535	60,008	43,527	30,5
-125 +106 µm	20,17	2,017	62,025	39,992	26,33
-106 +75 µm	29,45	2,945	64,97	37,975	23
-75 +53 µm	13,99	1,399	66,369	35,03	27,56
-53 +38 µm	6,11	0,611	66,98	33,631	26,7
-38 µm	330,2	33,02	100	33,02	3,74 (Şlam)
TOPLAM	1000	100			



Şekil 5.3. Numunenin tane boyutu dağılımı ve tenör değişimi

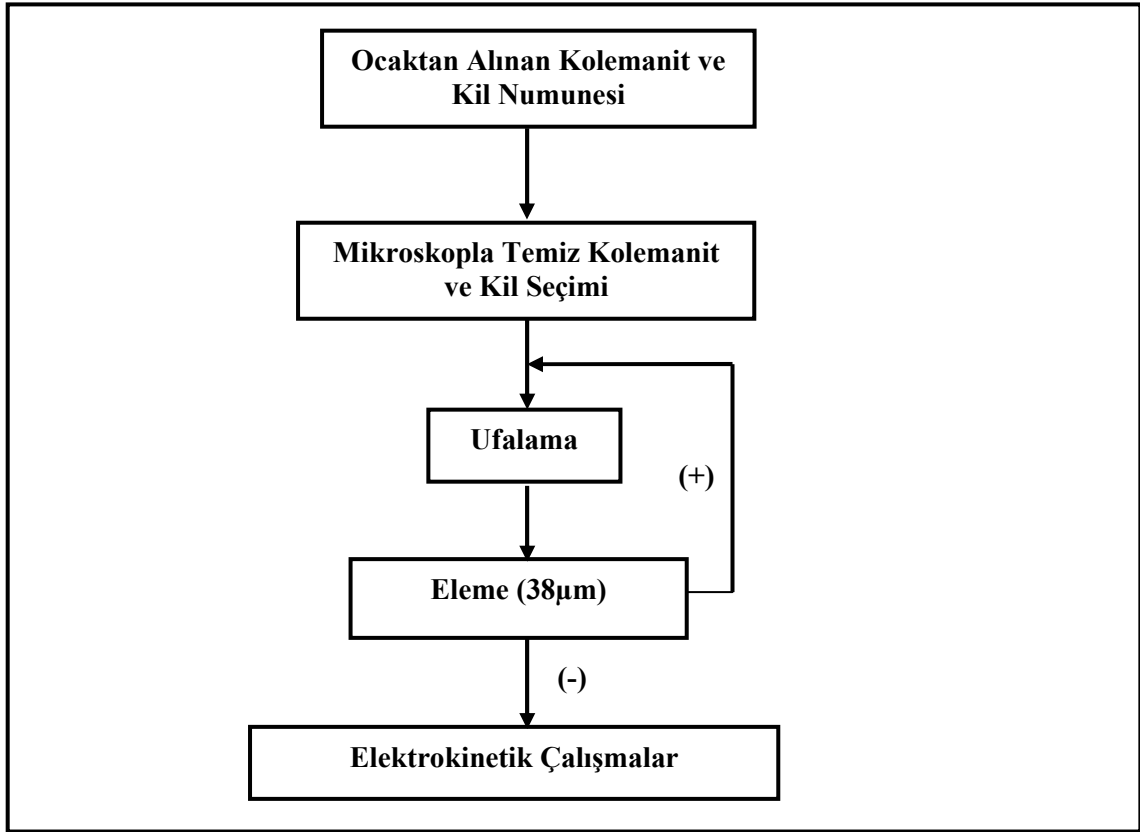
Bu deneylerdeki amaç, Emet Etibor Genel Müdürlüğü Hisarcık Konsantratör tesisi ince atık havuzundan alınan düşük tenörlü kolemanit cevherinin kimyasal bileşimi ve tane boyutuna göre tenör dağılımını incelemek; bu sonuçlara göre ince atık havuzu numunesinden kolemanitin flotasyon yöntemiyle kazanılabilirliğini 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 -38 mikron boyut grubu elektrokinetik çalışmalarda kullanılmak üzere dış şartlardan etkilenmemeleri için plastik torbalarda saklanmıştır.

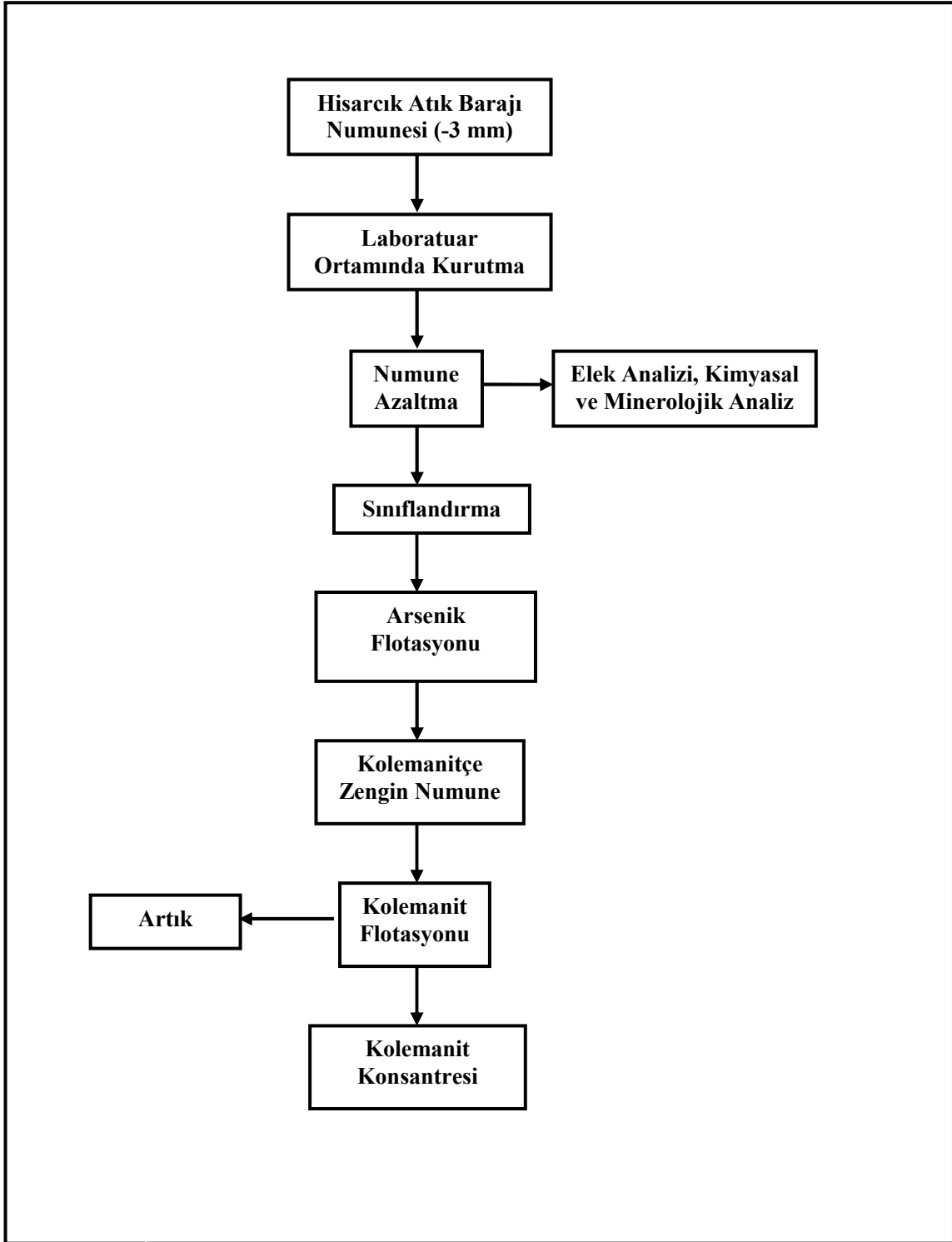
Temiz kolemanit ve kil minerallerinin zeta potansiyel ölçümleri mikro işlem donanımlı foresis yöntemi ile çalışan Zeta Meter+3.0 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz otomatik olarak voltaj ve tane hızını dikkate alarak zeta potansiyel değerini hesaplayabilmektedir. Ölçümlerde kolemanit için 0,5 gram, kil için 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 alınmıştır. 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, oleik asit, AlCl_3 , KCl, CaCl_2 , BaCl_2 ve CaO analitik kalitededir. Bütün ölçümlerde distile su kullanılmıştır.

Kolemanit mineralini flotasyon yöntemi ile kazanabilmek için flotasyon deneyleri 1 litrelik Denver flotasyon hücresi kullanılarak yapılmıştır. Numunenin kimyasal analizinde arsenik mineralleri tespit edildiğinden flotasyonun iki aşamada yapılmasına karar verilmiş, ilk aşama da arsenik flotasyonu ikinci aşamada kolemanit flotasyonu yapılmıştır. Arsenik flotasyonu ve kolemanit flotasyonu için numune ilk önce değişik boyut gruplarına ayrılarak her boyut grubunda flotasyon deneyleri yapılmıştır. En iyi sonuç -150+38 mikron boyut grubunda alındığı için daha sonraki tüm flotasyon deneyleri bu boyut grubunda yapılmıştır. Bütün deneylerde doygun bor çözültisi kullanılmıştır. Arseniği yüzdürmek için toplayıcı olarak analitik kalite gaz yağı, 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.



Şekil 5.4. Temiz kolemanit ve kil ile yapılan deneysel çalışmaların akım şeması



Şekil 5.5. Yapılan deneysel çalışmaların akım şeması

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Kimyasal, Mineralojik ve Tane Boyu Analizleri

Emet-Hisarçık artık barajından alınan numunenin kimyasal analiz deneylerine bakıldığında (Çizelge 5.1.) barajda %27,64 oranında B_2O_3 olduğu görülmektedir. Bu tenör başka ülkeler için tesis giriş tenörüdür. Ayrıca konsantride istenmeyen As_2O_3 oranı da %0,6026'dır.

Artık barajı numunesi (Şekil 5.1.) ve kil numunesi (Şekil 5.2.) ile yapılan XRD sonuçlarına göre, artık barajı numunesinde yapılan mineralojik incelemeler sonucunda esas olarak kolemanit, montmorillonit ve kalsit minerallerinden oluştuğu, az olarak da dolomit ve muskovit içerdiği belirlenmiştir. Bu mineraller kimyasal analizle doğrulanmaktadır.

Tane boyutu analizine göre de numunenin -3 mm boyutunun altında olduğu Çizelge 5.2.'de görülmektedir. -38 μm 'nin üzerinde zenginleştirme olması, kolemanit ve kil ayrışmasının barajda devam ettiğini göstermektedir.

6.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

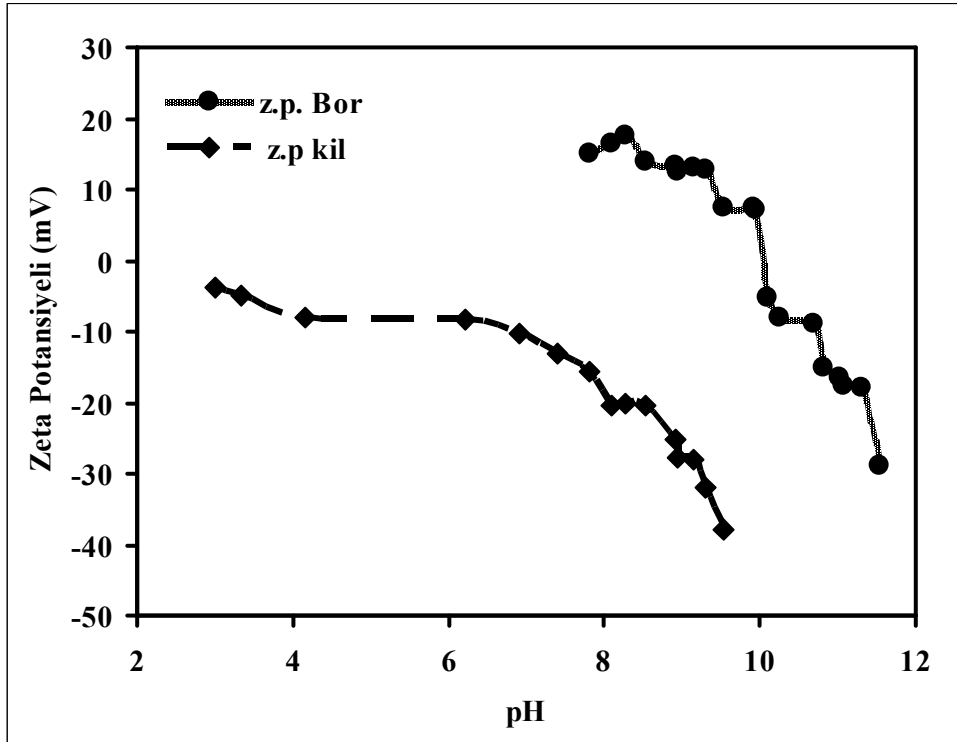
Minerallerin yüzey yükü, dağıtma (dispersiyon) ve flotasyonda önemlidir [29]. Bu nedenle kolemanit ve kilin zeta potansiyelleri pH, elektrolitler ve flotasyon reaktiflerine göre ölçülmüştür.

Kolemanit ve kilin pH a göre zeta potansiyeli Şekil 6.1.'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 tarafından yapılan ölçümlerle uyurken (pH= 10,5) [10, 36], Koca ve Savaş tarafından yapılan ölçümlerle (sıfır yük noktası yok) [41] uyuşmamaktadır. Kolemanit çözünürlüğü az (1 gr/l) [5, 42] ve Ca^{++} içeren hidrate bir bor mineralidir. Su içerisinde yüzey yükü, onu oluşturan latis iyonları ve pH'nın bir fonksiyonudur.

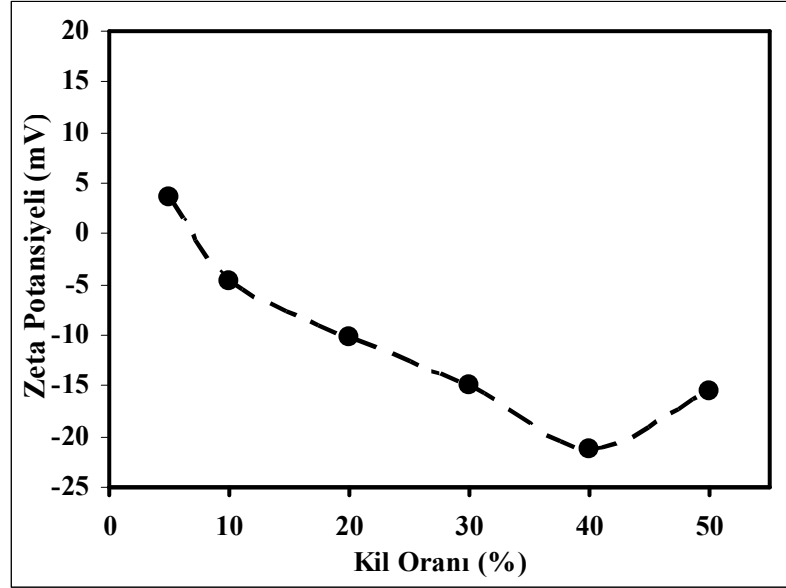
Kolemanite değişik oranlarda kil eklenmesiyle elde edilen numunenin zeta potansiyelinin ölçülmesi sonucunda kil miktarının kolemanitin zeta potansiyelini arttırdığı Şekil 6.2.'den görülmektedir. Bu da doğal pH' da negatif olan kil minerallerinin pozitif yüklü olan kolemanit minerallerinin yüzeyini kapladığını göstermektedir.

Farklı değerlikteki iyonların ve değişik flotasyon reaktiflerinin konsantrasyonlarına bağlı olarak kolemanit ve kilin zeta potansiyeline olan etkileri Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'de

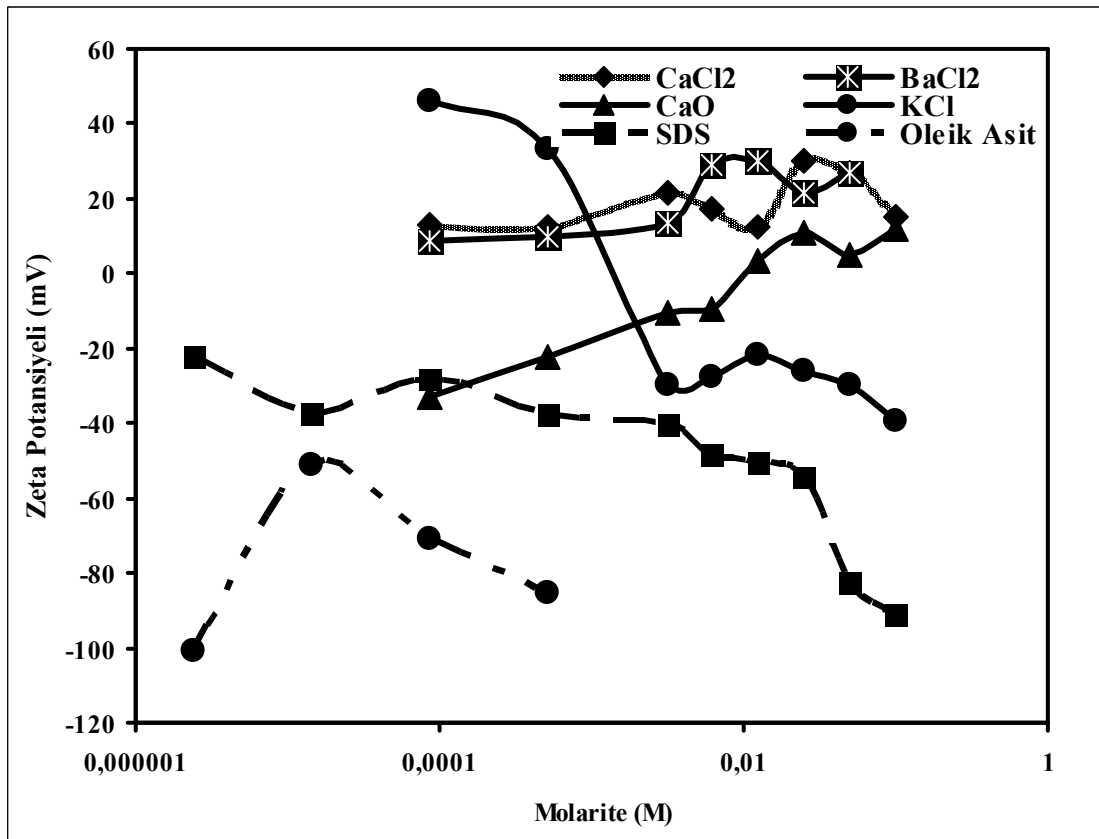
görülmektedir. Ca^{++} , Ba^{++} ve Al^{++} gibi yüksek değerlikli iyonlar kolemanitin zeta potansiyelini pozitif yönde artırırken, SDS ve oleik asit negatif yönde artırmaktadır. Fakat K^+ iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak ilk önce negatif yönde azaltmış sonrada artırmıştır. CaO aynı zamanda pH'ı da değiştirdiği için yüzey yükünde işaret değişimine neden olmuştur. Yüksek değerlikli iyonlar kilin zeta potansiyelini pozitif yöne doğru oldukça değiştirmiştir. Sadece oleik asit negatif yönde artışa neden olmuştur.



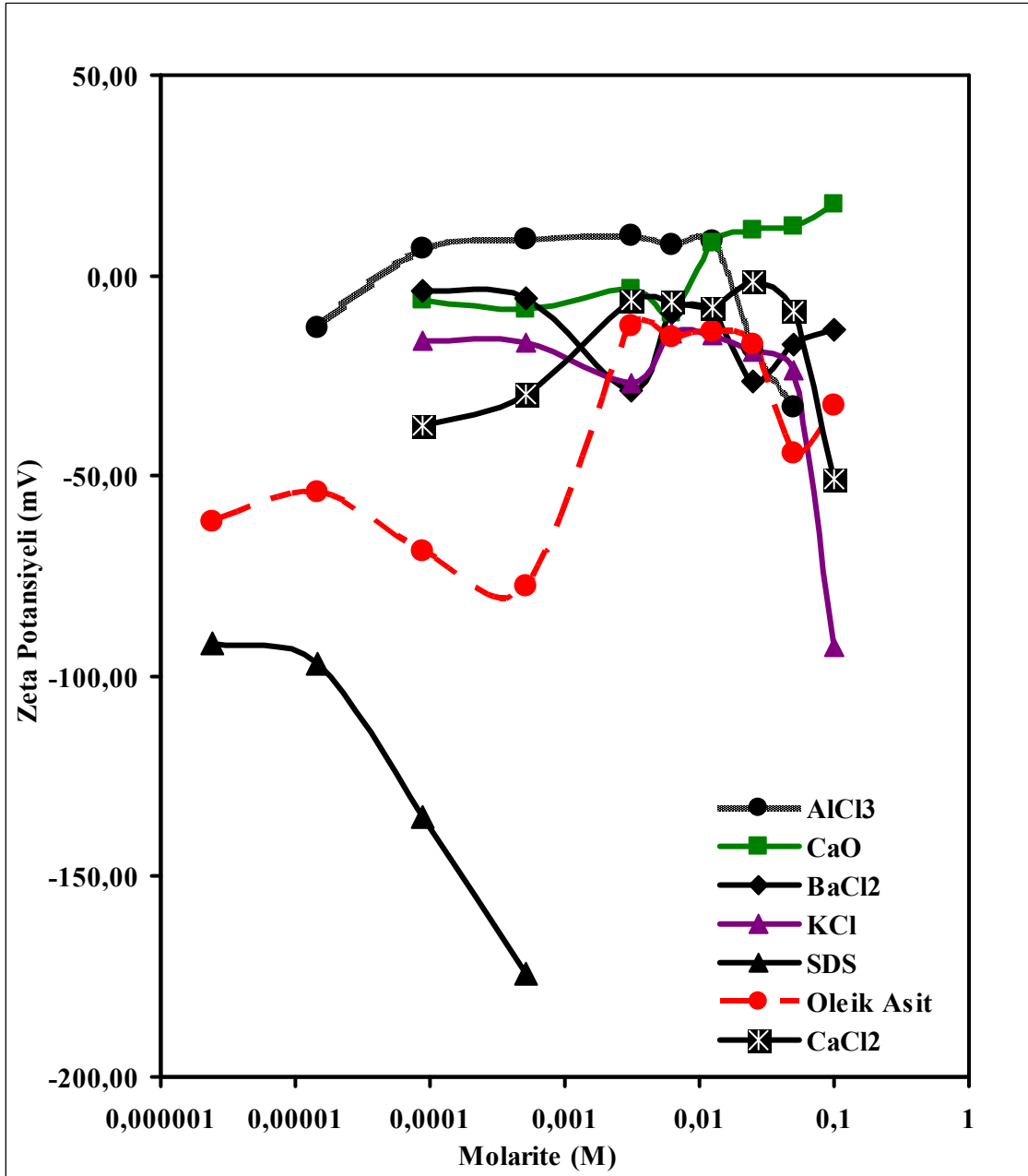
Şekil 6.1. Kolemanit ve kilin değişik pH' larda zeta potansiyeli .



Şekil 6.2. Kilin değişik oranlarda kolemanite eklenmesi ile doğal pH'larda zeta potansiyeli



Şekil 6.3. Çeşitli iyonların konsantrasyonlarının doğal pH' da kolemanitin zeta potansiyeline etkisi



Şekil 6.4. Çeşitli iyonların konsantrasyonlarının kilin zeta potansiyeline etkisi

6.3. Flotasyon Deneyleri

Kolemanit suda az çözünebilen (1g/lt) [42] kristal yapıda hidrate bir bor mineralidir. Mineralojik incelemelerden görüldüğü gibi büyük oranda killer bu minerale eşlik etmektedir. Ayrıca içerisinde istenmeyen arsenik mineralleri olan orpiment ve realgar da bulunmaktadır. Bu nedenle kolemanitin bu minerallerden ayrılması gerekir. Ayırma yöntemi olarak da serbestleşme

tane boyutu göz önüne alınarak flotasyon yöntemi düşünülmüştür. Bu nedenle ilk önce kolemanit ve kil minerallerinin elektrokinetik özellikleri araştırılmıştır.

Hisarcık gölet atıkları $-3\mu\text{m}$ boyutuna sahiptir. Bu nedenle flotasyonda ilk önce serbestleşme boyutunun tespit edilmesi gerekir. Daha sonra bu boyutta kolemanit ve arsenik flotasyonu için optimum parametreler araştırılmıştır.

Arsenik flotasyonu çalışmalarında serbestleşme boyutunun $-150\mu\text{m}$ olması ve şlamın olumsuz etkisi nedeniyle $-38\mu\text{m}$ 'nin alınmasıyla flotasyon boyutu $-150+38\mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir.

Bor pH 9,3'de tampon özelliği gösterdiği için [16] çalışmalar doğal pH olan 8,88'de yapılmıştır. Ayrıca zeta potansiyel çalışmalarında bu pH'da kolemanit yüzeyi pozitif yüklüdür. Bu nedenle çalışmada anyonik reaktifler kullanılmıştır.

Bor suda çözünme olayına sahip olduğundan, çözünme olayını daha da azaltabilmek için deneyler doygun bor çözeltisi ile yapılmıştır.

6.3.1. 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 artılla beraber artık barajına gitmektedir.

Arsenik minerallerinin konsantreye gitmesi istenmez. Arsenik flotasyonda arsenik minareleri olan realgar ve orpiment doğal hidrofobik olduğu için, hidrofobiteyi daha da artıran ve hava kabarcığına daha kolay yapışmasını sağlayan gaz yağı toplayıcı olarak kullanılmıştır. 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].

6.3.1.1. En Uygun Tane Boyutunun Saptanması

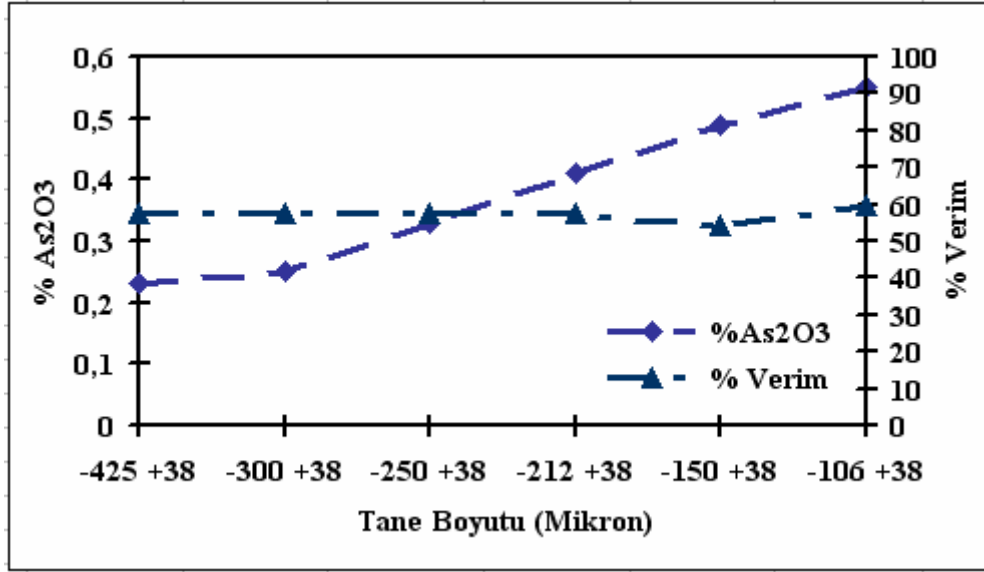
Kolemanit ve arsenik minerallerinin en verimli bir şekilde yüzebileceği tane boyutunu tespit etmek için $-425 +38\mu\text{m}$, $-300 +38\mu\text{m}$, $-250 +38\mu\text{m}$, $-212 +38\mu\text{m}$, $-150 +38\mu\text{m}$ ve $-106 +38\mu\text{m}$ boyut gruplarında hem arsenik, hem de kolemanit flotasyon deneyleri yapılmıştır. Birinci aşamada aşağıdaki şartlarda yapılan arsenik flotasyon deney sonuçları Çizelge 6.1 ve Şekil 6.5' de verilmiştir.

Arsenik Flotasyon Şartları;

- Tane Boyutu (μm) : -425 +38, -300 +38, -250 +38, -212 +38, -150 +38, -106 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 \pm 50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : Gazyağı (kerosen) (emülsiyon halinde kullanılmıştır).
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 1000
- Köpürtücü Cinsi : Çam yağı
- Köpürtücü Miktarı (gr/ton) : 50
- Karıştırma Süresi (dk) : 5
- Flotasyon Süresi (dk) : 2

Çizelge 6.1. Tane boyutuna göre arseniğinin flotasyon ürünleri tenör-verim tablosu

Tane Boyutu (μm)		% Miktar	% As_2O_3	% Verim	Tane Boyutu (μm)		% Miktar	% As_2O_3	% Verim
-425 +38	Konsantre	3,82	4,2	42,22	-212 +38	Konsantre	4,3	6,69	42,32
	Artık	96,18	0,23	57,78		Artık	95,7	0,41	57,68
	Besleme	100	0,38	100		Besleme	100	0,68	100
-300 +38	Konsantre	4,12	4,32	42,37	-150 +38	Konsantre	4,36	9,16	45,9
	Artık	95,88	0,25	57,63		Artık	95,64	0,49	54,1
	Besleme	100	0,42	100		Besleme	100	0,87	100
-250 +38	Konsantre	4,22	5,52	42,35	-106 +38	Konsantre	4,23	8,41	39,97
	Artık	95,78	0,33	57,65		Artık	95,77	0,55	60,03
	Besleme	100	0,55	100		Besleme	100	0,89	100



Şekil 6.5. Tane boyutuna göre tenör-verim dağılımı

İkinci aşamada yapılan kolemanit flotasyon şartları aşağıda verilmiştir ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2 ve Şekil 6.6' da görüldüğü gibidir.

Kolemanit Flotasyon Şartları;

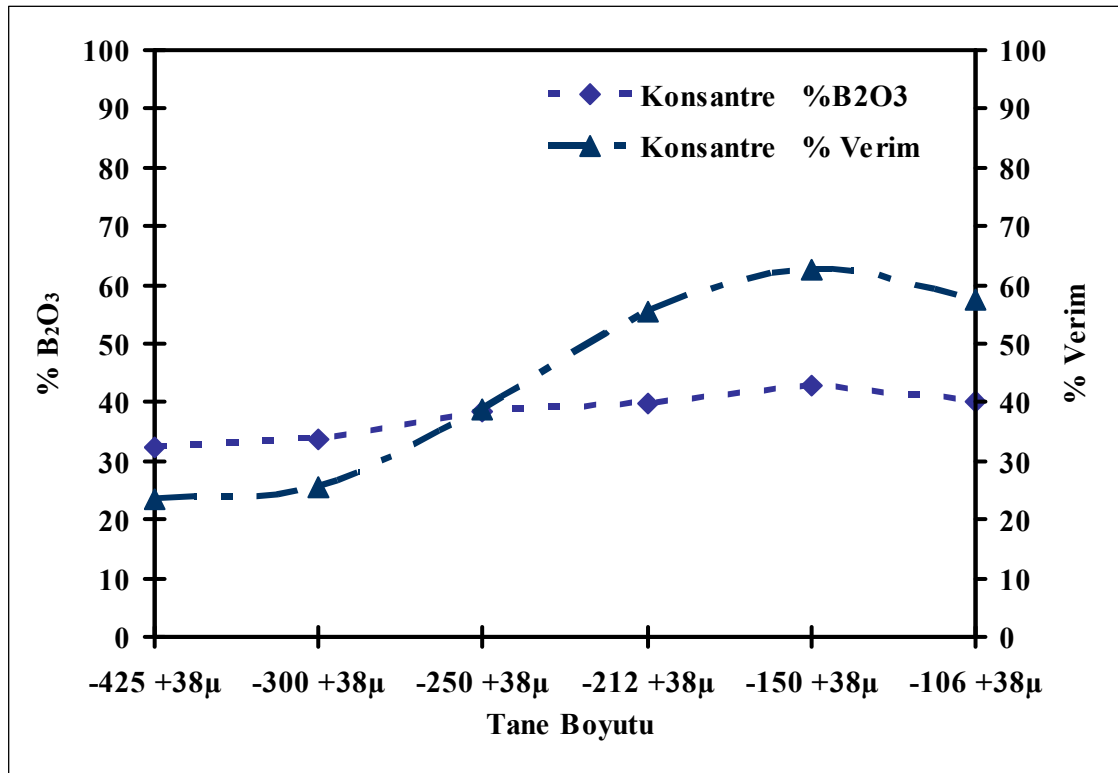
- Tane Boyutu (μm) : -425 +38, -300 +38, -250 +38, -212 +38, -150 +38, -106 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 \pm 50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 2500
- Bastırıcı Cinsi : Tannik Asit
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 500
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

R-801 toplayıcısının köpürme özelliği olduğu için ayrıca köpürtücü kullanılmamıştır.

Tablolardan ve şekillerden görüldüğü gibi en iyi sonuçlar hem kolemanit hem de arsenik flotasyonu için -150 +38 μm boyut grubunda elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. Tane boyutuna bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Tane Boyutu (µm)		% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim	Tane Boyutu (µm)		% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
-425 +38	Arsenik	3,25	7,9	0,87	-212 +38	Arsenik	4,04	7,22	1,06
	Konsantre	21,37	32,27	23,39		Konsantre	38,55	39,75	55,54
	Artık	75,38	29,63	75,74		Artık	57,41	20,86	43,4
	Besleme	100	29,49	100		Besleme	100	27,59	100
-300 +38	Arsenik	4,18	7,5	1,08	-150 +38	Arsenik	4,04	6,8	1,03
	Konsantre	21,72	33,69	25,35		Konsantre	38,71	42,96	62,51
	Artık	74,1	28,66	73,56		Artık	57,25	16,95	36,46
	Besleme	100	28,87	100		Besleme	100	26,61	100
-250 +38	Arsenik	3,75	6,8	0,91	-106 +38	Arsenik	4,55	6,72	1,2
	Konsantre	28,46	38,43	38,71		Konsantre	36,45	40,17	57,65
	Artık	67,79	25,16	60,38		Artık	59	17,71	41,14
	Besleme	100	28,25	100		Besleme	100	25,4	100



Şekil 6.6. Tane boyutuna bağlı tenör-verim grafiği

6.3.1.2. En Uygun Toplayıcı Miktarının Belirlenmesi

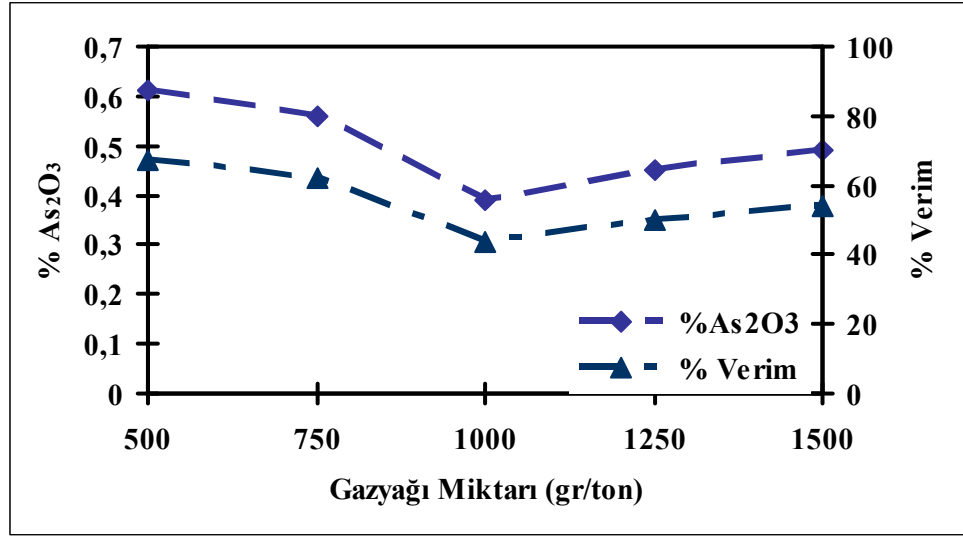
Arseniği flotasyonla uzaklaştırmak için en uygun tane boyutu -150 +38 μm olarak belirlenmiştir. Fakat en uygun toplayıcı miktarının da belirlenmesi gerekir. Çünkü flotasyonda toplayıcı miktarı önemlidir. Bu nedenle aşağıda verilen şartlarda yapılan arsenik flotasyon deney sonuçları Çizelge 6.3 ve Şekil 6.7’de verilmiştir.

Arsenik Flotasyon Şartları;

- Tane Boyutu (μm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 \pm 50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : Gazyağı (kerosen) (emülsiyon halinde kullanılmıştır).
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 500-750-1000-1250-1500
- Köpürtücü Cinsi : Çam yağı
- Köpürtücü Miktarı (gr/ton) : 50
- Karıştırma Süresi (dk) : 5
- Flotasyon Süresi (dk) : 2

Çizelge 6.3. Gaz yağı miktarına göre %As₂O₃ tenör-verim tablosu

Gazyağı Miktarı (gr/ton)	-150 +38 μm	% Miktar	%As ₂ O ₃	% Verim
500	Konsantre	3,75	7,63	32,88
	Artık	96,25	0,61	67,12
	Besleme	100	0,87	100
750	Konsantre	3,94	8,42	38,14
	Artık	96,06	0,56	61,86
	Besleme	100	0,87	100
1000	Konsantre	3,99	12,28	56,31
	Artık	96,01	0,39	43,69
	Besleme	100	0,87	100
1250	Konsantre	4,22	10,29	49,91
	Artık	95,78	0,45	50,09
	Besleme	100	0,87	100
1500	Konsantre	4,36	9,16	45,9
	Artık	95,64	0,49	54,1
	Besleme	100	0,87	100



Şekil 6.7. Gaz yağı miktarına göre %As₂O₃ tenör-verim tablosu

En iyi sonuçlar 1000 gr/ton toplayıcı miktarında elde edilmiştir. 1000 gr/ton toplayıcı dozajında artık da (kolemanit içerisinde) kalan arsenik oranı %0,39 As₂O₃'dür.

6.3.2. Kolemanit Flotasyonu

6.3.2.1. Toplayıcı Cinsinin Belirlenmesi

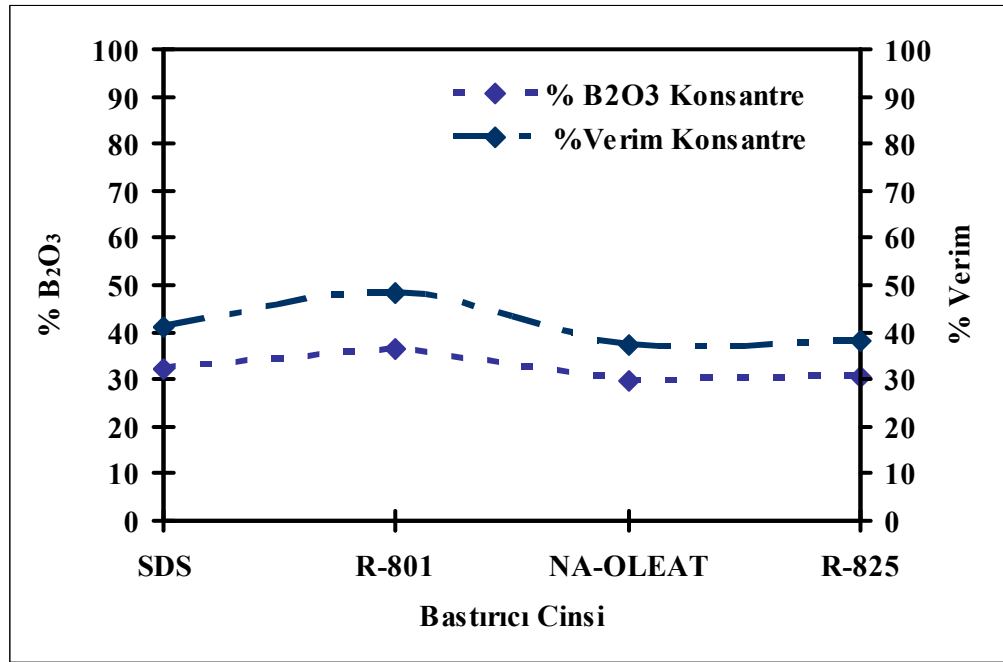
Toplayıcı cinsi ve dozajı minerallerin yüzdürülmesinde en önemli parametrelerden biridir. Toplayıcıların mineral yüzeylerine adsorblanması tamamen yüzey yükleri ile ilgilidir. Bu nedenle yapılan zeta potansiyel çalışmalarına göre doğal pH'da mineral yüzeyi pozitif yüklü olduğundan anyonik toplayıcılar kullanılmıştır. Aşağıdaki şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçları Çizelge 6.4 ve Şekil 6.8' de verilmiştir.

Flotasyon Şartları;

- Tane Boyutu (µm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 ±50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : R-801, R-825, SDS, Na-Oleat
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 1250
- Bastırıcı Cinsi : Tannik Asit
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 500
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

Çizelge 6.4. Toplayıcı cinsine bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Toplayıcı Cinsi	-150 +38 μ m	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim	Toplayıcı Cinsi	-150 +38 μ m	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
SDS	Arsenik	4,06	7,02	1,07	Na-Oleat	Arsenik	3,88	7,3	1,06
	Konsantre	33,94	32,29	41,19		Konsantre	33,79	29,52	37,49
	Artık	62	24,78	57,74		Artık	62,33	26,23	61,45
	Besleme	100	26,61	100		Besleme	100	26,61	100
R-801	Arsenik	3,99	7,5	1,13	R-825	Arsenik	4,27	7,42	1,19
	Konsantre	35,32	36,32	48,19		Konsantre	33,19	30,65	38,22
	Artık	60,69	22,22	50,68		Artık	62,54	25,78	60,59
	Besleme	100	26,61	100		Besleme	100	26,61	100



Şekil 6.8. Toplayıcı cinsine bağlı tenör-verim grafiği

Şekilden ve tablodan görüldüğü gibi en iyi değerler R-801 toplayıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Bu toplayıcı ile %36,32 B₂O₃ tenörlü konsantre %48,19 verim ile elde edilmiştir.

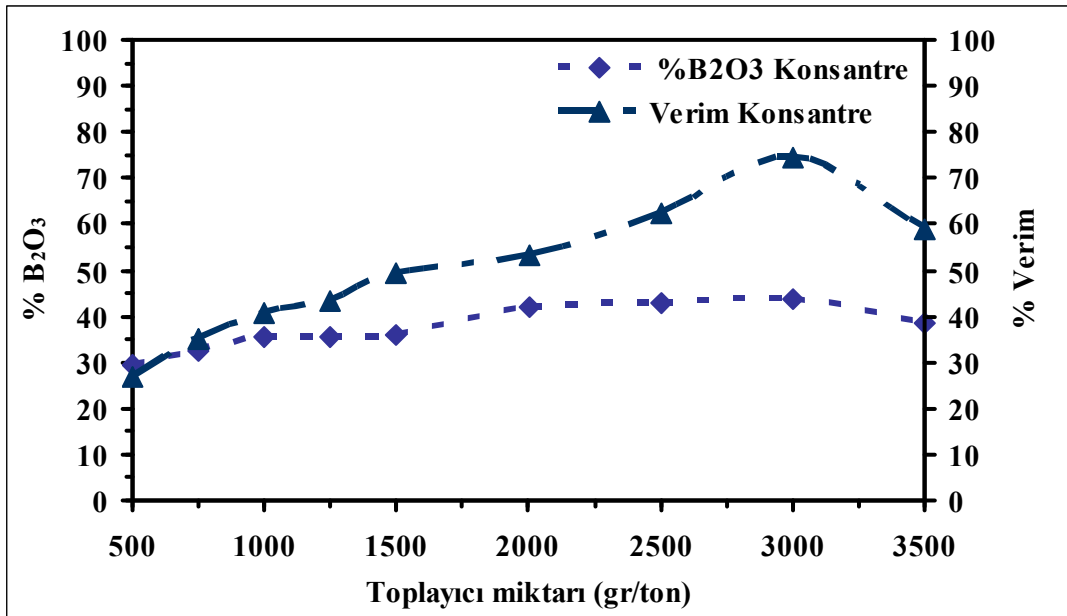
6.3.2.2. Toplayıcı Miktarının Belirlenmesi

Optimum toplayıcı miktarının belirlenmesi hem verimli bir flotasyon açısından hem de ekonomiklik açısından önemlidir. Bu nedenle kolemanit flotasyonunda, yapılan deneysel çalışmalar neticesinde diğer reaktiflere nazaran en iyi sonucu veren R-801 toplayıcısı

kullanılmıştır. Bu toplayıcı ile aşağıda verilen deney şartlarında elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5. ve Şekil 6.9.'da verilmiştir.

Kolemanit Flotasyon Şartları;

- Tane Boyutu (μm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 \pm 50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 500-750-1000-1250-1500-2000-2500-3000-3500
- Bastırıcı Cinsi : Tannik Asit
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 500
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5



Şekil 6.9. Toplayıcı miktarına bağlı tenör-verim grafiği

Çizelge 6.5. Toplayıcı miktarına bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Toplayıcı Miktarı (gr/t)		% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
500	Arsenik	3,75	5,08	0,72
	Konsantre	24,48	29,33	26,98
	Artık	71,77	26,81	72,3
	Besleme	100	26,61	100
750	Arsenik	3,94	6,47	0,96
	Konsantre	28,59	32,62	35,04
	Artık	67,47	25,24	64
	Besleme	100	26,61	100
1000	Arsenik	3,99	6,5	0,98
	Konsantre	30,67	35,33	40,73
	Artık	65,34	23,74	58,29
	Besleme	100	26,61	100
1250	Arsenik	4,22	7,2	1,14
	Konsantre	32,57	35,32	43,23
	Artık	63,21	23,42	55,63
	Besleme	100	26,61	100
1500	Arsenik	4,36	7,6	1,24
	Konsantre	36,63	35,77	49,24
	Artık	59,01	22,33	49,52
	Besleme	100	26,61	100
2000	Arsenik	4,39	7,01	1,15
	Konsantre	33,96	41,78	53,32
	Artık	61,65	19,65	45,53
	Besleme	100	26,61	100
2500	Arsenik	4,04	6,8	1,03
	Konsantre	38,71	42,96	62,51
	Artık	57,25	16,95	36,46
	Besleme	100	26,61	100
3000	Arsenik	4,37	5	0,82
	Konsantre	45,48	43,68	74,65
	Artık	50,15	13,01	24,53
	Besleme	100	26,61	100
3500	Arsenik	6,11	5,3	1,22
	Konsantre	40,82	38,36	58,84
	Artık	53,07	20,03	39,94
	Besleme	100	26,61	100

Şekil 6.9' da görüldüğü gibi farklı toplayıcı miktarlarında yapılmış olan flotasyon sonuçlarına göre en uygun sonuç 3000 gr/ton R-801 kullanılarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre 3000 gr/ton R-801' de malzeme % 26,61 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona girmiş, % 43,68 B₂O₃ tenörlü konsantre % 74,65 verim ile elde edilmiştir.

6.3.2.3. 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 yüzebilirliğini artırmak gerekir. Bunun için bu deneylerde çeşitli kil dağıtıcıları veya aynı zamanda bastırıcıları kullanılmıştır. Aşağıda verilen flotasyon şartlarında yapılan deney sonuçları Çizelge 6.6. ve Şekil 6.10.'da verilmiştir.

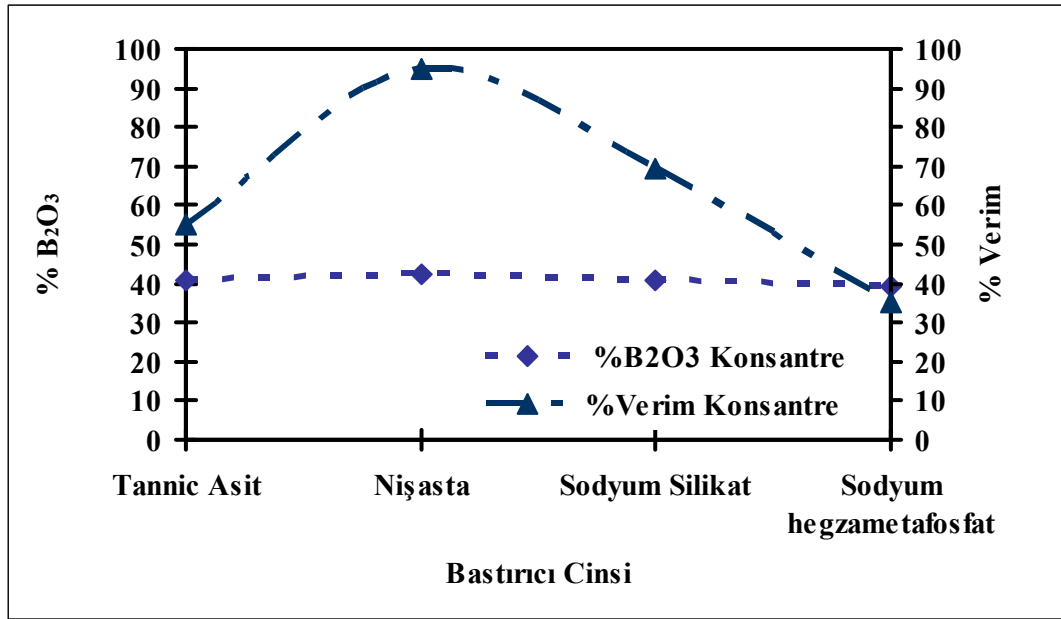
Flotasyon şartları;

- Tane Boyutu (µm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 ±50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 3000
- Bastırıcı Cinsi : Tannik Asit, Nişasta, Sodyum silikat ve Sodyum hegzametafosfat
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 500
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi farklı bastırıcı cinsinde yapılmış olan flotasyon sonuçlarına göre en uygun sonuç nişasta kullanılarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre nişastada malzeme % 33,52 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona girmiş, % 42,33 B₂O₃ tenörlü konsantre % 94,73 verim ile elde edilmiştir.

Çizelge 6.6. Bastırıcı cinsine bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Bastırıcı Cinsi	-150 +38 μ m	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim	Bastırıcı Cinsi	-150 +38 μ m	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
Tannic Asit	Arsenik	4,37	5	0,66	Sodyum Silikat	Arsenik	4,46	5,8	0,77
	Konsantre	45,48	40,68	55,2		Konsantre	57,38	40,63	69,56
	Artık	50,15	29,5	44,14		Artık	38,16	26,07	29,67
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
Nişasta	Arsenik	3,8	2,9	0,33	Sodyum Hegzametafosfat	Arsenik	4,07	6,2	0,75
	Konsantre	75,01	42,33	94,73		Konsantre	30,04	39,31	35,25
	Artık	21,19	7,82	4,94		Artık	65,89	32,56	64
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100



Şekil 6.10. Bastırıcı cinsine bağlı tenör-verim grafiği

6.3.2.4. Bastırıcı Miktarı Seçimi

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

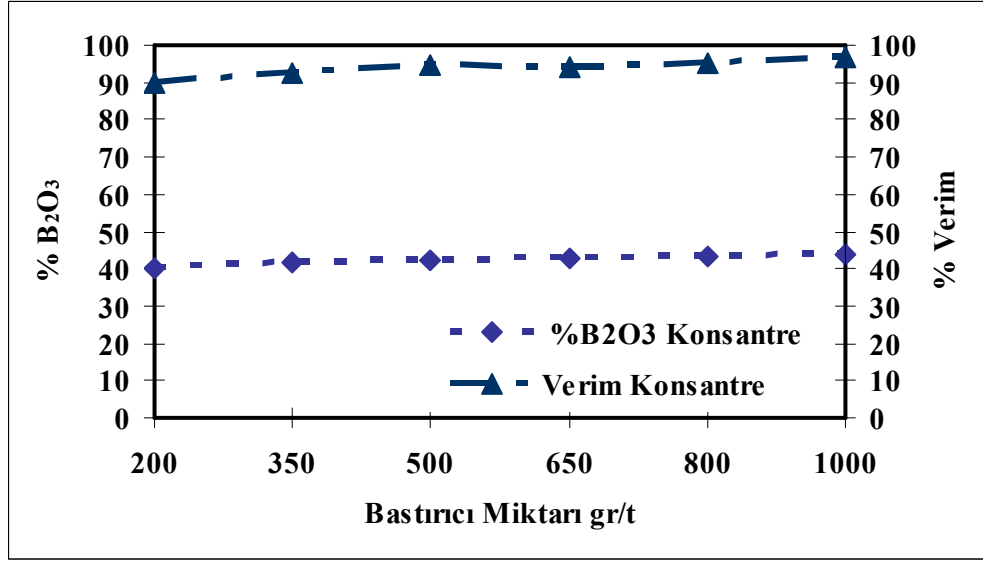
Flotasyon şartları;

- Tane Boyutu (μ m) : -150 +38

- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1200 ±50
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 3000
- Bastırıcı Cinsi : Nişasta
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 200-350-500-650-800-1000
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

Çizelge 6.7. Bastırıcı miktarına bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Bastırıcı Miktarı (gr/t)	-150 +38µm	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim	Bastırıcı Miktarı (gr/t)	-150 +38µm	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
200	Arsenik	3,46	5,35	0,55	650	Arsenik	2,88	6,12	0,53
	Konsantre	74,8	40,22	89,75		Konsantre	73,57	42,85	94,04
	Artık	21,74	14,95	9,7		Artık	23,55	7,73	5,43
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
350	Arsenik	3,74	2,49	0,28	800	Arsenik	3,27	8,4	0,82
	Konsantre	74,35	41,74	92,58		Konsantre	73,76	43,32	95,33
	Artık	21,91	10,92	7,14		Artık	22,97	5,62	3,85
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
500	Arsenik	3,8	2,9	0,33	1000	Arsenik	3,17	3,32	0,32
	Konsantre	75,01	42,33	94,73		Konsantre	73,67	44,09	96,9
	Artık	21,19	7,82	4,94		Artık	23,16	4,03	2,78
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100



Şekil 6.11. Bastırıcı miktarına bağlı tenör-verim grafiği

Şekil 6.11.'de görüldüğü gibi farklı bastırıcı miktarlarında yapılmış olan flotasyon sonuçlarına göre en uygun sonuç 1000 gr/ton nişasta kullanılarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre 1000 gr/ton nişastada malzeme %33,52 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyon sonunda, %44,09 B₂O₃ tenörlü konsantre %96,9 verim ile elde edilmiştir.

6.3.2.5. Karıştırma Hızının Belirlenmesi

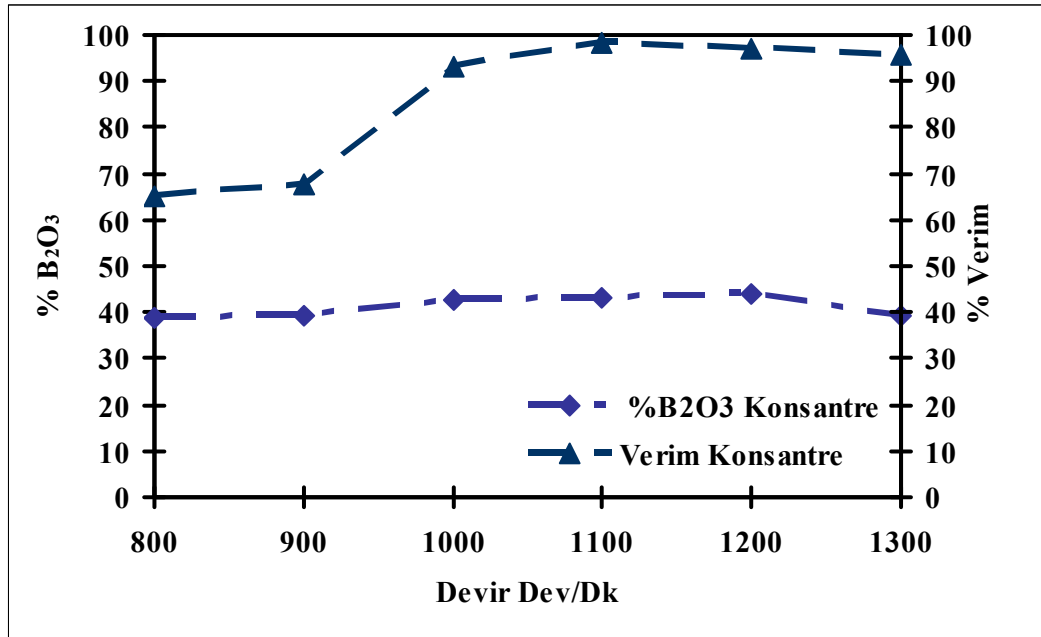
Yetersiz karıştırma tanelerin hava kabarcığı ile çarpışma olasılığını azaltır. Hızlı karıştırma ise, hava kabarcığına yapışmış ve oluşan agreganın parçalanmasına neden olabilir. Bu nedenle en uygun karıştırma hızını belirlemek için aşağıdaki şartlarda deneyler yapılmıştır.

Flotasyon şartları;

- Tane Boyutu (µm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 800-900-1000-1100-1200-1300
- Katı Oranı (%) : 25
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 3000
- Bastırıcı Cinsi : Nişasta
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 1000
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

Çizelge 6.8. Devir sayısına bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Devir (dev/dk)	-150 +38 μ m	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim	Devir (dev/dk)	-150 +38 μ m	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
800	Arsenik	3,81	4,12	0,47	1100	Arsenik	4,1	3,16	0,25
	Konsantre	56,25	38,68	64,91		Konsantre	76,13	43,22	98,17
	Artık	39,94	29,05	34,62		Artık	19,77	2,5	1,58
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
900	Arsenik	4,51	4,02	0,54	1200	Arsenik	3,17	3,32	0,32
	Konsantre	57,84	39,27	67,76		Konsantre	73,67	44,09	96,9
	Artık	37,65	28,22	31,7		Artık	23,16	4,03	2,78
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
1000	Arsenik	4,22	3,68	0,46	1300	Arsenik	3,69	4,03	0,44
	Konsantre	73,23	42,65	93,18		Konsantre	81,61	39,22	95,49
	Artık	22,55	9,46	6,36		Artık	14,7	9,28	4,07
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100



Şekil 6.12. Devir sayısına bağlı tenör-verim grafiği

Değişik karıştırma hızlarında yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6.8 ve Şekil 6.12' de verilmiştir. Tanelerin yeteri kadar hava kabarcığına yapışmadığı düşük hızlarda görülmektedir. Yüksek karıştırma hızlarında ise tenör ve verim düşüşü nedeni agreganın parçalanmasıdır. Bu nedenle en iyi sonuç 1100 dev/dk karıştırma hızında elde edilmiştir.

6.3.2.6. Katı Oranının Belirlenmesi

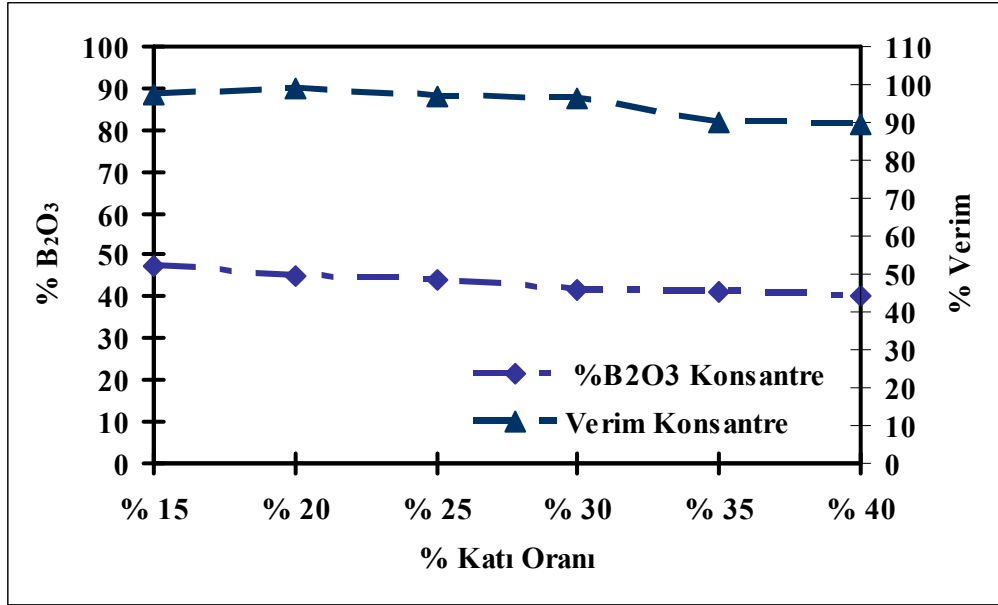
Flotasyonda katı oranı da seçimliği etkileyen parametrelerden biridir. Yüksek katı oranlarında seçimlilik azalır. Düşük katı oranlarında seçimlilik artmasına rağmen su gereksiniminin artması nedeniyle fazla su sarfiyatı sorunu ortaya çıkabilir. Bu nedenle optimum bir katı oranının belirlenmesi gerekir. Bu nedenle değişik katı oranlarında aşağıdaki şartlarda flotasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.9. ve Şekil 6.13.'de verilmiştir.

Flotasyon şartları;

- Tane Boyutu (μm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1100
- Katı Oranı (%) : 15-20-25-30-35-40
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 3000
- Bastırıcı Cinsi : Nişasta
- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 1000
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (dk) : 3,5

Çizelge 6.9. Katı oranına bağlı olarak % miktar - % tenör ve % verim değerleri

Katı Oran(%)	-150 +38 μm	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim	Katı Oran(%)	-150 +38 μm	% Miktar	% B ₂ O ₃	% Verim
15	Arsenik	2,93	1,75	0,15	30	Arsenik	2,66	3,35	0,27
	Konsantre	68,53	47,57	97,26		Konsantre	77,63	41,52	96,16
	Artık	28,54	3,04	2,59		Artık	19,71	6,08	3,57
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
20	Arsenik	3,25	1,75	0,17	35	Arsenik	2,35	3,42	0,24
	Konsantre	73,58	45,02	98,83		Konsantre	73,32	41,11	89,93
	Artık	23,17	1,45	1		Artık	24,33	13,54	9,83
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100
25	Arsenik	3,17	3,32	0,32	40	Arsenik	2,57	3,95	0,31
	Konsantre	73,67	44,09	96,9		Konsantre	74,74	40,09	89,38
	Artık	23,16	4,03	2,78		Artık	22,69	15,23	10,31
	Besleme	100	33,52	100		Besleme	100	33,52	100



Şekil 6.13. Katı oranına bağlı tenör-verim grafiği

Çizelge ve şekilden görüldüğü gibi katı oranına bağlı olarak tenör de azalma meydana gelmiştir. Verimde ise %25'e kadar artış olmuş daha sonra da verim düşmüştür. Bunun nedeni katı oranı arttıkça seçimliliğin azalması %15 katı oranında oldukça iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen yukarıda dediğimiz sorunlardan dolayı katı oranının % 20 olarak alınması uygun görülmüştür. Çıkan sonuçlara göre %20 katı oranında malzeme % 33,52 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyon sonunda % 45,02 B₂O₃ tenörlü konsantrasyonu % 98,83 verim ile elde edilmiştir.

6.3.2.7. En Uygun Köpük Alma Zamanının Belirlenmesi

Önceden açıklandığı gibi flotasyon işleminde tane-hava kabarcığı agregasının oluşması ve yüzmesi istenir. Flotasyon ortamında bulunan hidrofob tanelerin kabarcıklara yapışıp köpük zonuna çıkması zamana bağlıdır [29]. En uygun flotasyon zamanı aşağıdaki şartlarda yapılan deneye göre saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.10. ve Şekil 6.14.'de verilmiştir.

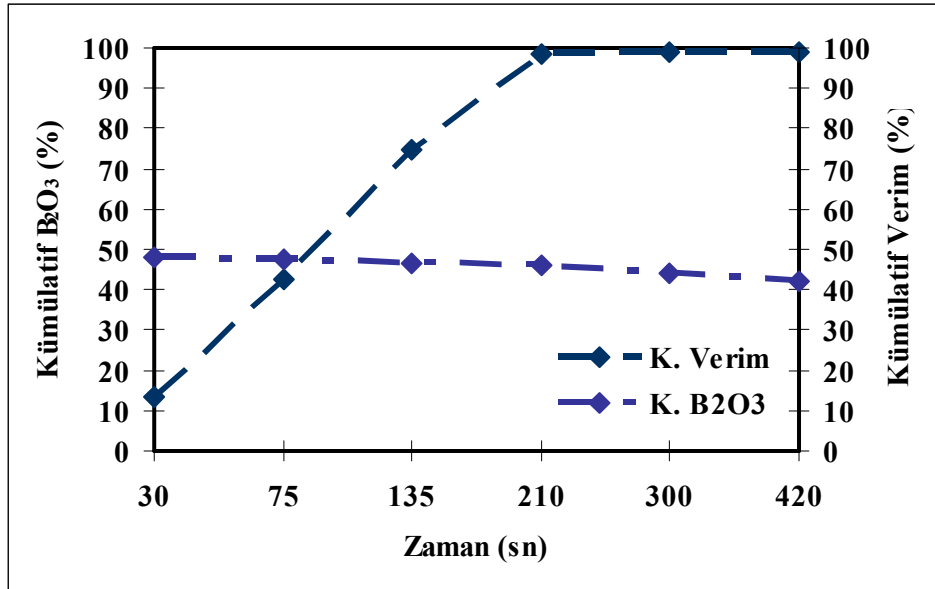
Flotasyon şartları;

- Tane Boyutu (µm) : -150 +38
- Karıştırma hızı (dev/dk) : 1100
- Katı Oranı (%) : 20
- Toplayıcı Cinsi : R-801
- Toplayıcı Miktarı (gr/ton) : 3000
- Bastırıcı Cinsi : Nişasta

- Bastırıcı Miktarı (gr/ton) : 1000
- Kıvam Zamanı (dk) : 2+5
- Flotasyon Zamanı (sn) : 30-75-135-210-300-420

Çizelge 6.10. Zamana bağlı olarak miktar - % kümülatif tenör ve % kümülatif verim değerleri

	Zaman (sn)	Ağırlık (gr)	% B ₂ O ₃	Kümülatif Ağırlık	% Verim	Kümülatif Verim	Kümülatif Tenör
Konsantre - 1	30	30	47,83	30	13,56	13,56	47,83
Konsantre - 2	75	65	47,62	95	29,26	42,82	47,69
Konsantre - 3	135	75	45,21	170	32,05	74,87	46,59
Konsantre - 4	210	55	45,31	225	23,55	98,42	46,28
Konsantre - 5	300	13	3,5	238	0,43	98,85	43,94
Konsantre - 6	420	11	3,7	249	0,38	99,23	42,16
Artık	(-)	59	1,38	308	0,77	100	34,35
Besleme		308	34,35		100		



Şekil 6.14. Zamana bağlı tenör – verim grafiği

Kinetik olarak tanelerin 210 sn (3,5 dk) süreye kadar iyi yüzdükleri görülmektedir. Bu sürede %46,28 B₂O₃ tenörlü konsantre %98,42 verim ile elde edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar;

• Atık barajı numunesi yapılan mineralojik çalışmalara göre kolemanit, kalsit, ortoklaz, muskovit, montmorillonit, illit, dolomit, orpiment ve realgar minerallerinden oluşmaktadır. Ayrıca, yapılan kimyasal çalışmalar sonucunda Hisarcık atık barajı numunesi %27,64 oranında B_2O_3 ve %0,6026 oranında istenmeyen As_2O_3 içermektedir.

• Yapılan 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.

• Doğal pH'da (pH=8,88) pozitif olan kolemanit yüzeyinin negatif yüklü kil mineralleri tarafından kaplandığı belirlenmiştir.

• 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.

• Kolemanit flotasyonundan önce aşağıdaki şartlarda arsenik mineralleri uzaklaştırılabilir.

Arsenik flotasyonu şartları;

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

Kolemanit Flotasyonu Sonuçları

- Kolemanit flotasyonu için ilk etapta en uygun tane boyutu saptanmıştır. Yapılan deneyler neticesinde en iyi sonuç -150 +38 µm boyut grubunda elde edilmiştir.

- Toplayıcı cinsinin belirlenmesi için yapılan deneylerde en iyi değerler R-801 toplayıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Bu toplayıcı ile %36,32 B₂O₃ tenörlü konsantre %48,19 verim ile elde edilmiştir.

- Toplayıcı miktarının belirlenmesi için yapılan deneylerde en uygun sonuç 3000 gr/ton R-801 kullanılarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre 3000 gr/ton R-801'de numune %26,61 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona girmiş, %43,68 B₂O₃ tenörlü konsantre %74,65 verim ile elde edilmiştir.

- Bastırıcı cinsinin belirlenmesi için yapılan deneylerde en uygun sonuç nişasta kullanılarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre nişastada numune %33,52 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona girmiş, %42,33 B₂O₃ tenörlü konsantre %94,73 verim ile elde edilmiştir .

- Farklı bastırıcı miktarlarında yapılmış olan flotasyon deney sonuçlarına göre en uygun sonuç 1000 gr/ton nişasta kullanılarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlara göre 1000 gr/ton nişastada numune %33,52 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyon sonunda, %44,09 B₂O₃ tenörlü konsantre %96,9 verim ile elde edilmiştir.

- Karıştırma hızının belirlenmesi için yapılan flotasyon deneylerinde düşük hızlarda tanelerin yeteri kadar hava kabarcığına yapışmadığı görülmektedir. Yüksek karıştırma hızlarında ise tenör ve verim düşüşü nedeni ile agrega parçalanmaktadır. Bu nedenle en iyi sonuç 1100 dev/dk karıştırma hızında elde edilmiştir.

- Katı oranının belirlenmesi için yapılan flotasyon deneylerinde en iyi sonuçlar %20 katı oranında elde edilmiştir. Numune %33,52 B₂O₃ besleme tenörü ile flotasyona girmiş, %45,02 B₂O₃ tenörü ile konsantre sağlanmış ve %98,83 verim elde edilmiştir.

- En uygun köpük alma zamanının belirlenmesi için yapılan flotasyon deneylerinde, kinetik olarak tanelerin 210 sn (3,5 dk) süreye kadar iyi yüzdükleri görülmektedir. Bu sürede %46,28 B₂O₃ tenörlü konsantre %98,42 verimle elde edilmektedir.

- Yapılan Denver flotasyon deneyleri sonucunda %46,28 B₂O₃ tenörlü konsantre %98,42 verimle aşağıdaki optimum şartlarda elde edilmiştir. Artık tenörü %1,38 B₂O₃ 'dür.

Optimum deney şartları;

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

Öneriler;

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

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] 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.
- [5] 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.
- [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] EĞİAD, Dünya Bor Stratejisi ve Borun Türkiye İçin Önemi.
- [14] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, www.etimaden.gov.tr
- [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 ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Grubu, Ankara, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [17] BOR LTD. www.boraxtr.com
- [18] Yılmaz İ., 2002, Türkiye’de Bor Üretimi ve Zenginleştirme Alternatifleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Projesi, Isparta, Türkiye, Ocak.
- [19] Ceylan, T., 2003, Kestelek Bor Madenleri İşletmesi Cevher Hazırlama Tesisi -3 mm 1.Klasifikatör Çökeni Malzemenin Pervaneli Dağıtıcıda Zenginleştirme Çalışmaları, Lisans Tezi, DPÜ Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, Eylül.
- [20] Ayok, T., Tolun, R., Düşük Tenörlü Kolemanit Atıklarının Flotasyon Yöntemi ile Konsantrasyonu, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Yayını
- [21] Aytekin, Y., 1995, Maden Mühendisliğine Giriş, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye.
- [22] Serpek, E., 2003, Bor Mucizesi II: Kullanım Alanları PİVOLKA
- [23] Helvacı, C., Türkiye Borat Yatakları, TMMOB, Jeoloji Maden Mühendisleri Odası
- [24] Uçar, A., 2003, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Tesisleri, DPÜ, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, Kütahya, Türkiye.
- [25] Bentli, İ., Özdemir, O., Çelik, M.S., Ediz, N., 2002, Bor Atıkları ve Değerlendirme Stratejileri, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, Türkiye.
- [26] 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.
- [27] Kaytaç, Y., Önal, G., Güney, A., 1986, Bigadiç Kolemanit Atıklarının Değerlendirilmesi, I.Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu.
- [28] 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.
- [29] Öteyaka, B., 2004, Flotasyon Prensipleri, Ders Notları, DPÜ, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye.
- [30] Özkan, Ş.G., Veasey, T.J., 1994, The Effect of Slime Coatings on Colemanit Flotation, Progress in Mineral Processing Technology, Balkema, Rotterdam.
- [31] Çelik, M.S., Elma, İ., Müdüroğlu, M., Ultrasonik Ortamın Şlam Kaplı Kolemanitin Flotasyona Etkisi, İTÜ, Cevher ve Kömür Hazırlama. İstanbul, Türkiye.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- [32] Özkan Ş.G., Alp M.S., Veasey T.J., “Emet Kolemanit Cevheri Üzerindeki Flotasyon Çalışmaları” Türkiye 13.Madencilik Kongresi, Türkiye, 1993.
- [33] Bulut, G., Ören, E., Acarkan, N., Bakan, S., 2004, Tinkal Atığına Uygulanan Flotasyon Çalışmaları, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, Türkiye.
- [34] Gül, A., Kaytaz, Y., Önal, G., 2005, Beneficiation of Colemanite Tailings by Attrition and Flotation, Proceedings of Xth International Mineral Processing Symposium, İstanbul, Türkiye.
- [35] Hançer, M., Kaytaz, Y., Çelik, M.S., 1993, Doygun Çözeltilerde Boraks Flotasyonunun Anyonik ve Katyonik Reaktiflerle İncelenmesi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi.
- [36] Çelik, M.S., Hançer, M., Miller, J.D., 2002, Flotation Chemistry of Boron Minerals, ITU Mining Faculty Minerals and Coal Processing,
- [37] Koca, S., Koca, H., Savaş, M., 2003, Flotation of Colemanite from Realgar, Osmangazi Üniversitesi Eskişehir, Türkiye.
- [38] Özkan, Ş.G., Acar, A., 2003, Investigation of Impact of Water type on Borate Ore Flotation, Mining Engineering Dep.Engineering Faculty, IU. Institute of Science and Technology, İstanbul, Türkiye.
- [39] Uçar, A., 2004, Kolloid ve Yüzey Kimyası, DPÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Cevher Hazırlama, Ders Notları, Kütahya, Türkiye.
- [40] www.zeta-meter.com
- [41] Koca, S., Savaş, M., 2003, Contact Angle Measurements at the Colemanite and Realgar Surface, Maden Mühendisliği Bölümü Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- [42] Gülensoy, H., 1961, Türkiye’deki Bor Mineralleri ile Bunların Dehidrolanmaları, Çözünürlükleri ve Katı Cisim Reaksiyonları, Şirketi Mürettibiye Basımevi, İstanbul, Türkiye

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.

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

0,017405 = Eşdeğer miligram

S = 0,5 Normal NaOH sarfiyatı

F = 0,5 Normal NaOH faktörü

T = Numune tartımı

Not:

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

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

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

4. Bütün işlemler kaynar saf su ile yapılır.

Faktör Hazırlama

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

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

F = Faktör

T = Tartım

S = Kullanılan NaOH miktarı

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

% 0,1'lik Metil Kırmızısı Hazırlanışı

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

0,1'lik Fenolftalein Hazırlanışı

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

0,5N NaOH Hazırlanışı

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

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kütahya'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimi Kütahya'da tamamladı. 2001 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 çalışmasını tamamladı.