



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

kolemanit flotasyonunun kimyasal..

Doktora Tezi

çiğdem gözkaman

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R 370-169

Kayıt No

6165

Geliştiği Yer

Fen Bil. Egit.

Tarih

27/10/08

Fiyat

3,50-

Fatura No

Ayaltat No

62

Ek

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Bor Elementinin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri	4
2.2 Türkiye'deki Bor Yataklarının Minerolojisi	6
2.3 Bor Cevherlerinin Üretim Miktarı Ve Endüstride Kullanım Alanları	9
2.4 Dünya Bor Rezervi	10
2.5 Bor Minerallerini Zenginleştirme Yöntemleri	11
2.5.1 Flotasyon ile zenginleştirme	12
2.6 Mineral Yüzeylerinin Flotasyon Özellikleri	17
2.7 Flotasyon Reaktifleri	22
2.7.1 Toplayıcılar	22
2.7.2 Köpürtücüler	24
2.7.3 Kontrol Reaktifleri	26
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
3.1 Deneylerde Kullanılan Cihaz Ve Aletler	28
3.2 Deneylerin Yapılışı	28
3.2.1 Temel bilgiler	29
4 BULGULAR	35
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	62
İNTERNET KAYNAKLARI	66
ÖZGEÇMİŞ	67

Şekil 2.1 Sodyum borat, borik oksit ve borik asit elde etme yolları	5
Şekil 2.2 Borik oksitten bor elemanı eldesi	11
Şekil 2.3 Bir hidrofob yüzey üzerinde hava kabarcığı ve su damlasının durumu	18
Şekil 2.4 Bir hidrofil yüzey üzerinde hava kabarcığı ve su damlasının durumu	18
Şekil 2.5 Θ temas açısının oluşması	19
Şekil 2.6 Anyonik toplayıcıların mineral yüzeylerindeki adsorbsiyonu	24
Şekil 2.7 Katyonik toplayıcıların mineral yüzeylerindeki adsorbsiyonu	24
Şekil 2.8 Köpürtücü moleküllerin su-hava ara yüzeylerinde adsorbsiyonu	25
Şekil 2.9 Köpürtücü moleküllerin hava kabarcığı iç yüzeyinde adsorbsiyonu	25
Şekil 2.10 Köpürtücü moleküllerin su üstünde bir köpükte adsorbsiyonu	25
Şekil 2.11 Değişik pH larda Pirit, Galen ve Kalkopiritin dithiofosfatla flotasyonu	27
Şekil 3.1 Balıkesir-Bigadiç bor işletmesi yer belirleme haritası	28
Şekil 3.2 Kolemanit mineralinin zeta potansiyel eğrisi	30
Şekil 3.3 5 dk. öğütülen kolemanit numunesinin kümülatif elek eğrileri	32
Şekil 3.4 Kullanılan malzemenin normal dağılım eğrisi	32
Şekil 3.5 Flotasyon deneyleri akım şeması	33
Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan flotasyon cihazı	33
Şekil 4.1 Sülfonat toplayıcı ve 1 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	36
Şekil 4.2 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	37
Şekil 4.3 Sülfonat toplayıcı ve 2 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	39
Şekil 4.4 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	39
Şekil 4.5 Saksinamat toplayıcı ve 1 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	41
Şekil 4.6 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	41
Şekil 4.7 Saksinamat toplayıcı ve 2 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	43
Şekil 4.8 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	44
Şekil 4.9 Sülfonat-saksinamat karışımı, 2 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	46
Şekil 4.10 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	46
Şekil 4.11 Sülfonat-saksinamat karışımı, 2 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	48
Şekil 4.12 1200 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	49
Şekil 4.13 Sülfonat-saksinamat karışımı, 4 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	50
Şekil 4.14 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	51
Şekil 4.15 Sülfonat-saksinamat karışımı, 2 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	54
Şekil 4.16 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	54
Şekil 4.17 Sülfonat-saksinamat karışımı, 2 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	54
Şekil 4.18 1750 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	55
Şekil 4.19 Sülfonat-saksinamat karışımı, 4 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	57
Şekil 4.20 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	58
Şekil 4.21 Sülfonat-saksinamat karışımı, 4 lt'lik selülde karıştırma hızının flotasyona etkisi	58
Şekil 4.22 1750 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi	58

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 En yaygın bor mineralleri ve özellikleri.....	7
Çizelge 2.2 Bazı özel bor kimyasallarının kullanım alanları	10
Çizelge 2.3 Dünya bor rezervi.....	10
Çizelge 2.4 Oksitli minerallerin zpc pH ları.....	17
Çizelge 2.5 Sülfürlü ve oksitli minerallerin β ıslanma temas açıları.....	19
Çizelge 2.6 Galen yüzeyi'nde oluşan Θ temas açıları.....	21
Çizelge 3.1 Bor mineralleri titrasyon analizi ve diğer mineraller	28
Çizelge 3.2 5 dk. öğütülmüş kolemanitin elek analizi sonuçları.....	31
Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan reaktif miktarı, zaman ve pH değerleri (sülfonat)	31
Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan reaktif miktarı, zaman ve pH değerleri (saksinamat).....	31
Çizelge 3.5 Deneylerde kullanılan reaktif miktarı, zaman ve pH değerleri (karışım).....	32
Çizelge 3.6 Flotasyon cihazı enerji tüketimi ölçümleri.....	34
Çizelge 4.1 1000 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	35
Çizelge 4.2 1200 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	35
Çizelge 4.3 1400 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	36
Çizelge 4.4 1000 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	37
Çizelge 4.5 1200 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	38
Çizelge 4.6 1400 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	38
Çizelge 4.7 1000 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	40
Çizelge 4.8 1200 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	40
Çizelge 4.9 1400 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	40
Çizelge 4.10 1000 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	42
Çizelge 4.11 1200 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	42
Çizelge 4.12 1400 d/dak da yapılan flotasyon deney sonuçları	43
Çizelge 4.13 2 lt selül ve 1000 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	45
Çizelge 4.14 2 lt selül ve 1200 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	45
Çizelge 4.15 2 lt selül ve 1400 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	45
Çizelge 4.16 2 lt selül ve 1200 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	47
Çizelge 4.17 2 lt selül ve 1400 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	48
Çizelge 4.18 4 lt selül ve 1200 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	49
Çizelge 4.19 4 lt selül ve 1400 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	50
Çizelge 4.20 4 lt selül ve 1400 d/dak da şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları.....	51
Çizelge 4.21 2 lt selül ve 1000 d/dak da şlamsız şartlarında yapılan şlamli deney sonuçları ..	52
Çizelge 4.22 2 lt selül ve 1200 d/dak da şlamsız şartlarında yapılan şlamli deney sonuçları ..	52
Çizelge 4.23 2 lt selül ve 1400 d/dak da şlamsız şartlarında yapılan şlamli deney sonuçları ..	52
Çizelge 4.24 2 lt selül ve 1200 d/dak da şlamsız şartlarında yapılan şlamli deney sonuçları ..	53
Çizelge 4.25 2 lt selül, 1400 d/dak da şlamsız şartlarda yapılan şlamli deney sonuçları	53
Çizelge 4.26 4 lt selül, 1200 d/dak da şlamsız şartlarda yapılan şlamli deney sonuçları	55
Çizelge 4.27 4 lt selül, 1400 d/dak da şlamsız şartlarda yapılan şlamli deney sonuçları	56
Çizelge 4.28 4 lt selül, 1200 d/dak da şlamsız şartlarda yapılan şlamli deney sonuçları	56
Çizelge 4.29 4 lt selül, 1400 d/dak da şlamsız şartlarda yapılan şlamli deney sonuçları	57
Çizelge 4.30 4 lt selül, 1200 d/dak da silikatsız şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçları..	59
Çizelge 4.31 4 lt selül, 1200 d/dak, şlamli 500 g/lt silikatlı şartlarda yapılan deney sonuçları	59
Çizelge 4.32 4 lt selül, 1200 d/dak, şlamli 1000 g/lt silikatlı şartlarda yapılan deney sonuçl..	60
Çizelge 4.33 4 lt selül, 1200 d/dak, şlamli 1500 g/lt silikatlı şartlarda yapılan deney sonuçl..	60

ÖNSÖZ

Bu tez konusunu bana vermek sureti ile ilgi duyduğum bilimsel bir konuda çalışma yapmamı sağlayan, çalışmalarım süresince her türlü desteğini aldığım, tecrübe, fikir ve önerileri ile çalışmalarına ışık tutan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Erdoğan YİĞİT'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince değerli görüş ve önerileri ile beni aydınlatan, çalışmam için gerekli her türlü desteği sağlayan Sayın Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN'a ve İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde çalışmalarımı yapmama imkan tanıyan Sayın Prof. Dr. Ali Kahrıman'a ve deneylerimi gerçekleştirmede yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Faruk Eskibalci'ya ve öğretim görevlilerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımın analizlerin yapılmasına destek olan Eti Maden A.Ş. Bigadiç İşletme Müdürlüğü yetkililerine ve Sayın Dr. Mustafa Zengin'e şükranlarımı sunarım.

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimim boyunca her türlü destek ve yardımlarını gördüğüm Y.T.Ü Metalurji Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet Ekerim'e, öğretim üyelerine, çalışanlarına ve tüm saygıdeğer arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca bana destek olan ve en zor şartlarda bile hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, okul hayatım boyunca başarımın ana kaynağı olarak gördüğüm aileme teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2008

Metalurji Yük. Müh. Çiğdem Gözkaman

ÖZET

Flotasyon uygulamalarında kimyasal ve mekanik parametreler, karıştırma hızı (dev/dak), verilen hava debisi (cm^3/dak), katı konsantrasyonu (g/lt) ve birim hacime düşen enerji (watt/cm^3) konsantre tenör ve randımanlarına etki eden önemli faktörlerdendir. Avustralya'nın Northern Territories eyaletinin McArthur Çinko-Kurşun cevherleri flotasyonunda karıştırma hızı ve pülpe verilen hava debisinin önemini gösteren testler yapılmıştır. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen parametreler Bigadiç yöresinin Kolemanit cevherlerinin, laboratuvarında yapılan flotasyon testlerinde denenmiştir.

Kolemanit cevheri; Kolemanit, Kalsit ve Kil minerallerinden (İllit) oluşmakta ve ortalama analizleri % 31,67 B_2O_3 , % 30,29 CaO, % 13,37 serbest CaO, % 4,0 SiO_2 , % 1,95 MgO, % 0,13 Na_2O ve % 0,10 FeO içermektedir.

Flotasyon testleri Kolemanit mineralinin tampon etkisi altında pH 9,5 civarında gerçekleştirilmiştir. pH 9,5 değerleri altında hem Kolemanitin hem de Kalsitin yüzeyleri pozitif işaretli olduğu için Kolemanit için seçici bir Anyonik Toplayıcı seçmek ilk amaç olmuştur.

İlk olarak sülfonatla değişik pülp katı konsantrasyonları, 1 ve 2 lt'lik selüllerle, 200 g/lt ve 100 g/lt katı konsantrasyonları ve 1000 dev/dak, 1200 dev/dak ve 1400 dev/dak ile yapılan testlerde ise sülfonat Kalsit minerallerini yüzdürmede seçici olmuş altta kalan atıkta kolemanit zenginleşmiştir. Saksinamat ile yapılan testlerin 1 lt'lik selüllerle yapılan testlerde de Toplayıcı Saksinamat, Kalsit mineralleri için seçici olurken 2 lt'lik selüllerde durum değişmiş bu kez Saksinamat Kolemanit mineralleri için seçici olarak artıkda Kalsit zenginleşmiştir.

Daha sonra yapılan çok sayıda testlerle Sülfonat-Saksinamat karışımının Kolemanit için yüzdürmede çok seçici olduğu bulunmuştur. Bundan sonraki testler bu Toplayıcı karışımı ile ve cevher öğütüldükten sonra takriben 10 mikron altındaki malzemenin ağırlıkça % 30 unun şlam olarak atılmasından sonra gerçekleştirilmiştir.

2 lt'lik ve 4 lt'lik sellüllerle yapılan değişik karıştırma hızı, hava debisi ve pülp katı konsantrasyonlardaki testlerde önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kolemanitin flotasyonunda optimum şartlar için kritik bir alt karıştırma sınırı olduğu gibi kritik bir üst karıştırma sınırı da mevcuttur.

2. 2 lt'lik sellüllerle yapılan flotasyon testlerinde Kolemanit ve Kalsit + Kil mineralleri ayırımlarında başarılı olunmuş en yüksek tenör % 44,61 B_2O_3 1000 dev/dak karıştırma hızı ve 1000 cc/dak hava debisinde elde edilmiştir. Karıştırma hızı 1200 dev/dak'ya çıktığında tenör % 42,69 B_2O_3 'e düşmüşse de ayırma kriteri, randımandaki artış dolayısı ile 34,07'den 36,78'e çıkmıştır.

Daha yüksek karıştırma hızı ve hava debilerinde hem tenörlerde hem de ayırma kriterlerinde düşüş söz konusudur. Bu değerlerde Kolemanit flotasyonunda bir kritik üst karıştırma ve hava debisi sınırları olduğunu göstermektedir. Bu sınırlar aşıldığında toplayıcı karışımının Kolemanit mineraline karşı seçiciliği azalmaktadır.

3. 4 lt'lik selüllerle yapılan flotasyon testlerinde Kolemanit ve Kalsit + Kil minerallerinin ayırımında daha da başarılı olunmuştur. Burada görülmüştür ki yapılan testlerde yalnızca karıştırma hızında bir üst sınır söz konusu değil bir de karıştırma hızı alt sınırı söz konusudur. 1000 dev/dak karıştırma hızı ve 1000 cm^3/dak hava debisi ile yapılan testlerde reaktif ilaveleri

ve şartlandırma karıştırması sonrası flotasyon gerçekleşmemiş fakat diğer şartlar aynı kalarak karıştırma hızı 1200 dev/dak'ya çıkarıldığında flotasyon gerçekleşmiştir.

4lt'lik selüllerde yapılan flotasyon testlerinde optimum sonuçlar 1200 dev/dak karıştırma hızı ve 1000 cm³/dak hava debisi ile % 44,15 B₂O₃ tenör ve 37,33 ayırma kriteri ile elde edilmiştir. Burada da kritik bir üst karıştırma hızı sınırı söz konusudur. 1400 dev/dak karıştırma hızı hem tenörlerde hem de ayırma kriteri değerlerinde düşüşler söz konusudur.

Kullanılan toplayıcı karışımı ile yapılan testlerde elde edilen en iyi sonuçlar 1200 dev/dak karıştırma hızı, 1000 cm³/dak hava miktarı 50 g/lt pülp katı konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bu şartlarda % 45 B₂O₃ tenörlü Kolemanit konsantrelerinin şlamsızlaştırma sonrası % 60-70 randımanla elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, flotasyon, kimyasal, mekanik, parametre, karıştırma hızı, hava debisi, ayırma kriteri, pülp

ABSTRACT

Some chemical and mechanical parameters such as agitation intensity rpm, airflowrate cc/min, pulp solid concentration g/lit, energy input watt/cc are important parameters in flotation practice affecting grades and recoveries of concentrates.

In the past E.Yigit carried out laboratory flotation tests on McArthur River ore of Northern Territories of Australia showing the importance of agitation intensity and air flowrate. In the present work the above parameters were tested on Colemanite ore of Bigadiç district of Turkey. Colemanite ore of Bigadiç district of Eti Mining consisted of Colemanite and Calcite+Clay minerals (Illite) and average assay values were below.

31,67 % B_2O_3 , 30,29 % CaO, 13,37 % free CaO, 4,0 % SiO_2 , 1,95 % MgO, 0,13 % Na_2O and 0,10 FeO.

The flotation tests were carried out at the pH of about 9,5 under the buffer effect of Colemanite. Under this pH of 9,5 the surfaces of Colemanite and Calcite minerals are + signed. Therefore to choose an anionic collector sensitive only to Colemanite minerals was first step. In the flotation tests using sulphanate collectors with 1 lt and 2 lt cells, with 200 g/lt and 100 g/lt pulp solid concentrations and at 1000, 1200, 1400 agitation intensities Calcite minerals were floated preferentially against Colemanite minerals. In the flotation tests using Succinamate with 1 lt cells, 200 g/lt solid concentration Calcite minerals were floated again against Colemanite minerals. In the flotation tests using Succinamate with 2 lt cells, 100 g/lt solid concentration Colemanite minerals floated against Calcite minerals contrary to expectations.

After completion of many flotation tests it was found that a Sulphanate and Succinamate mixture was selective for Colemanite minerals against Calcite minerals. Thereafter flotation tests were carried out using this collector mixture. Feed material consisted of Colemanite ore after desliming namely discarding of -10 micron particles and with about 30 % weight loss.

The results obtained using different agitation intensities and air flowrates and pulp solid concentrations with 2 and 4 lt cells are given below.

There are critical upper and lower limits of agitation intensities and air flowrates for Colemanite minerals flotations at optimum conditions.

The flotation tests with 2 lt cells separation of Colemanite and Calcite + Clay minerals were succesful. The highest grade of Colemanite Concentrate of 44,61 % B_2O_3 was obtained at 1000 rpm agitation intensity and 1000 cc/min air flowrate. After the increase agitation intensity to 1200 rpm the slight decrease of Colemanite concentrate grade to 42,69 % B_2O_3 was evident but separation index was increased from 34,07 to 36,78.

At higher agitation intensities and air flowrates grades of Colemanite concentrates and separation indexes were decreased. This phenomena indicates the presence of critical agitation intensities and air flowrate limits. Exceeding these limits (Colemanite minerals) the selectivity of against Calcite minerals in the flotation with present collector mixture decreases.

In the flotation tests with 4 lt cells separation of Colemanite minerals from Calcite+Clay minerals were more succesful. In these tests not only presence of upper critical intensity but the presense of lower critical intensity were apparent.

The flotation tests at 1000 rpm agitation intensity and 1000 cc/min air flowrate after reagent additions and conditioning were not succesful. But increasing agitation intensity to 1200 rpm

keeping all the other condition same resulted in a succesful flotation

The best results of 4 lt cell flotation tests were obtained at 1200 rpm agitation intensity and 1000 cc/min air flowrate as 44,15 % B_2O_3 Colemanite concentrate grade and 37,33 separation index were obtained.

Here also also critical upper limits of agitation intensities and air flowrates are present. Exceeding these limits the drops in grades and separation index are inevitable.

Best results with this collector mixture were obtained at 1200 rpm agitation intensity, 1000 cc/min air flowrate and 50 g/lt pulp solid concentration. At above conditions it is possible to produce Colemanite concentrates of 45 % B_2O_3 grade with 60-70 % recovery after desliming of 10 micron material with 30 % material loss.

Keywords: Colemanite, flotation, chemical, mechanical, parametre, mixture, airflowrate, seperation index, pulp

1. GİRİŞ

Flotasyon ile zenginleştirme günümüzün en önemli ve en çok kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden biridir. Bugün Dünya üzerinde bulunan zengin maden yataklarının artık tamamıyla tükenmesi sonucu tenörleri düşük fakir cevher yataklarının değerlendirilmesi mecburiyeti ortaya çıkmıştır. Bu fakir cevher yataklarının tenörleri metal çeşitlerine göre değişmekte olup genel bir kural olarak metalin değeri ile doğru orantılıdır. Altın ve platin gibi değerli asal metallerde bu ekonomik tenörler yatağın işletme masraflarına bağlı olarak tonda birkaç gramdan bakır, çinko ve kurşun gibi metallerde yüzde rakamlara çıkmaktadır.

Fakir cevherlerin değerlendirilmesi esnasında ortaya çıkan diğer bir problem bu cevherler içindeki minerallerin serbest hale getirilmeleri için çok ince boyutlara öğütülmeleri gereğidir. Fakir cevherlerin değerlendirilmesi ilk önce özgül ağırlığa dayalı zenginleştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla başlamıştır. Bu yöntemlerin birkaç mikron mertebesindeki çok ince tanelerde başarılı olamaması nedeniyle diğer metodların arayışları içerisinde flotasyon yöntemi uygun bir yöntem olarak bulunmuş ve son yüzyıl içerisinde geliştirilmiştir.

Flotasyon yönteminin avantajlarından biri de ayırım yapılacak mineraller arasında farklı fiziksel özellikler mevcudiyetinin gerekli olmaması, minerallerin yüzeylerinin fiziko kimyasal özelliklerinden yararlanılmasıdır. En önemli avantaj ise, bu yüzeysel özelliklerin pülp içine katılan kimyasal reaktiflerle değiştirilebilmesi, ayarlanabilmesi ve kontrol edilebilmesidir.

Önceleri yalnızca özgül ağırlığı birbirinden çok farklı serbestleşmiş taneler birbirinden ayrılabilirken özgül ağırlıkları birbirine benzer taneler de flotasyon yöntemi ile yüzeysel özelliklerdeki farklılıklar dolayısıyla birbirinden ayrılabilir. Bu ayırma işlemi 5-10 mikron gibi ince tane boyutlarında daha etkili şekilde yapılabilir.

Flotasyonun kelime manası “yüzme, yüzdürme”dir. Bu yüzmeden anlaşılan, Arşimet prensibine bağlı özgül ağırlığa dayalı bir yüzme değildir. Ayırma ortamı su olup, bu ortamda yüzen mineraller özgül ağırlıkları sudan az oldukları için yüzmezler. Bu minerallerin flotasyon işlemi esnasındaki yüzmelerini çelik gövdeli gemilerin yüzmelerine benzetebiliriz. Çelik gövdeleri ile gemiyi oluşturan hacmin büyük kısmının havadan oluşması dolayısıyla gemi gövdesinin ortalama özgül ağırlığının, suyun özgül ağırlığı 1’den az olduğu için yüzer. Flotasyon işleminde de pülpe verilen hava kabarcıklarına yapışan taneler özgül ağırlıkları 1’den az köpükler oluşturarak yüzerler ve suyun yüzeyinde bir köpük tabakası oluştururlar.

Flotasyon işleminde mineral tanelerinin hava kabarcıklarına yapışması veya yapışmaması bu mineral tanelerinin yüzeylerinin yukarıda da belirtildiği gibi fiziko-kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler pülpe verilen reaktiflerle kontrol edilir ve istenen minerallerin hava kabarcıklarına yapışması istenmeyenlerin yapışmaması sağlanır. Bu kontrol o şekilde olabilirki flotasyon işlemi esnasında dahi bu özellikler değiştirebilir. Yani bir aşamada hava kabarcıklarına yapışan bir tane ikinci aşamada hava kabarcığına yapışmaz hale getirebilir.

Flotasyon işlemi esnasında minerallerin yüzeysel fonksiyonlarını kontrol eden kimyasal reaktifler yaptıkları fonksiyonlara göre; kollektörler, canlandırıcılar, bastırıcılar, pH ayarlayıcılar ve köpürtücüler olarak sınıflandırılırlar. Bunların yapıları ve gördükleri fonksiyonlar ilerdeki bahislerde detaylı olarak incelenecektir.

Bugün dünyadaki metalik minerallerin zenginleştirme tesislerinin büyük çoğunluğu flotasyon tesisleridir. Flotasyonla en kolay zenginleştirilebilen mineraller sülfürlü mineraller olup bunların başında bakır mineralleri gelmekte bunları çinko, kurşun ve diğer sülfürler takip etmektedir. Oksitli metalik cevherler, silikat minerallerinden oluşan endüstriyel mineraller de flotasyon işlemi ile geniş çapta zenginleştirilmektedirler. Dünyada flotasyon işlemi ile zenginleştirilen minerallerin toplamı milyonlarca tonu bulmaktadır. Kömür yıkamalarında da metalik cevherlerde kullanılan ölçüde olmasa bile flotasyon yöntemi gittikçe artan ölçülerde kullanılmaktadır. Bugün için kömür yıkamalarında bu oran %50 civarında denebilir (Yiğit ve Özkan, 2007).

Kolemanit flotasyonu için gerekli özellikte toplayıcı (kollektör) reaktiflerin seçimi; Kolemanit'in yüzey potansiyeli (zeta potansiyeli) verilen referanstan da (negatif) görüleceği üzere yüksek pH lara kadar (pH 9-10) pozitif işaretlidir. Dolayısı ile pozitif işaretli mineral yüzeyleri için anyonik kolektörler gereklidir. Bu bakımdan diğer araştırmacıların önceden denediği gibi (Yarar, Özkan, Sabri Çelik) sülfonatlar seçilmiş, bunun yalnızca kolemanit için seçici olmadığı görüldükten sonra yine anyonik bir kolektör olan saksinamat reaktifi yalnız ve sülfonatla beraber kullanılarak flotasyon testleri yapılmıştır.

Genel olarak flotasyonda, karıştırma hızı (dev/dak), hava kabarcıkları için hava debisi ve pülpteki katı oranı'nın etkileri genellikle laboratuvarında yapılan flotasyon testlerinde ölçülmez. Bu konuda kapsamlı bir çalışma (Yiğit, 1994) tarafından sülfürlü bir cevher olan Avustralya'nın Mc. Arthur River cevherinde yapılmış olup şimdiye kadar literatürde diğer bir yayına rastlanmamıştır. Yukarıda ifade edilen karıştırma hızı dev/dak, hava debisi cm^3/dak ve pülpteki katı oranının kolemanit flotasyonuna etkilerini ölçmek amacıyla bu araştırma

yapılmıştır (Yiğit 1994).

Bor mineralleri flotasyonu yine önemli bir konu olarak karşımızdadır. Bu çerçevede bilimsel çalışmalar olarak kolemanitin flotasyonu (B.Yarar, Ş.Özkan ve diğerleri) çok incelenmiştir. Türkiyede kolemanit minerali üretimi esas olarak Bigadiç ve Emet civarında, Eti Maden A.Ş. tarafından yapılmaktadır. Çalışmalarımızda Bigadiç cevheri, empüriteden daha arındırılmış olduğu için seçilmiş ve Eti Maden A.Ş. hem minerallerin tedariki ve hem de analizlerin yapılmasında bize destek vermiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Bor Elementinin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Bor elementi yaklaşık 3 ppm'lik konsantrasyon değerine sahiptir. Kimyasal sembolü 'B' olup, periyodik cetvelde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir. Atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81 ve özgül ağırlığı 2,30-2.46 gr/cm³ olan bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengi ve çok gevrek, sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Ergime noktası yaklaşık 2300°C'dir (Çelik, 2003). Bor içeren doğal minerallere genel olarak boratlar denilmekte ve boratlar insanoğlu tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Genellikle avrupada borat sırlama ve lehimleme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Türkiye'deki boratlar ise 13. yy' dan beri bilinmesine rağmen son zamanlara kadar çok az miktarda kullanılmıştır. İtalya, Şili ve Arjantin'de bulunan yataklar 19. yy sonlarına kadar dünyada bor elde edilen en büyük kaynaklar haline gelmiştir (Adnan ve Baykut, 1987). 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 (Özkan vd., 2007)

Bor elementinin bulunma oranı volkanik kayalarda 3 ppm, sularda ise 110 ppm'dir. Yerkabuğunda 10 ppm, deniz suyunda 3-5 ppm düzeyinde bulunan bor elementine doğada saf halde rastlanmaz (Anon, 1993).

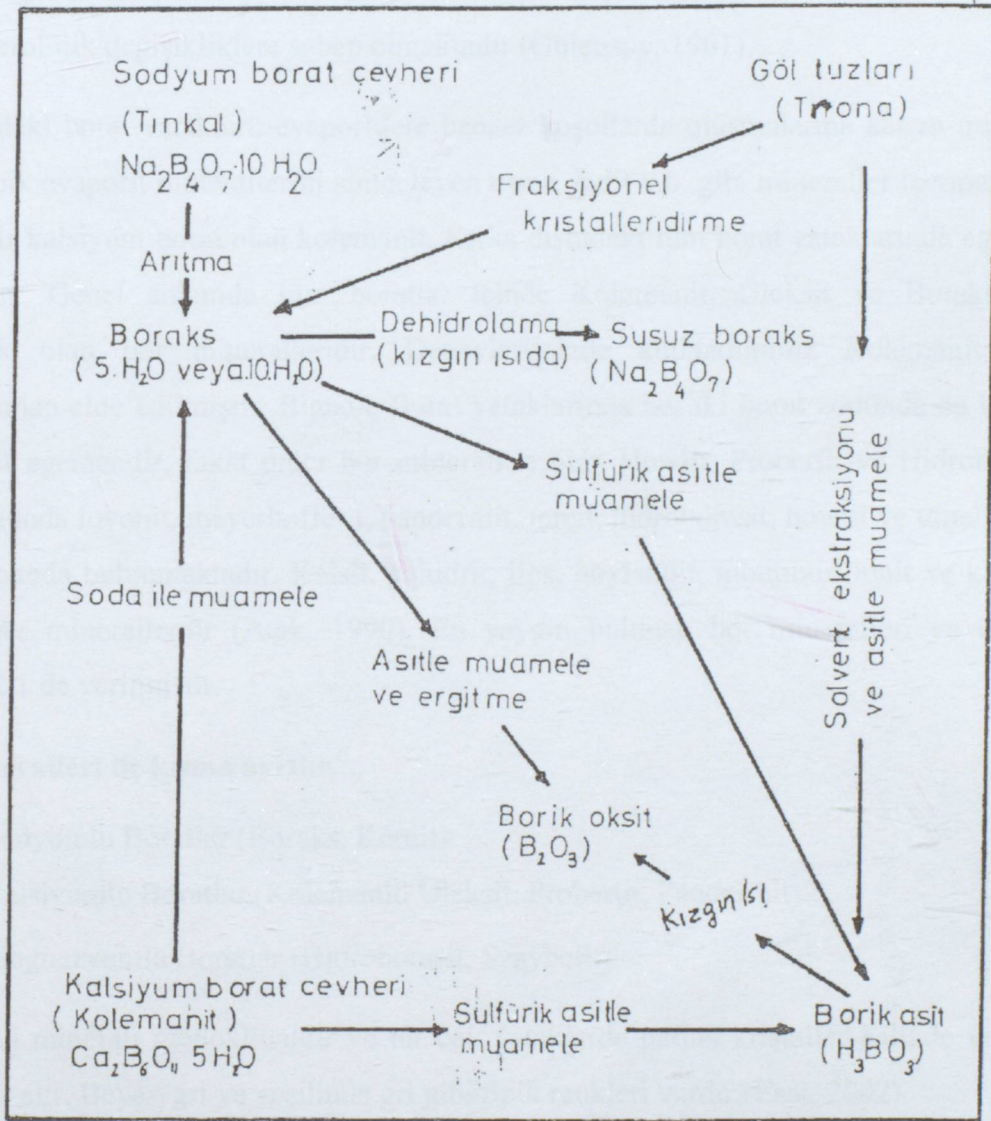
Bor'un elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Diğer metalik özelliklerinin çok az olmasından dolayı ametaldir (Anon, 1989).

Na₂B₄O₇·10H₂O formüllü boraks, kernit, kolemanit v.b borakstan borik anhidrit (B₂O₃) elde edilebilir. Bu maddenin magnezyum aracılığıyla indirgenmesi yada magnezyum florür içeren bir karışımın elektrolizi, yoğunluğu 1,7 gr/cm³ olan, siyahımsı toz halinde amorf bir elementini verir. Alüminotermi yoluyla indirgenmesinden de yalnızca alüminyum brorür billurları elde edilir (Anon, 1989).

Bor elemanı yer kabuğunun %0.001-0.003'ünü teşkil etmekle beraber, tabiatla birçok kayacın yapısında mevcuttur. Dünyada bor minerali olarak vasıflandırılan 58 bileşik vardır. Bor'un elementer halde kullanılışı daha az yaygın olup yenidir; fakat bor minerallerinin Avrupa'ya Marko Polo tarafından getirilmiş olduğu söylenir. Bugün bor bileşikleri günlük ve endüstriyel hayatın her yönüne girmiştir. Öyle ki bor, mucizevi eleman olarak anılmaktadır. Bu bileşiklerin kullanılış alanlarının listesi uzun bir yer tutar. Bununla beraber nispeten daha çok

tanınan bazı kullanılış alanları ve önemli başlangıç maddeleri kernit, kolemanit, üleksit ve boraks birer mineraldir ve gerekli saflık derecesinde iseler doğrudan doğruya kullanılabilirler ve/veya B_2O_3 , H_3BO_3 gibi bileşiklerin hazırlanmasında başlangıç maddesi olurlar (Yarar, 1970). Bor elementi ile ilgili literatürde birçok araştırma mevcuttur ve bu araştırmalar çeşitli şartlardaki bor'un kimyasal davranışını gösterir (Gonfiantini, 2006).

Boraks, borik oksit ve borik asit elde edilmesi yollarını gösteren şematik bir diyagram Şekil 2.1'de verilmiştir (Yarar, 1970).



Şekil 2.1 Sodyum borat, borik oksit ve borik asit elde etme yolları (Yarar, 1970)

2.2 Türkiye'deki Bor Yataklarının Mineralojisi

Batı Anadolu bölgesinde rastlanan bor minerallerinin en başlıcaları Kolemanit, Pandemit, Üleksit ve Howlit'tir. Ancak pandemit yatakları bugün tükenmiş vaziyettedir. Pandemit ve Kolemanit birer kalsiyum-hidro borat, Howlit ise Ca-hidro siliko borat'tır. Her üç mineralin de ihtiva ettikleri billur suları, temperatüre bağlı olarak bünyeden çıkarılabilmektedir. Mevcut billur suyunun tamamının çıkması 450-500°C civarında son bulmaktadır. Isıtılmak sureti ile billur suyu def edilmiş pandemit, kolemanit ve howlit numunelerinin sudaki çözünürlüklerinin arttığı ve su ile teşkil ettikleri çözeltilerin pH' larının 8,50-9.00 civarında olduğu tespit edilmiştir. CO₂ li sular bu minerallerin çözünürlüğünü daha da arttırmakta ve bazı minerolojik değişikliklere sebep olmaktadır (Gülensoy, 1961).

Türkiye'deki borat yatakları, evaporitlere benzer koşullarda oluşmalarına karşın minerolojik olarak tipik evaporit minerallerini simgeleyen trona, halit v.b. gibi mineraller içermezler. Çok yaygın bir kalsiyum borat olan kolemanit, Kırka dışındaki tüm borat yataklarında egemen bir mineraldir. Genel anlamda tüm boratlar içinde Kolemanit, Üleksit ve Boraks başlıca ekonomik olan bor mineralleridir. Deneylerimizde kullandığımız Kolemanit Bigadiç yataklarından elde edilmiştir. Bigadiç Borat yataklarında her iki borat zonunda da kolemanit ve üleksit egemendir, fakat diğer bor mineralleri olan Howlit, Probertit ve Hidroborasit alt borat zonunda inyonit, meyerhofferit, pandemit, terçit, hidroborasit, howlit ve tünellit ise, üst borat zonunda bulunmaktadır. Kalsit, anhidrit, jips, höylandit, montmorillonit ve klorit eşlik eden diğer minerallerdir (Atak, 1990). En yaygın bulunan bor mineralleri ve özellikleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Bor Mineralleri üç kısma ayrılır.

- 1) Sodyumlu Boratlar (Boraks, Kernit)
- 2) Kalsiyumlu Boratlar (Kolemanit, Üleksit, Probertit, Pandemit)
- 3) Magnezyumlu Boratlar (Hidroborasit, Szaybelit)

Kolemanit minerali monoklinaldır ve bir çok yataklarda parlak kristaller halinde ve oyuklar içinde yer alır. Beyaz-gri ve yeşilimsi gri gibi tipik renkleri vardır (Esat, 2002).

Türkiye'deki kolemanit cevheri tezahür sahaları devlet ve birçok hususi müesseseler tarafından işletilen kolemanit yatakları Batı Anadolu bölgesinde merkezleri M.K.Paşa, Balıkesir, Bigadiç ve Emet olan sahalarda toplanmıştır Dünya'da ise ABD'de bulunur. (Gülensoy, 1961).

Çizelge 2.1 Türkiye’de bulunan bor mineralleri ve B₂O₃ içerikleri (Eskibalci, 2007).

Mineral	Kimyasal Bileşimi	%B ₂ O ₃	Bulunduğu Yatak
İnyoit	2CaO.3B ₂ O ₃ .13H ₂ O	37,62	Kırka, Bigadiç
Meyerhoferit	2CaO.3B ₂ O ₃ .7H ₂ O	46,72	Kırka, Emet, Bigadiç
Kolemanit	2CaO.2B ₂ O ₃ .5H ₂ O	50,81	Kırka, Emet, Bigadiç, Susurluk, Kestelek
Terşit	4CaO.5B ₂ O ₃ .20H ₂ O	37,32	Bigadiç
Pandermit	4CaO.5B ₂ O ₃ .7H ₂ O	54,59	Bigadiç, Susurluk
Uleksit	Na ₂ O.2CaO.5B ₂ O ₃ .16H ₂ O	42,95	Kırka, Emet, Bigadiç, Kestelek
Probertit	Na ₂ O.2CaO.5B ₂ O ₃ .10H ₂ O	49,72	Kestelek
Tinkal	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .10H ₂ O	36,51	Kırka
Tinkalkonit	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .5H ₂ O	47,80	Kırka
Kernit	Na ₂ O.2B ₂ O ₃ .4H ₂ O	51,02	Kırka
Hidroborasit	CaO.MgO.3B ₂ O ₃ .6H ₂ O	50,53	Kırka, Emet, Bigadiç
Inderborit	CaO.MgO.3B ₂ O ₃ .11H ₂ O	41,49	Kırka
Inderit	2MgO.3B ₂ O ₃ .15H ₂ O	37,32	Kırka
Kurnakovit	2MgO.3B ₂ O ₃ .15H ₂ O	39,89	Kırka
Tunellit	4SrO.3B ₂ O ₃ .4H ₂ O	54,32	Kırka, Emet, Bigadiç
Vicit-A	4SrO.11B ₂ O ₃ .7H ₂ O	58,16	Emet
Howlit	4CaO.5B ₂ O ₃ .2SiO ₂ .5H ₂ O	44,49	Bigadiç, Susurluk
Terujit	4CaO.MgO.6B ₂ O ₃ .AsO ₅ .4H ₂ O	32,76	Emet
Kahnit	4CaO.B ₂ O ₃ .AsO ₅ .4H ₂ O	11,69	Emet

Boraks (Tinkal) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) [$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$]

Renksiz ve saydam olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2,5, özgül ağırlığı 1,7'dir. B_2O_3 içeriği %36,5'dir. Tinkal çabuk bozunarak suyunu kaybederek tinkalkonit'e dönüşebilir. Kille arakatkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında bulunmaktadır.

Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) [$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]

Renksiz, saydam beyaz, uzunlamasına bireysel iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95. Atmosferik koşullarda tinkalkonit'e dönüşür. Soğuk suda yavaş çözünür. B_2O_3 içeriği %51,0'dir. Kırka'da Na-borat kütlesinin derin kısımlarında bulunur. Dünya'da ise Arjantin ve A.B.D.'de bulunur.

Üleksit 2($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) [$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$]

Masif, karnabahar, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Sertliği 1, özgül ağırlığı 1,96'dır. Saf olanı beyaz olup gri renk tonlarında da bulunabilir, ipek parlaklığında olanları da vardır. Kolemanit, hidroborasit ve probertit ile birlikte bulunur. B_2O_3 içeriği %43,0'dir. Türkiye'de Kırka, Bigadiç ve Emet'te, dünyada ise Arjantin'de bulunmaktadır.

Probertit 2($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) [$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$]

Kirli beyaz, açık sarımsı renklerde olup ışınal ve lifsi şekilli kristaller şeklinde bulunur. Sertliği 3,5 özgül ağırlığı 2,14'dür. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir. B_2O_3 içeriği %46,6'dir. Kestelek yataklarında üleksitin yanında ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak Emet'te uniform tabakalı birincil olarak, Doğanlar-İğdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak bulunur.

Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot \text{H}_2\text{O}$) [$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$]

Kolemanit, monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42 gr/cm³'tür. B_2O_3 içeriği %50,9'dur. Suda yavaş, hidroklorik asitte hızla çözünür. Bor bileşiklerinde içinde en yaygın olanıdır (Gülgönül,1990). Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur.

Pandermit ($\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{17} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) [$2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$]

Beyaz renkte ve yekpare olarak gözükmetedir. Sertliği 3, özgül ağırlığı 2,3'dür. Kireçtaşına

benzemektedir. Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Zaman içinde kolemanit ve kalsite dönüşmektedir. B_2O_3 içeriği %49,8'dir.

Hiroborasit ($CaMgB_6O_{11}.6H_2O$) [$CaO.MgO.3B_2O_3.6H_2O$]

Bir merkezden ışınsal ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeleri halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği %50,5'dir. Beyaz renkte bazen içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak sarı veya kırmızımsı renklerde (arsenik içeriğine göre) ve kolemanit, üleksit, probertit, tunelit ile birlikte bulunur. Türkiye'de en çok Emet-Doğanlar-İğdeköy sahasında ve Kestelek'te rastlanır (Sümer, 2004).

2.3 Bor Cevherlerinin Üretim Miktarı ve Endüstride Kullanım Alanları

Türkiye'nin madenciliği açısından bor mineralleri üretimi çok önem taşımaktadır. Dünya bor minerallerinin takriben % 72 si Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiye'nin artan madencilik ürünleri ihracatında da bor mineralleri'nin ham ve son ürün olarak payı da takriben % 66 dır. Ve de temiz enerji tüketimi açısından hidrojenin yakıt olarak kullanılmasında kimyasal formülü "BH" olan borhidroksit'in önemi de çok fazladır. Bütün bunlar dikkate alındığında bor minaralleri'nin Türkiye için önemi açıktır. Bu kapsamda bor mineralleri'nin zenginleştirilmesi de Türkiye ve genel olarak çok önemli bir konudur.

Üretilen bor minerallerinin %10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken, geriye kalan %90 oranındaki kısmı bor cevherlerinden üretilen borat ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır.

Dünyada bor tüketimi yüksek olmasına karşın tüketim alanları ülkelere göre çarpıcı şekilde sektörel bazda değişim göstermektedir. A.B.D'de ana tüketim sektörü izolasyon ve cam sanayi iken Avrupa ülkelerinde ise sabun ve deterjan sektörü, Japonya'da fiberglas ve tekstil sektörüdür. Belli başlı tüketim alanlarını; Cam ve Seramik sanayi, yanmayı önleyici maddeler, sabun ve deterjan sanayi, metalurji, tarım, nükleer sanayi, diğer sanayi sektörlerini oluşturur (Eskibalcı, 2007).

Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Bazı özel bor kimyasallarının kullanım alanları (Yarar, 1970).

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Piroteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık için Kompozitler, Spor malzemeleri için Kompozitler
Bor Halidleri(tuzları)	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil “Finishing” Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zırai Araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler (Sodyum Borohidrat)	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri

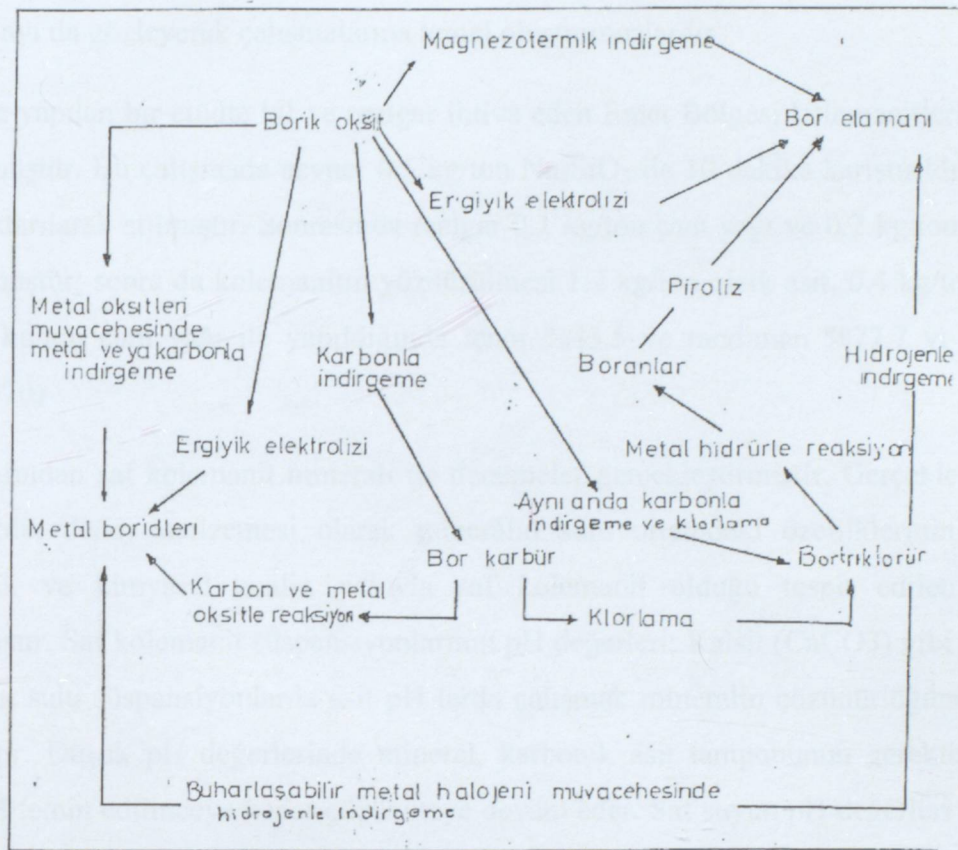
2.4 Dünya Bor Rezervi

Dünya bor rezervi ülkeler bazında Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 Dünya Bor Rezervi (Flores vd., 2006).

ÜLKE	GÖRÜNÜR EKONOMİK REZERV	MUHTEMEL MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	TOPLAM REZERVDEKİ PAY (%)
Türkiye	227.000	624.000	851.000	72,20
A.B.D.	40.000	40.000	80.000	6,80
Rusya	40.000	60.000	100.000	8,50
Çin	27.000	9.000	36.000	3,10
Arjantin	2.000	7.000	9.000	0,80
Bolivya	4.000	15.000	19.000	1,60
Şili	8.000	33.000	41.000	3,50
Peru	4.000	18.000	22.000	1,90
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	1,30
Sırbistan	3.000	0	3.000	0,30
TOPLAM (Bin Ton)	369.000	807.000	1.176.000	100,00

Borik oksitten bor elemanı ve bazı önemli bileşiklerin elde edilmesi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Borik oksitten bor elemanı eldesi (Yarar, 1970).

2.5 Bor Minerallerini Zenginleştirme Yöntemleri

Bor minerallerinin her biri için uygulanan cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemi, üretilcek bor ürünü için piyasada oluşan genel eğilime ve talebe bağlı olarak değişebilir. Bor minerallerinin zenginleştirilmesi için fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal yöntemler kullanılmaktadır.

Literatürde, kolemanit ve diğer bor minerallerinin flotasyonlarıyla ilgili malumat çok sınırlıdır. Kolemanitin sülfonat flotasyon reaktiflerinin kullanılmasıyla doğrudan doğruya yüzdürülebileceği aşağıda özeti verilen proses ile gerçekleştirileceği ifade edilmiştir.

“%30 katı ihtiva eden bir mineral karışımı Na_2SiO_3 ile 10 dakika karıştırıldıktan sonra %10 katı ihtiva edecek şekilde seyreltilmiştir. Sonrasında ince kısımlar aktarılarak atılmış ve iriler flotasyon için uygun çapa öğütülmüştür. Cevher H_2SO_4 ile muameleden sonra sülfonat ile 10 dakika kıvamlandırmadan sonra iki dakika flotasyona tabi tutulmuştur. Bu metodun A.B.D’nin batı bölgelerinden elde edilen cevherler için geliştirilmekte olduğu bildirilmiştir.

Kolemanit gibi suda az çözünür bir mineral olan hidroborasitin flotasyonu Sovyetler Birliğinde bir seri incelemenin konusu olmuştur. Klassen ve öğrencileri bu durumda izahı güç olan bir olayı da gözleyerek çalışmalarına temel oluşturmuşlardır.

Daha önce yapılan bir etüde kil ve realgar ihtiva eden Emet Bölgesi kolemanitleri başarı ile yüzdürülmüştür. Bu çalışmada cevher 0.5 kg/ton Na_2SiO_3 ile 10 dakika karıştırıldıktan sonra şamlar aktararak atılmıştır. Sonrasında realgar 0.1 kg/ton çam yağı ve 0.2 kg/ton kerozenle yüzdürülmüştür; sonra da kolemanitin yüzdürülmesi 1.2 kg/ton oleik asit, 0.4 kg/ton kerozen ve 0.005 kg/ton çam yağı ile yapıldığında tenör %43.5 ve randıman %77.7 yi bulmuştur (Yarar, 1970)

Yarar tarafından saf kolemanit minerali ile denemeler gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirdiği ön denemelerde; deney malzemesi olarak mineralin sulu ortamdaki özelliklerinin tayininde mineralojik ve kimyasal analiz yoluyla saf kolemanit olduğu tespit edilen kristaller kullanılmıştır. Saf kolemanit süspansiyonlarının pH değerleri; Kalsit (CaCO_3) gibi mineraller ihtiva eden sulu süspansiyonlarda asit pH larda çalışmak mineralin çözünürlüğünden dolayı imkansızdır. Düşük pH değerlerinde mineral, karbonik asit tamponunun gerektirdiği daha yüksek pH temin edilinceye kadar çözünmeye devam eder. Saf suyun pH değerleri HCl ya da NaOH ile daha önceden ayarlanarak %1 katı ihtiva eden kolemanit süspansiyonları hazırlanmış ve belirli zaman aralıklarında ölçmeler yapılmıştır. Uzun süre bekletilen süspansiyonlar kapalı balon jojelerde tutulmuştur. Buradan görülmüştür ki sulu ortamın başlangıç pH sınırın çok asidik ve çok bazik olduğu haller dışında kolemanit minerali ihtiva eden süspansiyonlar $\text{pH} = 9 \pm 0.4$ değerini muhafaza etmekte ve alkali ortamlarda değişme daha yavaş olmaktadır (Yarar, 1970).

2.5.1 Flotasyon ile zenginleştirme

Flotasyon, uygun reaktifler kullanılarak istenilen mineralin hava kabarcığına yapışarak yüzeye taşınması ve istemediğimiz minerallerin bastırılması esasına dayanan bir zenginleştirme yöntemidir. Flotasyonda katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç faz vardır. Flotasyon ile zenginleştirmede malzemenin yüzey özelliklerinin büyük önemi vardır (Gülgönül, 1990).

Flotasyon çok ince tane büyüklüklerinde ayrılması mümkün olacak minerallere uygulanan bir cevher zenginleştirme yöntemidir. Gravite yöntemleri ile zenginleştirilmeleri mümkün olmadığı için değersiz kabul edilen, çok düşük tenörlü veya kompleks yapıli cevher yatağının işletilmesini mümkün kılan flotasyon yöntemi, madencilik endüstrisinin büyük ölçüde gelişmesini sağlamıştır. Flotasyon metoduyla zenginleştirmede 0.3 mm'den büyük ve 5

mikrondan küçük taneler düşük randıman verirler. 0.3 mm'nin üzerindeki tane boyutlarında köpük zonunun mineral taneciğini taşıması zorlaşmaktadır. Aynı şekilde 5 mikronun altındaki boyutlarda ise taneciği köpükten kazanmak oldukça zor olmakta, seçimlilik sağlanamamaktadır.

Flotasyon işlemleri başladığından beri günümüze kadar bir çok değişime uğramıştır ve sonuç olarak günümüzde en yaygın olarak kullanılan Köpük Flotasyonu bulunmuştur (Anon, 1989).

Flotasyonda Fazlar

Flotasyon işleminin icrasında daima üç faz birarada bulunur bunlar gaz fazı, sıvı fazı ve katı fazıdır. Flotasyon işleminin uygulanması, problemlerinin çözülmesi ve olaylara açıklık getirilmesi açısından bu fazların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesinde yararlar vardır. Ayrıca bu fazlar arasındaki ara yüzeyler ve bunların özellikleri de önem taşımaktadır. Bu fazlardan gaz fazı mineral tanelerinin yüzdürülmesi için gerekli hava kabarcıklarının oluşması için pülpe verilen hava gaz fazını oluşturmaktadır. Sıvı fazı ise olayların içinde cereyan ettiği pülpü oluşturan sıvı fazıdır. Bu faz büyük kısmı sudan oluşmakla beraber çözelti ve emülsiyonlar halinde flotasyon için gerekli kimyasal maddeler de bu faz içerisinde bulunmaktadır. Katı fazı ise ayrılacak cevher içindeki mineral tanelerinden oluşmaktadır. Bu fazı oluşturan mineral tanelerinin boyutları cevher içindeki serbestleşme tane boyutu ile ilgilidir. Flotasyon işlemi genel bir kural olarak serbestleşmenin çok ince tanelerde olduğu cevherlerde avantajlı olarak kullanılmaktadır.

a) Gaz fazı

Flotasyonda mineral tanelerinin hava kabarcıklarına yapışarak yüzmesi gereklidir. Bu bakımdan gaz fazına ihtiyaç vardır. Gaz fazında hava kullanılmakla beraber diğer gazlarda azot gibi bu iş için kullanılabilir. Ancak ekonomik nedenlerle diğer gazların kullanılması şimdiye kadar uygulama alanı bulmamıştır. Laboratuvarlarda yapılan araştırmalarda değişik nedenlerle değişik gazların kullanımı denenmiş ve önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Havanın içinde bulunan gazların bileşimi bellidir. Hava içinde kabaca % 21 oranında oksijen % 79 oranında azot bulunmaktadır. Birçok kimyasal işlemlerde havadaki azot reaksiyona girmez. Kimyasal olarak aktif olan oksijendir. Havadaki oksijenin bir kısmı pülpe hava verilmesi esnasında su içinde çözünür. Bu su içinde çözülmüş oksijenin flotasyon işlemi esnasındaki etkileri aşikardır.

Flotasyon öncesi havalandırma, flotasyon esnasındaki havalandırma ve bunların dereceleri ve

bu havalandırma müddetleri bir çok mineralin flotasyonunda önem taşır. Birçok mineral yüzeyi flotasyondan önce kısmi bir oksidasyona gerek duyar bu da ancak flotasyon öncesi reaktifler ilave edilmeden önce pülpün hava verilerek havalandırılması ile yapılır.

Havalandırma Sub-Aerasyon tipi flotasyon makinalarında atmosferden hava emişi ile pnömatik flotasyon makinalarında ve son senelerde geliştirilen kolon tipi ve Jameson tipi ve benzeri flotasyon makinalarında pülpe basınçlı hava verilerek gerçekleştirilir (Yiğit ve Özkan 2007).

b) Sıvı fazı

Flotasyonda sıvı fazı denince su fazı akla gelir. İşlemler su içinde pülp halindeki malzeme ile gerçekleştirilir. Burada pülp deyimini yabancı dilde pulp'ın yerine Türkçeleşmiş bir deyimdir. Katı maddelerin süspansiyon halinde sudaki durumlarına pülp denilmektedir.

Büyük kısmı sudan oluşan sıvı fazında suda çözünmüş ve emülsiyon halinde flotasyonda kullanılan kollektör, köpürtücü ve değişik görevleri olan kontrol reaktifleri bulunur. Bu kimyasal reaktiflerin çeşitleri ve görevleri ileriki konularda detaylı olarak işlenecektir.

Bugün için su molekülü için herkesce kabul edilen köşenin açısı 105° dir (Kemmer, 1977).

K'_w ye suyun ayrılma katsayısı veya suyun iyonlaşma katsayısı denir. 25°C sıcaklıkta değeri $1,0 \times 10^{-14}$ dür. Saf su içinde H^+ ile OH^- iyonları eşit sayıdadır, yani bu sayıya x dersek:

Saf suyun hidrojen iyon konsantrasyonunun pH'sı 7 oluyor. Bu şekilde bütün nötr çözeltilerin pH'sı 7, asit çözeltilerin çözeltideki hidrojen iyonu artışıyla pH'ları 7'den küçük, bazik çözeltilerin ise çözeltiliye OH^- iyonu vermeleri üzerine hidrojen iyonundaki azalmalar dolayısıyla pH'ları 7'den büyüktürler.

Pülpün pH değeri flotasyon açısından çok büyük önem taşımaktadır. Belli mineralleri yüzdürmek ve bu esnadada belli minerallerin yüzmesine engel olmak için pülpün pH'sını asit veya bazik ortamlarda tutmak gerekir. Pülpü asit ortamda tutmak için genellikle ucuz asitler sülfürik asit ve klorür asiti kullanılırken bazik ortam gerekli olduğunda yine ucuz bir baz olan kireç ve soda gibi reaktifler kullanılır. Özel bazı hallerde HF gibi asitlerin ve NaOH gibi bazların kullanılması da söz konusudur. Bu özel kullanımlar daha ileriki konularda yeri geldikçe incelenecektir (Kemmer, 1977).

c) Katı fazı

Flotasyonda katı fazını oluşturan, cevherin içinde serbestleşmiş mineral taneleridir. Cevher

içinde mineraller birbirlerine yapışık halde ve değişik konsantrasyonlarda (tenörlerde) bulunurlar. Cevher zenginleştirme de ilk etap bu değişik mineral tanelerini birbirinden ayırmak yani bunların serbestleşmesini gerçekleştirmektir. Flotasyonda katı faz oluşturan malzeme öğütülmüş bulunan cevherin içindeki mineral tanelerinden ibarettir. Tabii her zenginleştirme işleminde önşart cevher içinde birbirlerine yapışık halde ve değişik konsantrasyonlarda (tenörlerde) bulunan bu mineral tanelerinin serbestleşmesini sağlamaktır. Bunun için cevherin ufalanması yani kırılması ve öğütülmesi gerekmektedir.

Mineral tanelerinin kristal yapılarına sahip oldukları bilinmektedir. Flotasyon işleminde önemli olan bu kristallerin yüzeylerinin fiziko-kimyasal özellikleridir.

Sıvıların yüzeyinde mevcut olan yüzey gerilim kuvvetleri katı yüzeylerinde katı-sıvı ve katı-hava ara fazlarında da oluşmaktadır. Bu yüzey gerilim kuvvetleri sonraki bölümlerde detaylı olarak anlatılacağı üzere flotasyon işleminin en önemli kademesi olan mineral yüzeylerinin hava kabarcıklarına yapışmasında rol oynamaktadırlar. Mineral yüzeylerinin hava kabarcıklarıyla temasında hasıl olan θ yüzey gerilim kuvvetlerinin dengelenmesi esnasında oluşmaktadır. Etkili bir flotasyon işlemi için bu θ açısının 50-60° civarında olması gerekmektedir.

Katılardaki bu yüzey gerilim kuvvetlerinin doğrudan doğruya deneysel yollarla ölçmek mümkün olmamakla birlikte, bu yüzey gerilim kuvvetlerinin dolaylı yollarla tahmin edilmesi mümkündür.

Mineral tanelerinin flotasyonunda diğer önemli bir özellik yüzeylerin elektriksel potansiyelidir (elektriksel çift tabaka). Bu potansiyel mineral-su ara yüzeyinde fiziko-kimyasal özelliklere bağlı olarak oluşmaktadır. Bu oluşumda iki önemli faktör rol oynamaktadır. Birinci faktör mineral yüzeyi ve su molekülleri arasındaki ilişki, ikincisi ise katı-su ara yüzeyinin elektriksel çift tabakasıdır (Yiğit ve Özkan, 2007).

Elektriksel çift tabaka:

- Flotasyonda toplayıcı reaktiflerin mineral yüzeylerine adsorbsiyonunda mineral yüzeylerindeki elektriksel yüklerin işareti ve büyüklüğünü kontrol ederek,
- Mineral yüzeylerinde hasıl olan yüksek elektrik yüklerde toplayıcı reaktiflerin kimyasal olarak adsorbsiyonunu engelleyerek,
- Mineral tanelerinin pülpteki flokülasyon ve dağılmalarını (dispersiyon) kontrol ederek,

- d. Mineral yüzeylerindeki şlam örtünmelerini kontrol ederek flotasyon işlemini etkilemektedir.

Oksitli mineraller deyimi flotasyon açısından kullanılan bir deyimdir. Deyim elementlerin yalnız oksit bileşiklerini kasetmez .Bileşiminde oksijen içeren oksit, karbonat ve silikat gibi bütün mineraller bu kapsamda sayılır. Bu mineraller genelde kolayca ıslanan suyun H^+ iyonları ile bağ kurmakta çok istekli davranan bileşiklerdir. Bu minerallerin yüzeyleri genelde normal şartlarda negatif yüklüdürler. Oksitler ve silikatlar yer kabuğunda en bol bulunan minerallerdir. Bu minerallerin yüzeylerinin toplayıcılarla örtülmesinde çoğunlukla elektrostatik adsorpsiyon söz konusudur. Bu bakımdan mineral yüzeylerinin zeta potansiyelleri çok önemlidir. Çizelge 2.4'te önemli oksitli minerallerin zpc pH değerleri verilmektedir (Çelik vd., 1992).

Çizelge 2.4 Oksitli minerallerin zpc pH ları (Yarar, 1985).

Mineral	pH	Mineral	pH
Aujit	2,7	Kromit	5,6-7,2
Bentonit	3,3	Kuprit	9,5
Beril	3,1-4,4	Kuvars	1,8-3,0
Biyotit	0,4	Manyetit	6,5
Diyopsit	2,8	Olivin	5,1
Feldspat	2,2-2,5	Pirolüzit	5,6-7,4
Garnet	4,4	Rodonit	2,8
Gröna	4,4	Rutil	6,8
Götit	6,7	Serpantin	5,0
Hematit	5,0-6,7	Turmalin	4,0
Kaolinit	3,4	Zirkon	5,8
Kasiterit	4,5	Korendon	9,0-9,4
Kolemanit	8,5-9,5	Kalsit	9,5
Krizokol	2,0		

2.6 Mineral Yüzeylerinin Flotasyon Özellikleri

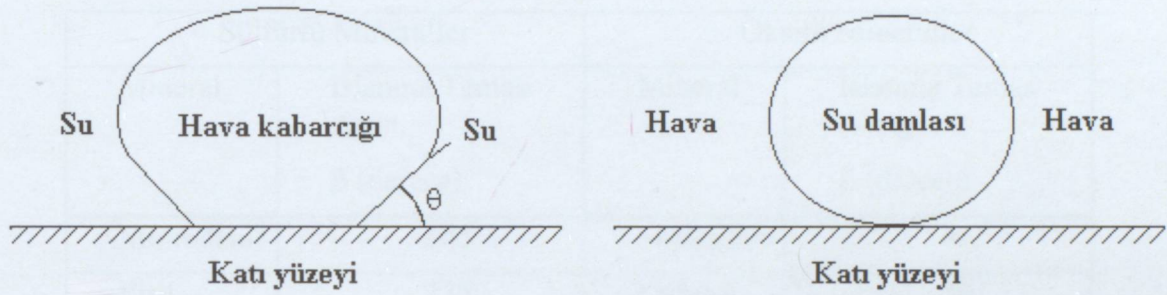
Flotasyon işlemi bir yüzdürme işlemidir. Fakat mineral taneleri su içinde özgül ağırlıkları sudan ağır oldukları için yüzmezler. İlk önce kırılıp ufalanarak serbest hale getirilmiş mineral taneleri bazı kimyasal bileşiklerle yüzeyleri hava kabarcıklarına yapışır hale geldikten sonra sudan hafif kütleler köpük oluşturarak pülp yüzeyine çıkarlar. (Demir sacı kaplı gemilerin suda batmadan yüzmeleri gibi.)

Mineral taneleri yüzeylerinin hava kabarcıklarına yapışması için bu mineral yüzeylerinin belli özelliklere sahip olması lazımdır. Doğal olarak hava kabarcıklarına yapışma özelliği olan Molibdenit, Grafit, Elmas, Kükürt ve bazı kömürler dışında bütün diğer mineraller bir kimyasal bileşikle muamele edilmeden doğrudan hava kabarcıklarına yapışmazlar. Mineral yüzeylerinin ilk önce Toplayıcı (Kollektör) dediğimiz kimyasal reaktiflerle muamele edilmesi

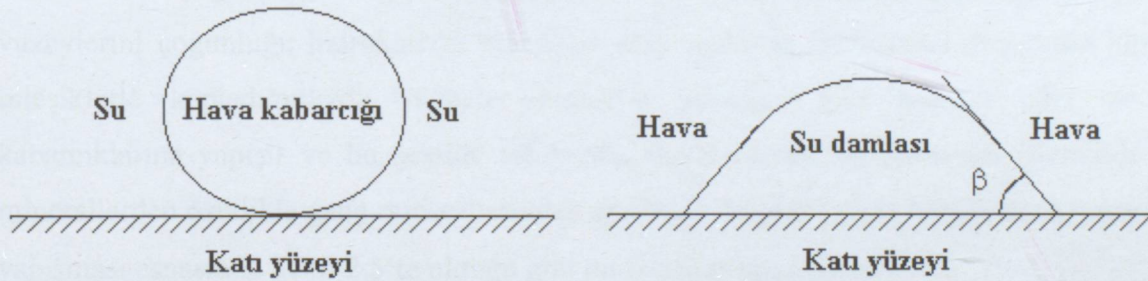
gereklidir. Böyle bir işlemde mineral yüzeyleri toplayıcı dediğimiz bu kimyasal reaktifleri adsorbe eder ve daha sonra hava kabarcıklarına yapışır hale gelirler.

Hava kabarcıklarına yapışma açısından mineral yüzeyleri hidrofob ve hidrofil yüzeyler olarak ikiye ayrılırlar. Hidro su, fob düşman ve fil dost demektir. Bu bakımdan hidrofob suya düşman, hidrofil ise suyu sever diyebiliriz.

Hidrofob yüzeyler hava kabarcıklarına yapışır su tarafından ıslanmazlar (Şekil 2.3). Hidrofil yüzeyler ise hava kabarcıklarına yapışmaz su ile ıslanırlar (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 Bir hidrofob yüzey üzerinde hava kabarcığı ve su damlasının durumu (Yiğit ve Özkan, 2007).



Şekil 2.4 Bir hidrofil yüzey üzerinde hava kabarcığı ve su damlasının durumu (Yiğit ve Özkan 2007).

Mineral yüzeylerinin su ile ıslanmalarının derecesini yukarıdaki Şekillerde β ile gösterilen ıslanma temas açısı belirlemektedir. Bu ıslanma derecesi sülfürlü minerallerde daha zayıf, oksitli minerallerde ise daha kuvvetlidir. Çizelge 2.5'te bu açık olarak görülmektedir.

Doğal olarak hidrofob mineraller olan Molibdenit, Grafit, Elmas ve Kükürt minerallerinin doğal flote edilebilme özellikleri kristal yapılarından kaynaklanmaktadır. Grafit kristali hegzagonal sistemdedir. Ufalandığında, levhalar plakalar teşkil eder. Hegzagonal halkalardaki Karbon atomları arasında kuvvetli kovalent bağlar mevcutken, tabakalardaki Karbon atomları

arasında zayıf Van der Waals bağları vardır. Molibdenit ve Kükürt kristalleri için de durum aynıdır. Kuvvetli bağlarla bağlı moleküller birbirlerinden ayrıldıklarından, bu molekül yüzeylerinde dengelenmemiş yükleri dolayısıyla su içinde kolayca hidrolize olmaları ve hidrofil karakter göstermesi doğaldır. Grafit örneğinde zayıf Van der Waals bağının kolayca kırıldığı klivaj yüzeyleri hidrofor özellik gösterirken buna dik kuvvetli kovalent bağların parçalanması ile elde edilen yüzeyler hidrofil karakter göstermektedir (Yiğit ve Özkan, 2007).

Çizelge 2.5 Sülfürlü ve Oksitli minerallerin β ıslanma temas açıları (Benzen ortamında su damlası) (Yiğit ve Özkan 2007).

Sülfürlü Mineraller		Oksitli Mineraller	
Mineral	Islanma Temas Açısı, β (derece)	Mineral	Islanma Temas Açısı, β (derece)
Molibdenit	145	Simitsonit	41
Pirit	135	Malakit	30
Kalkopirit	131	Barit	30
Galen	90	Kalsit	20

Minerallerin çoğunluğu hidrofil olduklarından hava kabarcıklarına yapışmazlar. Bunların yüzeylerini çoğunluğu hidrokarbon bileşikler olan toplayıcı (kollektör) dediğimiz kimyasal bileşiklerle kapladığımızda yüzeyler hidrofor yüzeyler gibi hareket eder ve hava kabarcıklarına yapışır ve bu şekilde bir köpük teşkil ederek bir flotasyon işleminde diğer minerallerden özellikle gang minerallerinden ayrılırlar. Mineral yüzeylerinin hava kabarcığına yapışması esnasında Şekil 2.5'te olduğu gibi bir θ temas açısı oluşur.



Şekil 2.5 θ temas açısının oluşması (Yiğit ve Özkan, 2007).

θ temas açısı γ_{SG} (katı-gaz arafazı yüzey gerilim kuvveti), γ_{SL} (katı-sıvı arafazı yüzey gerilim kuvveti) ve γ_{LG} (sıvı-gaz arafazı yüzey gerilim kuvveti) kuvvetlerinin dengesi durumunda oluşmakta ve bu durum Young's denklemi ile ifade edilmektedir.

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cdot \cos\theta \quad (2.1)$$

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \quad (2.2)$$

Bu eşitlikteki γ_{LG} su için 72.25 dyn/cm dir. Katıların γ_{SL} ve γ_{SG} yüzey gerilim kuvvetleri doğrudan ölçülememekle birlikte dolaylı yollarla γ_C (kritik yüzey gerilim kuvveti) deneysel yollarla ölçülebildiğini daha önce yapılan çalışmalar bize göstermektedir. Bu kritik yüzey kuvvetini $\gamma_C = \gamma_{SG} - \gamma_{SL}$ değeri olarak yerine koyduğumuzda yukarıdaki denklem (2.1)'den $\cos\theta$ 'nın sayısal değerini buluruz.

Doğal hidrofobluk gösteren yukarıda bahsedilen mineraller dışında diğer minerallerin γ_C değerleri 20-30 dyn/cm civarındadır. Bu değerler (oda sıcaklığı) yukarıdaki 2.1 no'lu denklemde $\gamma_{SG} - \gamma_{SL}$ için yerine konulduğunda $\cos\theta$ için 0.3-0.4 değerleri bulunmakta ve θ 'nın değeri de 30-40° civarında olmaktadır. Bu temas açısı değerleri önceden de belirtildiği gibi bu yüzeylerin hava kabarcıklarına yeteri kadar kuvvetli olarak yapışmasına kafi değildir. Yapışmanın kuvvetli olaması yani daha büyük temas açılarının elde edilmesi için bu mineral yüzeylerinin toplayıcılarla kaplanmaları gereklidir.

Temas açısının etkili bir flotasyon işlemi için asgari 50-60° arasında olması gerekir. Çizelge 2.6'da çeşitli ksantatlarla (toplayıcı) işlem görmüş bir galen yüzeyinde oluşan temas açıları verilmektedir (Yiğit ve Özkan, 2007).

Çizelge 2.6 Galen yüzeyinde oluşan θ temas açıları (Yiğit ve Özkan 2007).

Toplayıcı	θ , derece	Toplayıcı	θ , derece
Metil Ksantat	50	IZO Amil Ksantat	86
Etil Ksantat	60	Setil Ksantat	96
n-Propil Ksantat	68	Benzil Ksantat	72
n-Butil Ksantat	74	Sikloheksil Ksantat	75
IZO Butil Ksantat	78		

θ temas açısının deneysel yolla belirlenmesi:

Temas açısının deneysel yollarla belirlenmesinde ilk problem mineral yüzeyinin yapısında yatmaktadır. Hava kabarcığının düz yüzeylere yapışması pürüzlü yüzeylere yapışmasına nazaran daha zordur. Flotasyon uygulamalarında hava kabarcıklarının yapıştığı yüzeylerin pürüzlü yüzeyler olduğu bilinmektedir. Deneysel yollarla temas açısı ölçülmesinde ise yeknesaklık sağlanması bakımından parlatılmış mineral yüzeyleri kullanılmaktadır. Parlatılmış mineral yüzeylerine kılcal bir boru içinden üflenerek bastırılan hava kabarcığı bazı düzeneklerle incelenerek hava kabarcığının yaptığı temas açısı ölçülmektedir (Taggart, 1951).

Flotasyon işlemi için aşağıdaki şartların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Malzemedeki minerallerden biri suyla güçlkle ıslatılabilir ya da ıslatılamaz, diğerinin ise ıslatılabilir olması gerekmektedir. Bu özellikler yani hidrofil veya hidrofob özellikler yapay olarak gerçekleştirilebilir.

Cevher serbestleşme boyutunun altına öğütülmelidir. Bu serbestleşme birkaç mikron mertebesinde olabilir.

Sulu ortamda katı oranı %10-40 arasında olabilir.

Çeşitli organik ve inorganik maddelerle karıştırılarak mineral pülplü haline getirilmelidir.

Dayanıklı hava kabarcığı oluşturmak üzere köpürtücü reaktifler ilave edilir.

Karıştırılarak pülpe hava emişi gerçekleştirilir ya da basınçlı hava verilerek köpük zonu oluşturulur.

Yüzdürülmesi istenen minerali taşıyan köpük zonu ile pülp birbirinden ayrılır.

Flotasyon işleminde kolay yüzeabilen taneciklere 'hidrofob taneler' denir. Eğer tanecik

yüzdürölmek isteniyorsa ve bu özelliikte değölse yüzeyi yapay olarak bu özelliğı taşıır konuma getirilir. Aksi halde tanecik çöktürölmek isteniyorsa hidrofil özellik kazandırmak gerekmektedir (Anonim, 2000).

2.7 Flotasyon Reaktifleri

Flotasyon reaktifleri flotasyon işleminin gerçekleşmesi için pölpe katılan kimyasal bileşiklerdir. Bunlar kendi aralarındaki işlevlerine göre Toplayıcılar (Kollektörler), Köpürtücüler, Kontrol Reaktifleri (Canlandırıcılar, Bastırıcılar, pH Ayarlayıcılar) olmak üzere üç grupta sınıflanırlar.

2.7.1 Toplayıcılar

Toplayıcılar mineral yüzeylerini hidrofor hale getirmek için kullanılan genellikle hidrokarbon bileşikleridir. Önceki konularda değinildiğı gibi doğal olarak flote edilebilen birkaç mineral dışında mineral yüzeyleri hidrofil karakter gösterir. Bu yüzeylerin hidrofor hale getirilmesi Toplayıcı denilen bileşiklerle kaplanmaları sonunda olur. Çoğunluğu hidrokarbon kökenli olan bu bileşikler mineral yüzeyine adsorbe olan hidrofil karakterli polar bir gruptan ve polar olmayan hidrofor karakterli hidrokarbon zincirinden oluşur. Toplayıcıyla kaplanan mineral yüzeyi de işlem sonrasında hidrofor hidrokarbon bileşigi gibi davranarak pölpte mevcut hava kabarcıklarına yapışır.

Kitaplardaki çeşitli sınıflamalar arasında en çok tutulan sınıflama bunların anyonik ve katyonik toplayıcılar olarak ikiye ayrılmasıdır. Bunlar çoğunlukla su içinde çözünen ve iyonize olan bileşikler olup birde suda çözünmeyen emülsiyon olarak kullanılan mineral yüzeylerini kaplıyarak o yüzeyleri hidrofor hale getiren hidrokarbon yağlardan ibaret bileşikler mevcuttur. Bu bileşikler mineral yüzeylerinde seçici olmadıklarından yalnız başlarına pek kullanılmayıp çoğı kere yardımcı toplayıcı reaktif olarak kullanılırlar. Bunlar genellikle petrol esaslı yağlar ve doğal yağlardan oluşurlar. Bunların en önemlileri gazyağı, fueloil, nafta, çeşitli reçineler ve doğal yağlardır.

Anyonik toplayıcılarda polar grup negatif yüklü olup özellikle pozitif yüklü mineral yüzeylerinde kolaylıkla adsorbe olarak bu yüzeyleri hidrofor yaparlar. Bu şekilde hidrofor yüzeyler oluşmuş mineraller hava kabarcıklarına yapışarak köpük tabakası halinde diğör minerallerden ayrılırlar. Anyonik toplayıcılar aşağıdaki gruplara ayrılırlar.

Bunlar piyasada deterjan adı altında satılan maddelerdir. Flotasyon açısından bunların sabunlara olan üstünlüğü kuvvetli asit tuzları olması dolayısıyla suda tam çözünmeleridir. Sülfanat flotasyonu sabun flotasyonunun aksine asidik ortamlarda gerçekleştirilir.

Sülfat ve sülfonatlar demir oksitleri, kromit, borat, garnet, beril ve zirkon gibi bazı oksitler ve silikatlarla beraber bazı tuz tipi minerallerin flotasyonunda kullanılırlar. Toplayıcının mineral yüzeylerinde adsorbsiyonu fizikseldir (elektrostatik). Pülpün pH'sını kontrol bu yüzden çok önem taşımaktadır.

Ksantatlar flotasyonda toplayıcı olarak ilk kullanılan reaktiflerden biridir. Bunlar Ksantik asitin Na ve K tuzlarıdır. Ksantik asit karbon sülfürün alkollerle reaksiyonu sonucu elde edilir. Ksantatlar genellikle etil, butil, amil gibi doymuş alkollerden elde edilir. Bunlar ksantik asitin oluşması esnasında ortama alkali bir hidroksitin aşağıdaki şekilde ilavesiyle elde edilir.

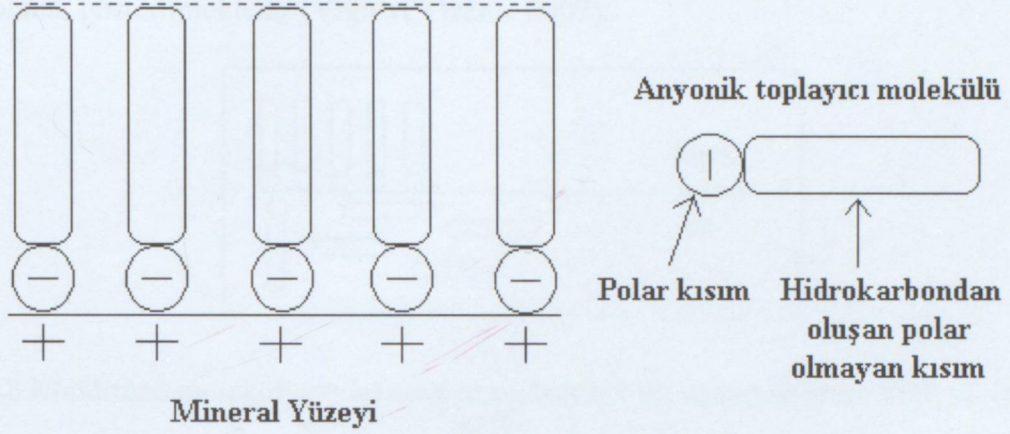
Kısa zincirli ksantatlar suda iyi çözünürler. Sudaki çözelti kısa süreler içinde oldukça dayanıklı olmalarına karşı uzun sürelerde ayrışarak alkol ve karbonsülfüre dönüşürler. Ksantatlar sülfürlü mineraller için çok iyi toplayıcıdırlar. Metallerle çinko hariç suda çok az çözünen bileşikler yaparlar. Seçicilikleri karbon zincirindeki karbon sayısı arttıkça azalır.

Katyonik toplayıcılarda polar grup pozitif yüklü olup negatif yüklü yüzeylerde adsorbe olarak bu yüzeyleri hidrofob yaparlar. Hidrofob hale gelmiş yüzeyler de pülpde mevcut hava kabarcıklarına yapışarak köpük tabakasını oluştururlar.

Katyonik toplayıcılar genellikle Amin bileşiklerinden oluşmuşlardır. Bunlar: Primer Amin (RNH_2), Sekonder Amin (R_1R_2NH), Tersiyer Amin ($R_1(R_2)_2N$) ve Kuaterner Amin ($R_1(R_2)_3N$) bileşikleridir. Katyonik toplayıcılar negatif yüklü oksitli ve silikatli minerallerin flotasyonunda kullanılan toplayıcılardır.

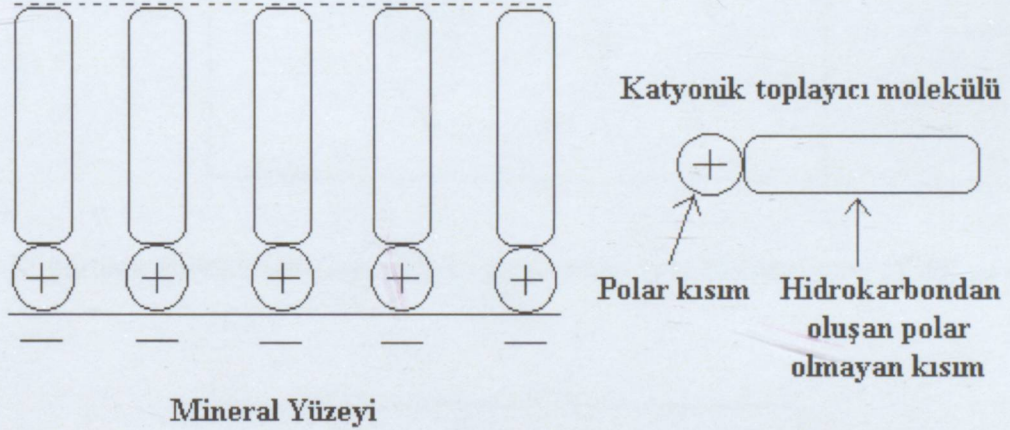
Bu toplayıcı reaktifler mineral yüzeylerinde ya fiziksel (elektrostatik olarak) oksitli minerallerin Amin tipi toplayıcılarla adsorbsiyonunda olduğu gibi veya kimyasal olarak anyonik toplayıcıların bir çoğunun adsorbsiyonunda olduğu gibi veya bir kimyasal reaksiyon sonucu yüzeyde bileşikler hasıl etmek suretiyle ksantatların sülfürlü minerallerin yüzeylerindeki adsorbsiyonu gibi adsorbe olurlar. Adsorbsiyon sonunda toplayıcıların polar grupları yüzeylere bağlanmış olup polar olamayan kısımlar mineral yüzeylerinde hidrofob bir tabaka oluşturmuştur. Bu durum Şekil 2.6 ve 2.7'de anyonik ve katyonik toplayıcılar için şematik olarak gösterilmektedir (Yiğit ve Özkan, 2007).

Toplayıcı moleküllerinden oluşan hidrofobik yüzey



Şekil 2.6 Anyonik toplayıcıların mineral yüzeylerindeki adsorbsiyonu (Yiğit ve Özkan, 2007).

Toplayıcı moleküllerinden oluşan hidrofobik yüzey

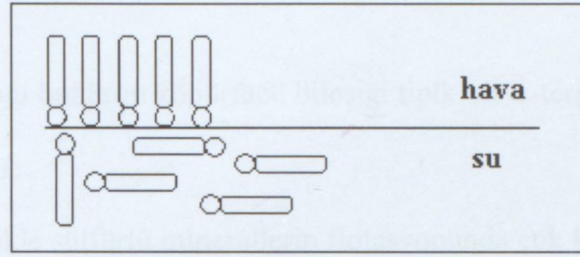


Şekil 2.7 Katyonik toplayıcıların mineral yüzeylerindeki adsorbsiyonu (Yiğit ve Özkan, 2007).

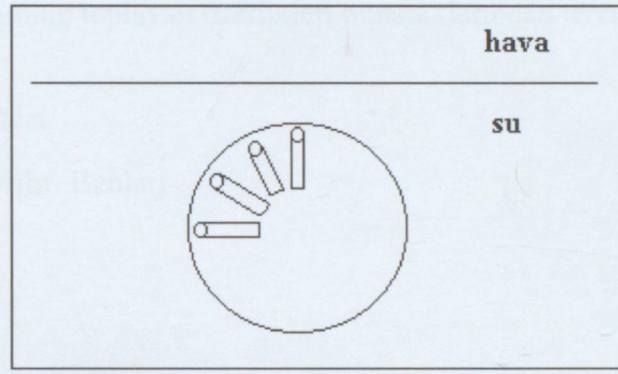
2.7.2 Köpürtücüler

Flotasyon işleminde yüzeyleri hidrofob olan veya toplayıcıların yüzeylerde adsorbe olması dolayısıyla yüzeyleri hidrofob yapılan mineraller diğer minerallerden hava kabarcıklarına yapışarak ayrılır ve pülp yüzeyine taşınarak bir köpük tabakası oluştururlar. Hava kabarcıklarının pülp yüzeyinde hemen patlamadan bir köpük tabakası oluşturması köpürtücü dediğimiz kimyasal reaktiflerin pülpe verilmesi suretiyle olur. Bu köpürtücü reaktifler de polar ve polar olmayan gruplardan oluşup su-hava ara yüzeylerinde önceden verilen Gibbs kanununa göre konsantre olurlar. Köpürtücü moleküllerin su yüzeyinde, su içindeki hava

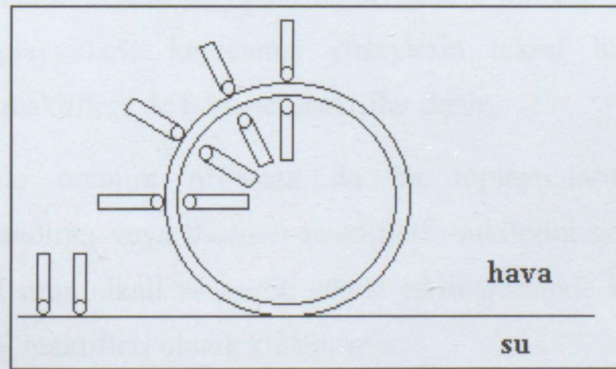
kabarcığında ve su üstündeki hava kabarcığında adsorbsiyonları Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10'da şematik olarak gösterilmektedir (Yiğit ve Özkan, 2007).



Şekil 2.8 Köpürtücü moleküllerin su-hava ara yüzeylerinde adsorbsiyonu (Yiğit ve Özkan, 2007).



Şekil 2.9 Köpürtücü moleküllerin hava kabarcığı iç yüzeyinde adsorbsiyonu (Yiğit ve Özkan, 2007).



Şekil 2.10 Köpürtücü moleküllerin su üstünde bir köpükte adsorbsiyonu (Yiğit ve Özkan, 2007).

Kullanılan Köpürtücüler

a. Alifatik Alkoller

Bu tip köpürtücüler seçici ince bir köpük oluşturlar çok dayanıklı olmayıp çabuk patlarlar. Suda çok az çözünürler.

b. Halkalı Alkoller

Çam yağı ve Okaliptüs yağı bunların köpürtücü bileşiği tipik bir α -terpineol dur.

c. Alkoxy tip köpürtücüler:

Bu tip köpürtücüler özellikle sülfürlü minerallerin flotasyonunda çok kullanılırlar.

d. Polyglykol tip köpürtücüler

Bunlar ticari olarak Dowfroth ve Aerofroth serisi köpürtücüleri oluşturlar. Suda az veya çok çözünürler. Bunlar seçici olup toplayıcı özellikleri olmadıklarından tercih edilirler.

2.7.3 Kontrol Reaktifleri

Kontrol reaktifleri 3 e ayrılır. Bunlar;

a. Canlandırıcılar

b. Bastırıcılar

c. pH ayarlayıcılar

Mineral tanelerinin flotasyonunda ilk önce bu yüzeylerin toplayıcılarla kaplanarak hidrofob hale getirilmeleri gereklidir. Bu toplayıcıların mineral yüzeylerini kaplamasında yardımcı olan reaktiflere canlandırıcı reaktifler ve bu toplayıcıların mineral yüzeylerini kaplamasına engel olan veya toplayıcılarla kaplanmış yüzeylerin tekrar hidrofil yüzeyler haline dönüşmesini sağlayan reaktiflere de bastırıcı reaktifler denir.

Flotasyon işlemlerinde ortamın pH'sının da bu toplayıcıların mineral yüzeylerini kaplamasında ve canlandırıcı veya bastırıcı reaktiflerin etkilerini göstermesinde önemi çok büyüktür. Ortamın pH'sının alkali ve asidik yönde etkilenmesinde inorganik bileşikler olan asitler ve bazlar kontrol reaktifleri olarak kullanılırlar.

Bastırıcılar:

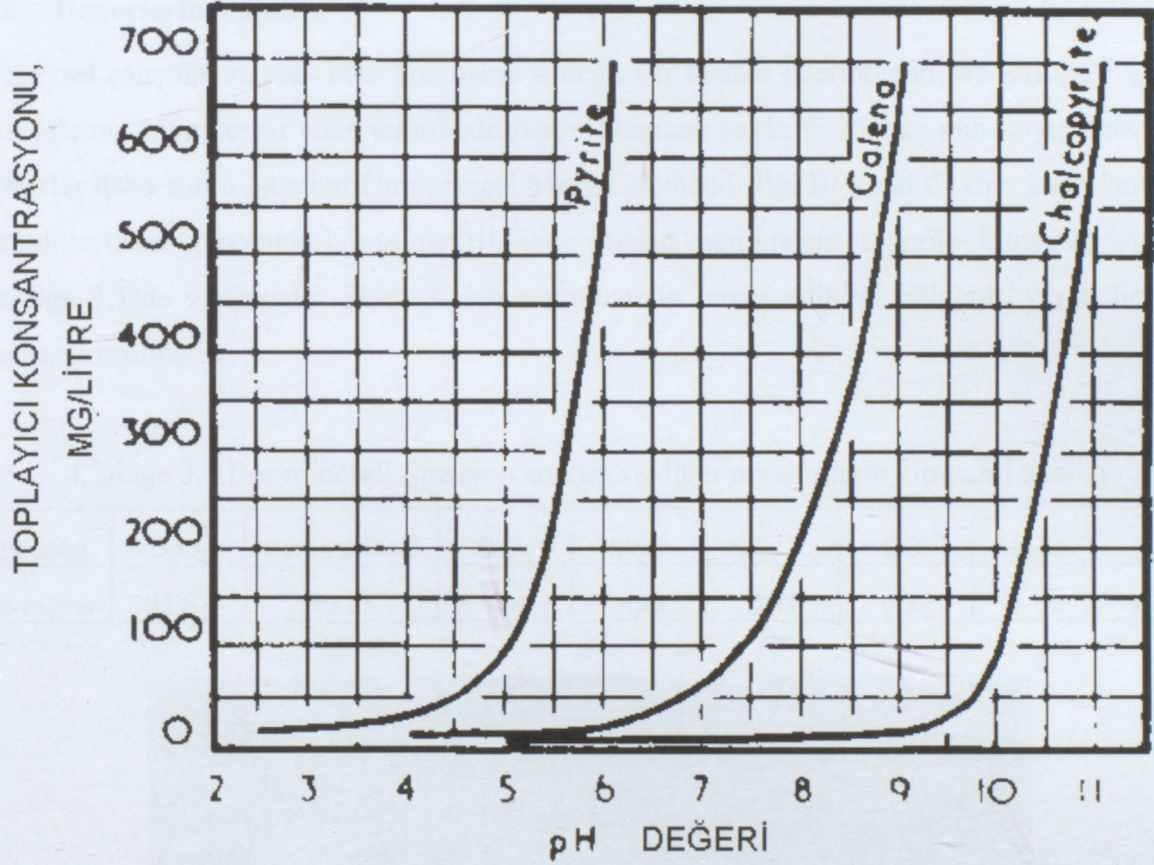
Bastırıcılar inorganik ve organik bastırıcılar olarak ikiye ayrılabilir.

pH Ayarlayıcılar:

Ortamın pH'sının önemi flotasyonda öncedende belirtildiği gibi çok büyüktür. Bir çok mineral yüzeylerinin toplayıcı reaktiflerle kaplanması belli pH'larda olur. Bu pH'ların

ayarlanması da ortama asit ve bazlar ilavesiyle yapılır. Şekil 2.11’de bu durum Pirit, Galen ve Kalkopirit’in dithiofosfatla flotasyonunda gayet açık şekilde görülmektedir.

Flotasyonda Yüzeylerin zeta potansiyeli çok önemli bir faktördür. Önceden belirtildiği gibi zeta potansiyeli de ortamın pH’ının bir fonksiyonudur. Bu bakımdan bir çok mineraller belli pH larda yüzdürülebilirler. Aşağıda buna ait minerallerin flotasyonuna bir örnek verilmektedir.



Şekil 2.11 Değişik pH’larda Pirit, Galen ve Kalkopiritin dithiofosfatla flotasyonu (Wark, 1934).

Özellikle oksitli ve silikat minerallerinin flotasyonunda çok önemli olan yüzey yükünü pH’nın bir fonksiyonu olduğunu da biliyoruz. Bu bakımdan yüzey yükünün negatif veya pozitif yönde değiştirilmesi için ortamın pH’sını değiştirmek yeterli olmakta ve bu suretle minerallerin flote edilmesi menfi veya müsbet yönde etkilenmektedir.

Kullanılan pH ayarlayıcılar fazla olmayıp başlıcaları sülfürik asit, klorik asit, kireç, kalsiyum hidrokarbonat ve sodyum hidroksit’tir (Yiğit ve Özkan, 2007).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deneylerde Kullanılan Cihaz Ve Aletler

Deneylerde laboratuvar tipi DENVER flotasyon makinası, laboratuvar tipi çeneli kırıcı, laboratuvar tipi çubuklu değirmen, hava girişini ölçmek için 2.5 lt / dak kapasiteli hava ölçüm cihazı kullanılmıştır.

3.2 Deneylerin Yapılışı

Deneyisel çalışmalara esas olan kolemanit örneği; Eti Maden İşleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müessesesi'nden temin edilmiştir. Numune yaklaşık 25-125 mm boyutunda olup örnekler daha sonra İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme laboratuvarlarına getirilmiştir. Gelen numunenin komple kimyasal analizi Çizelge 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.1'de numunelerin temin edildiği bölgenin yer belirleme haritası verilmiştir.

Çizelge 3.1 Bor minerali titrasyon analizi ve diğer minerallerin kimyasal analizi

Bileşen	B ₂ O ₃	Serbest CaO	SiO ₂	MgO	SrO	SO ₄	Na ₂ O	FeO
% miktar	31,67	13,37	4,00	1,95	0,41	0,32	0,13	0,10



Şekil 3.1 Balıkesir-Bigadiç bor işletmesi yer belirleme haritası (Eskibalcı, 2007).

3.2.1 Temel Bilgiler

Kolemanit flotasyonu konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Kolemanit minerali katyonik ve anyonik kolektörlerin her ikisi ile de kolaylıkla flote edilebilir. Kolemanit bünyesinde bulunan arsenik ve kil mineralleri kolemanit flotasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir (Özkan ve Acar, 2004)

Kolemanit diğer hidrate bor mineralleri gibi tampon pH ya sahiptir ve asit baz reaksiyonları sonucunda pH 9,3'e ulaşır (Yaşar, 1994). Kolemanitin doğal pH'sı 9-9,5 arasındadır.

Yapılan bu çalışmalara genel olarak baktığımızda; Kolemanitin sıfır yük noktasının pH 10,5 civarında olduğu görülmektedir. Şekil 3.2'de kolemanit mineralinin değişik pH'larda ölçülmüş zeta potansiyel değerleri verilmiştir (Çelik vd., 2002). Sıfır yük noktasının altındaki pH değerlerinde kolemanitin yüzey yükü pozitif, üzerindeki pH'larda ise yüzey yükü negatiftir. Dolayısıyla pH 10,5'un altında anyonik kolektörler ile çalışırken pH 10,5'un üzerinde katyonik kolektörler etkili olmaktadır (Yaşar, 1994).

Genel olarak kolemanit flotasyonunda kullanılan reaktifler aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

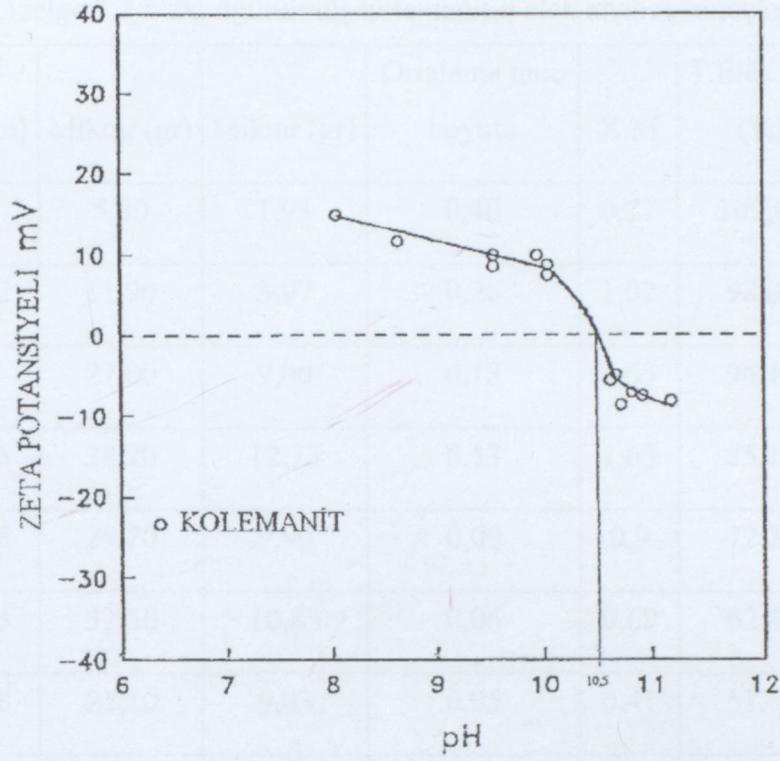
Anyonik kolektörler; sodyum dodesil benzen sülfonat, sodyum oleat, potasyum etil ksantat ve potasyum amil ksantat, naftanik asit.

Katyonik kolektörler; dodesil amin hidroklorit,

Non iyonik kolektörler; gaz yağı ve fuel oil.

pH ayarlayıcılar; HCl ve NaOH,

Kolemaniti canlandırmak için; baryum klorür, kil mineralleri ve kalsiti bastırmak için sodyum silikat kullanılabilmektedir (Özkan, 1994).



Şekil 3.2 Kolemanit mineralinin zeta potansiyel eğrisi (Çelik vd., 2002)

Yapılan testlerde alınan numuneler 5-10 cm çapında büyük parçalar halindedir. Yapılan flotasyon testleri bu parçalardan 5-6 kg alınıp, kırılıp öğütülerek elde edilen örnekler üzerinde yapılmış olup bor (B_2O_3) tenörleri %26 ila %32 arasında değişmektedir. Cevher kolemanit, kalsit ve illit tipi kil minerallerinden oluşmaktadır.

Minerallerin serbestleşmesini gerçekleştirmek için flotasyon işlemi %90'ı 0.3 mm'nin altında tanelerde yapılmıştır. 5-10 kg lık numune öncelikle çeneli kırıcıda kırılmış ve 2 mm lik elek seçilerek, tamamı, 2 mm altına indirilmiştir. 2 mm altına inen kolemanit numunesi bilyalı değirmende kuru öğütme işlemine tabi tutulmuş ve öğütülen malzeme 0,5 mm elekten elenerek flotasyon testlerinde kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin tane boyutu dağılım verileri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Deneylerimizde kullandığımız kollektörler yüzey potansiyeline ve daha önceden yapılan çalışmalar ışığında seçilmiştir. Deney koşulları (kullanılan reaktif miktarları, zaman ve pH değerleri) Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2 5 dk. öğütülmüş kolemanitin elek analizi sonuçları

Elek Açıklığı (mm)		Miktar (gr)	Miktar (gr)	Ortalama tane boyutu	X.M	T.Elek Altı (%)	T.Elek Üstü (%)
-0,5	+0,3	5,80	1,93	0,40	0,77	100,00	1,93
-0,3	+0,212	11,90	3,97	0,26	1,02	98,02	5,90
-0,212	+0,15	27,00	9,00	0,18	1,63	94,10	14,90
-0,15	+0,106	38,20	12,73	0,13	1,63	85,10	27,63
-0,106	+0,075	29,70	9,90	0,09	0,9	72,37	37,53
-0,075	+0,053	32,50	10,83	0,06	0,69	62,47	48,37
-0,053	+0,038	27,10	9,03	0,05	0,41	51,63	57,40
-0,038	0	127,80	42,60	0,02	0,81	42,60	100,00
Toplam		300,00	100,00		7,86		

Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan reaktif miktarı, zaman ve pH değerleri

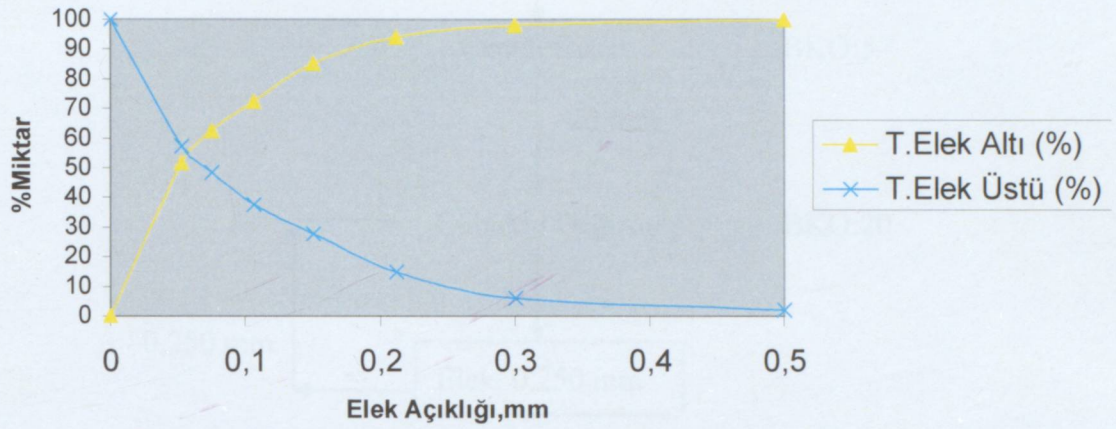
Kollektör	Reaktif miktarı, g/ton	Zaman, dakika	pH
Sülfonat	1500	10	9,5
Köpürtücü	50	2	-
Flotasyon		10	-

Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan reaktif miktarı, zaman ve pH değerleri

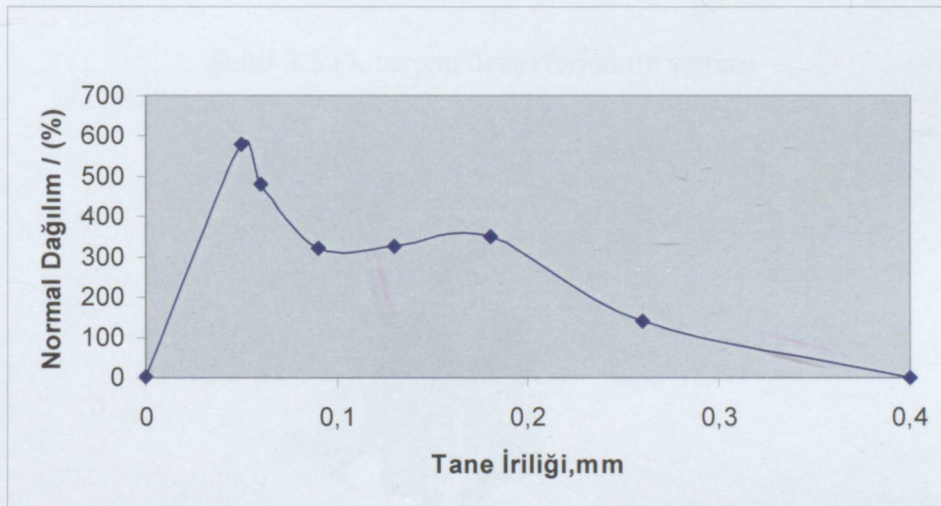
Kollektör	Reaktif miktarı, g/ton	Zaman, dakika	pH
Saksinamat	1500	10	9,5
Köpürtücü	50	2	-
Flotasyon		10	-

Çizelge 3.5 Deneylerde kullanılan reaktif miktarı, zaman ve pH değerleri

Kollektör	Reaktif miktarı, g/ton	Zaman, dakika	pH
Sülfonat	1500	10	9,5
Saksinamat	1000		
Köpürtücü	50	2	-

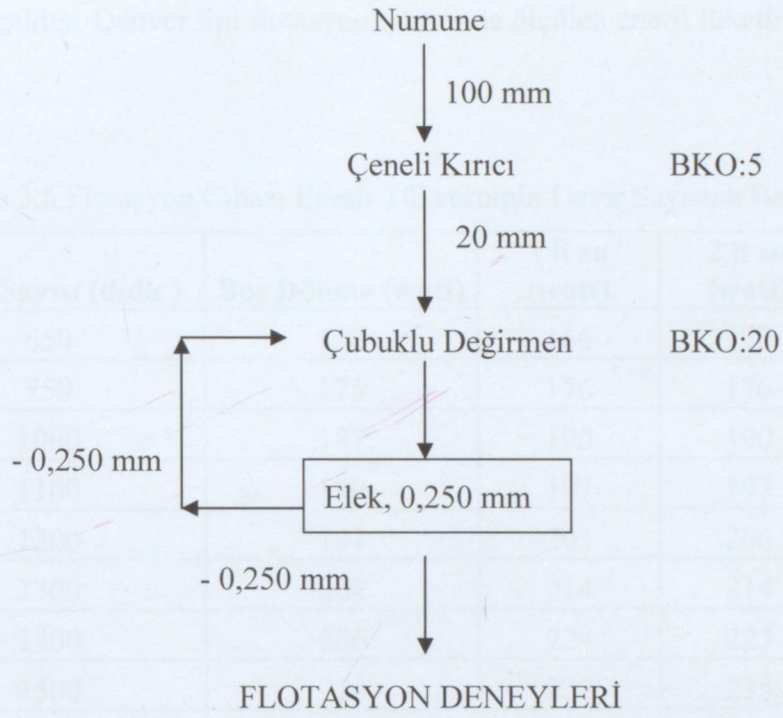


Şekil 3.3 5 dk. öğütülen kolemanit numunesinin kümülatif elek eğrileri

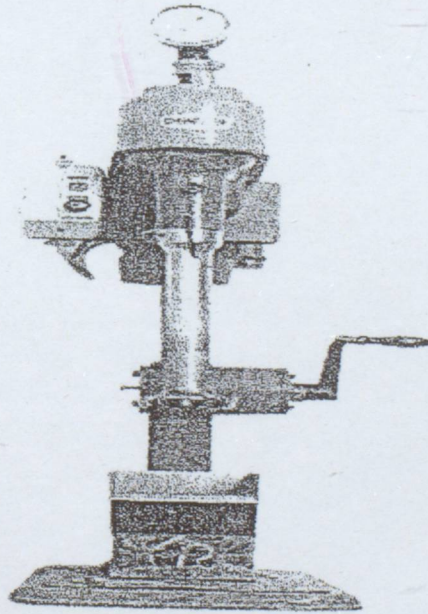


Şekil 3.4 Kullanılan malzemenin normal dağılım eğrisi

Deneysel akım şeması Şekil 3.5'te, deneylerde kullanılan flotasyon cihazı ise Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5 Flotasyon deneyleri akım şeması



Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan flotasyon cihazı

Deneylerin yapıldığı Denver tipi flotasyon cihazında ölçülen enerji tüketimleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Flotasyon Cihazı Enerji Tüketiminin Devir Sayısına Bağlı Değişimi

Devir Sayısı (d/dk)	Boş Dönme (watt)	1 lt su (watt)	2 lt su (watt)	4 lt su (watt)
650	130	166	172	170
750	175	176	176	176
1000	187	190	190	190
1100	190	197	197	196
1200	197	203	206	206
1300	202	214	214	214
1400	206	224	223	225
1500	214	237	235	235
1550	217	246	243	242

4. BULGULAR

Toplayıcı olarak sülfonat ve 1 lt'lik flotasyon selülü kullanılarak gerçekleştirilen birinci aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 1000 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,190 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	47,54	25,31	17,31	1,53	3,56
Artık	52,46	39,20	13,38	1,28	3,32
Besleme	100,00	32,59	15,25	1,41	3,43

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	36,5	54,14	51,63	49,27		9,37
Artık	63,1	45,86	48,37	50,73	24,73	

Çizelge 4.2 1200 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1750 cc, enerji değeri:0,203 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	43,54	20,95	19,31	2,19	4,7
Artık	56,56	40,5	7,16	1,11	2,99
Besleme	100,00	32,02	12,46	1,68	3,74

Dağılım %

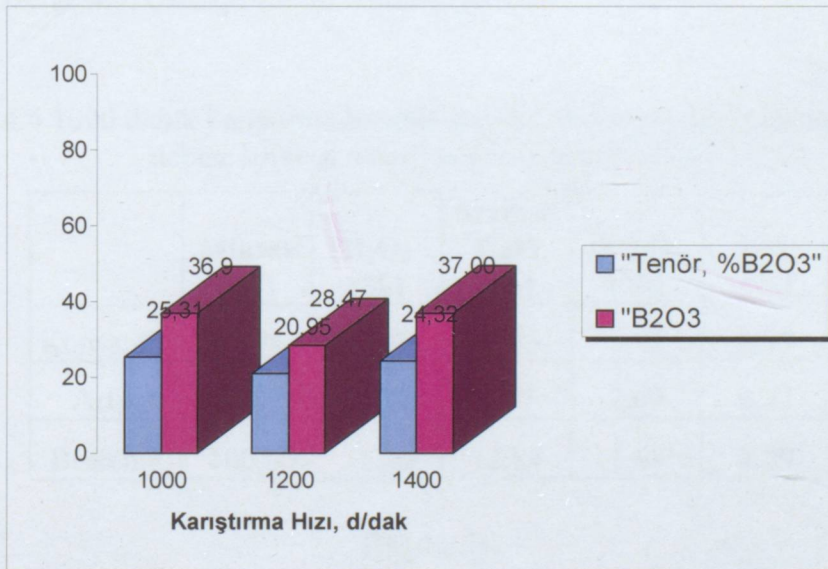
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	28,47	67,49	56,72	54,81		13,03
Artık	71,53	22,51	43,28	45,19	28,96	

Çizelge 4.3 1400 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:2000 cc, enerji değeri:0,224 watt/cc)

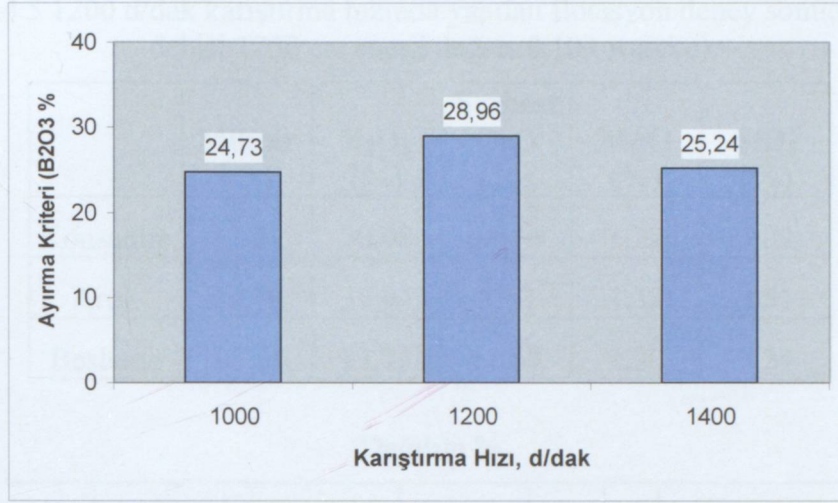
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	49,19	24,32	17,53	1,87	4,17
Artık	50,81	40,08	7,39	1,11	3,02
Besleme	100,00	32,32	12,38	1,48	3,57

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	37,00	69,63	62,16	57,42		12,20
Artık	62,99	30,37	37,84	42,58	25,24	



Şekil 4.1 Sülfonat toplayıcı ve 1 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.2 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Toplayıcı olarak sülfonat ve 2 lt'lik flotasyon selülü kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.4 1000 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,095 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	45,98	27,59	16,23	1,22	2,99
Artık	54,02	34,27	9,97	2,09	4,72
Besleme	100,00	31,20	12,84	1,68	4,29

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayrırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	40,67	58,10	34,36	38,23		9,42
Artık	59,33	41,90	65,64	61,77	20,33	

Çizelge 4.5 1200 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1750 cc, enerji değeri:0,103 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	53,24	30,08	14,44	1,22	3,02
Artık	46,76	37,94	8,53	1,38	3,51
Besleme	100,00	33,75	11,67	1,30	3,24

Dağılım %

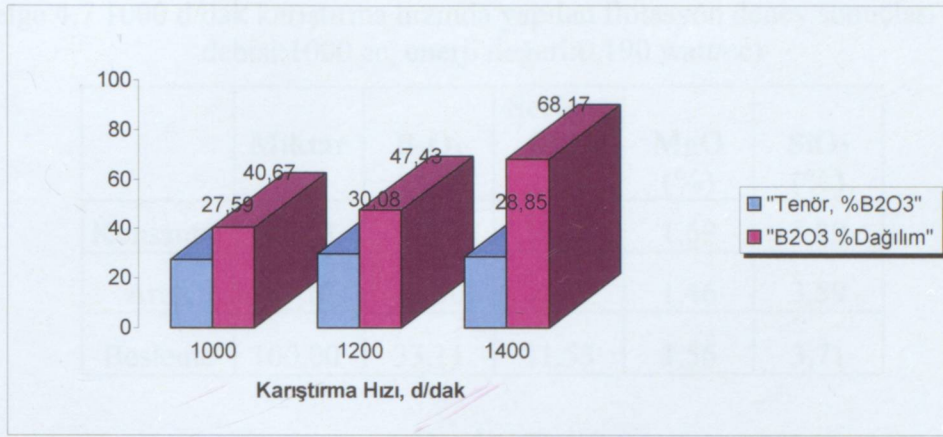
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	47,43	65,83	50,00	49,38		9,50
Artık	52,57	34,17	60,00	50,62	19,94	

Çizelge 4.6 1400 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:2000 cc, enerji değeri:0,111 watt/cc)

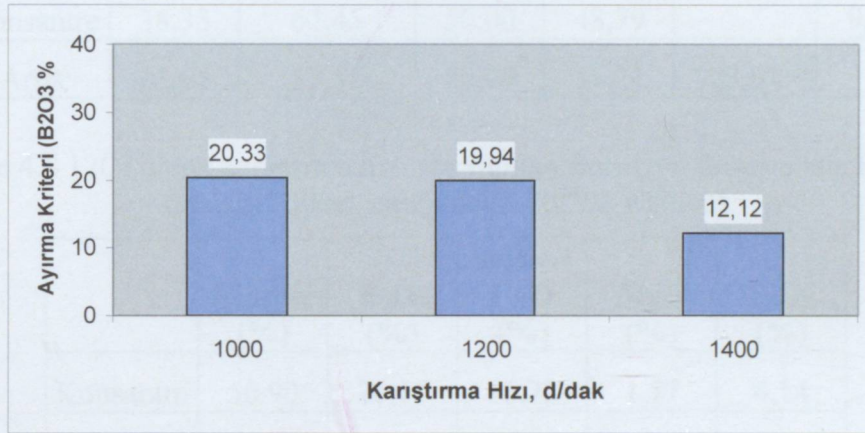
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	73,87	28,85	14,89	1,51	3,56
Artık	26,13	38,09	7,86	1,60	3,95
Besleme	100,00	31,26	13,00	1,54	3,66

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	68,17	84,23	72,73	71,86		12,54
Artık	31,83	15,77	27,27	28,14	12,12	



Şekil 4.3 Sülfonat toplayıcı ve 2 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.4 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen verileri incelediğimizde (cevher kolemanit, kalsit ve kil minerallerinden oluşmaktadır) kalsit ve kolemanitte zpc pH değerleri pozitif olduğu için pH:9,5 altında hem kalsit, hem de kolemanit yüzeyinin pozitif olduğu görülmüştür. Yüzey pozitif olduğu zaman anyonik kolektörlerle yüzdürme gerçekleşmektedir. Kalsitin yüzdüğü, kolemanitin altta kaldığı tespit edilmiştir. Daha çok seçiciliği kalsit lehine kullanmış ve kalsitin yüzdüğü görülmüştür. 1400 d/dak karıştırma şiddetinde kolemanit adına karıştırmanın müspet etkisinin olmadığı ve karıştırmada yapışan tanelerin ayrıldığı görülmüştür.

Saksinamat toplayıcı kullanılarak hava debisi 1000, 1750 ve 2000 cc ve 1 lt'lik flotasyon selülü ile gerçekleştirilen ikinci aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bu verilerden yola çıkılarak da Şekil 4.5 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.7 1000 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,190 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	46,53	27,41	15,60	1,69	3,89
Artık	53,17	38,30	8,15	1,46	3,59
Besleme	100,00	33,11	11,53	1,56	3,71

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	38,35	62,45	50,00	48,79		9,74
Artık	61,65	37,55	50,00	51,21	23,61	

Çizelge 4.8 1200 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1750 cc, enerji değeri:0,203 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	50,90	26,16	16,22	1,77	4,14
Artık	49,10	40,18	7,70	0,89	2,65
Besleme	100,00	33,04	12,00	1,33	3,41

Dağılım %

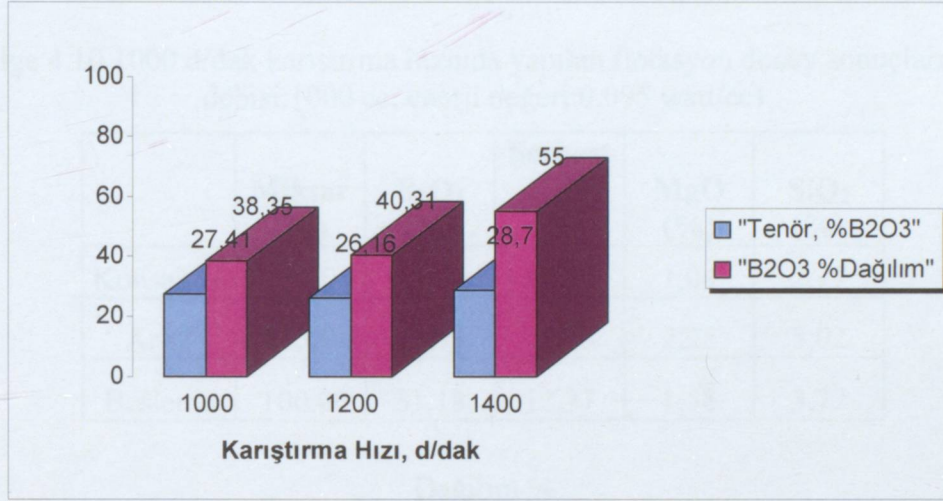
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	40,31	68,60	67,67	61,88		11,12
Artık	59,69	31,40	32,33	38,12	23,98	

Çizelge 4.9 1400 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:2000 cc, enerji değeri:0,224 watt/cc)

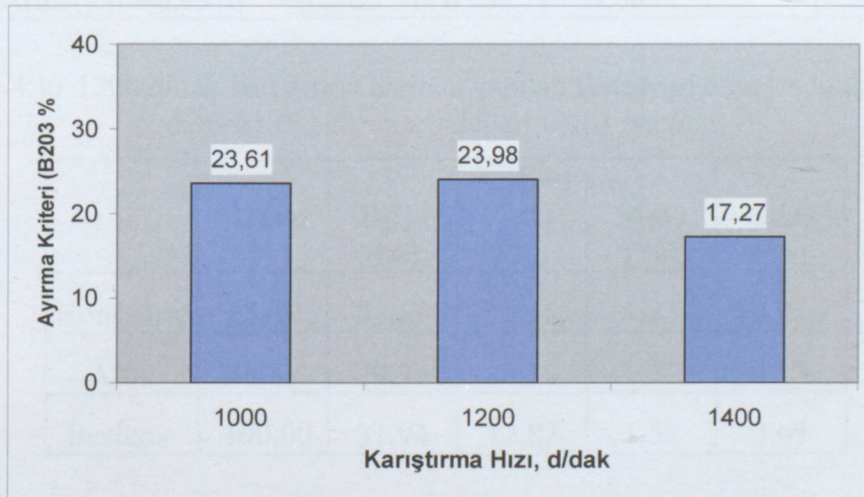
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	60,26	28,70	14,53	1,70	4,03
Artık	39,74	38,38	8,85	1,03	2,80
Besleme	100,00	32,54	12,28	1,43	3,54

Dağılım %

	B_2O_3	Serbest CaO	MgO	SiO_2	Ayırma Kriteri	
					B_2O_3	CaO
Konsantre	55,00	71,34	71,33	68,64		10,36
Artık	45,00	28,66	28,67	31,36	17,27	



Şekil 4.5 Saksinamat toplayıcı ve 1 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.6 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen bu sonuçları incelediğimizde karıştırma hızı 1000'den 1200 d/dak'ya çıktığında konsantre tenörü çok az düşmesine rağmen verimin biraz arttığı ancak karıştırma hızı 1400

d/dak'ya çıkarıldığında kolemanitin büyük bir kısmının bastırıldığı ve kalsitin yüzdüğü görülmüştür. Kritik yapışma şiddetinde çarpışan tanelerin kritik bir noktadan sonra ayrıldığı, tenör düştüğünde verimin de düştüğü görülmüştür.

Saksinamat toplayıcı ve 2 lt'lik flotasyon selülü kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.10 1000 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,095 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	55,00	33,80	12,10	1,04	2,77
Artık	45,00	27,99	12,68	2,25	5,02
Besleme	100,00	31,18	12,37	1,58	3,77

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	59,62	53,84	36,08	40,32	20,15	
Artık	40,39	46,16	63,92	59,68		5,85

Çizelge 4.11 1200 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1750 cc, enerji değeri:0,103 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	53,47	33,67	12,45	1,31	3,21
Artık	46,53	29,95	13,34	1,77	4,13
Besleme	100,00	31,94	12,87	1,52	3,63

Dağılım %

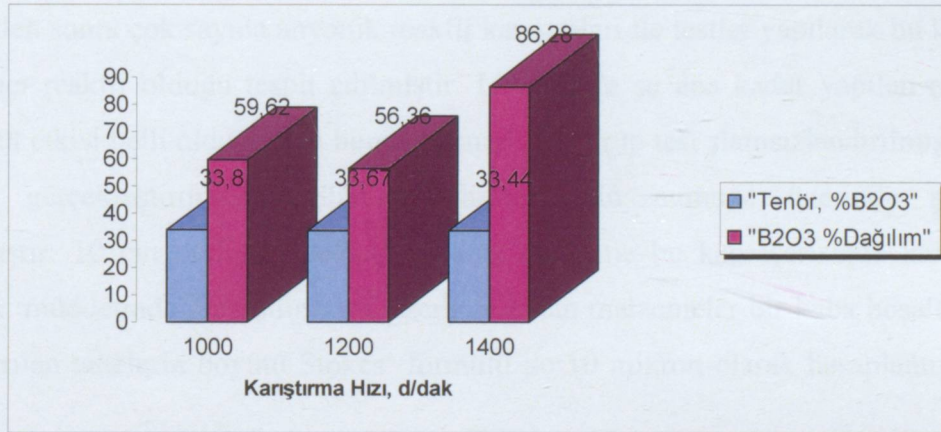
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	56,36	51,75	46,05	47,11	18,97	
Artık	43,64	48,25	54,93	52,89		6,44

Çizelge 4.12 1400 d/dak karıştırma hızında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:2000 cc, enerji değeri:0,111 watt/cc)

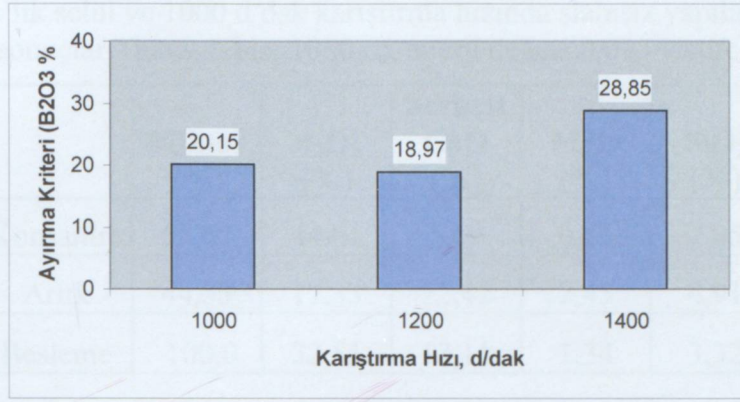
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	82,35	33,44	12,07	1,20	3,13
Artık	17,65	24,81	14,86	3,22	6,61
Besleme	100,00	31,92	12,56	1,56	3,73

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	86,28	79,14	63,46	68,9	28,85	
Artık	13,72	20,83	36,54	31,10		3,09



Şekil 4.7 Saksinamat toplayıcı ve 2 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.8 1000, 1750 ve 2000 cc hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen bu sonuçları incelediğimizde kritik karıştırma hızının aşıldığı 1400 d/dak da, özellikle ayırma kriterleri değerleri görülmektedir. 2 lt'lik selülde karıştırma hızı etkisinin kolemanit lehine değiştiği görülmüştür. Kolektörün, kolemanit lehine seçiciliği olduğu için kolemanitin kalsite göre daha iyi yüzdüğü ve düz flotasyon gerçekleştiği görülmüştür.

Bu testlerden sonra çok sayıda anyonik reaktif karışımları ile testler yapılarak bu karışımın en iyi toplayıcı reaktif olduğu tespit edilmiştir. Literatürde şu ana kadar yapılan çalışmalarda şlamın kötü etkisi belli olduğu için bundan sonraki bir grup test şlamsızlandırılmış numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şlamsızlandırmak için numune üzerinde şu işlemler uygulanmıştır: 10 cm derinliğinde kap alınmış malzeme bu kap içerisinde karıştırıldıktan sonra 1 dk. müddetinde dinlendirilerek üzerinde kalan malzemeler bir kaba boşaltılmıştır. Bu şekilde ayrılan tanelerin boyutu Stokes' formülü ile 10 mikron olarak hesaplanmıştır (Yiğit, 1999).

Stokes' Kanunu; $v = g \times d^2 (S_k - S_L) / 18\eta$

v : Nihai hız g : Yerçekimi ivmesi d : Tane boyutu S_k : Kolemanitin özgül ağırlığı
 S_L : Suyun özgül ağırlığı η : Viskozite

$$d = \sqrt{v \times 18 \times \eta / g \times (S_k - S_L)}$$

$$v = 0,16 \text{ cm / sn}, g = 980 \text{ cm / sn}^2, \eta = 0,10 \text{ poise}, S_k = 2,48 \text{ gr / cm}^3, S_L = 1 \text{ gr / cm}^3$$

$$d \approx 10 \text{ mikron}$$

Sülfonat ve saksinamat toplayıcı kullanıldığında ve 2lt'lik flotasyon selülü kullanılarak gerçekleştirilen üçüncü aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.13 2 lt'lik selül ve 1000 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,095 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	55,67	44,61	5,69	0,63	2,05
Artık	44,33	17,33	22,42	2,45	4,91
Besleme	100,0	32,51	13,11	1,34	3,32

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	76,38	24,18	26,12	34,34	34,07	
Artık	23,62	75,82	73,88	65,66		16,99

Çizelge 4.14 2 lt'lik selül ve 1200 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,103 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	67,22	42,69	7,14	0,65	2,06
Artık	32,78	14,02	22,79	2,34	4,73
Besleme	100,00	33,30	12,26	1,21	2,94

Dağılım %

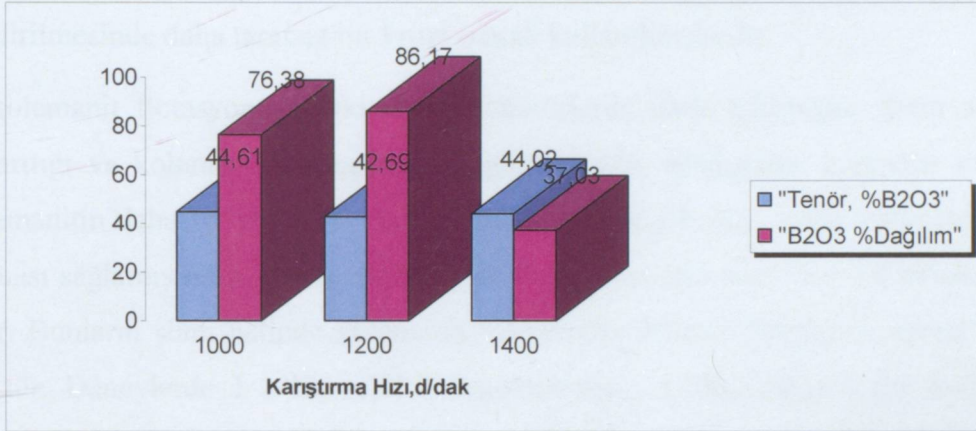
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	86,17	39,07	36,36	47,28	36,78	
Artık	13,83	60,93	63,63	52,72		13,88

Çizelge 4.15 2 lt'lik selül ve 1400 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,111 watt/cc)

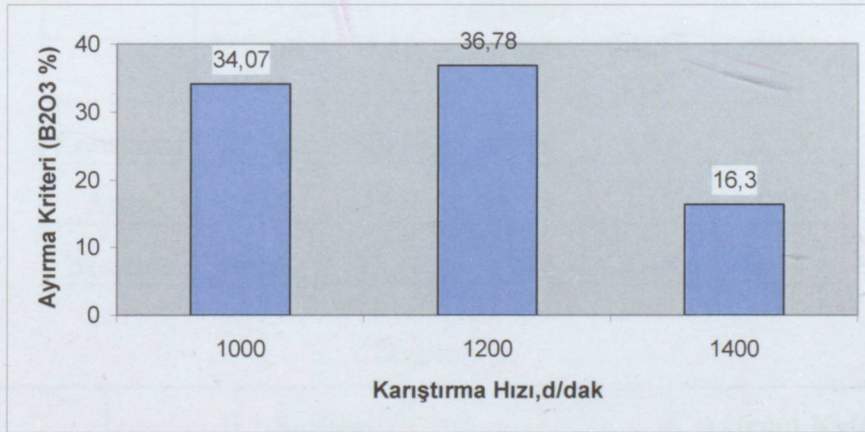
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	27,46	44,02	5,88	0,67	1,97
Artık	72,54	28,31	15,15	2,02	3,79
Besleme	100,00	32,64	11,72	1,65	3,28

Dağılım %

	B_2O_3	Serbest CaO	MgO	SiO_2	Ayırma Kriteri	
					B_2O_3	CaO
Konsantre	37,03	18,60	11,91	16,46	16,30	
Artık	62,97	81,40	89,09	83,54		12,33



Şekil 4.9 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 2 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.10 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen sonuçları incelediğimizde; Sülfonat ve saksinamat toplayıcıları karıştırdığımızda, 1000 cc/dak da hava debisini sabit tutarak gerçekleştirdiğimiz şlamsız deneyi sonucunda randımanın 1200 d/dak da arttığı görülmüştür. 1400 d/dak da kritik karıştırma hızının üstüne çıkmış, tenör artsa bile randıman düşüşü görülmüştür. Zenginleştirme işlemlerinde ürünlerin değerlendirilmesinde genellikle konsantrelerin tenörleri ve randımanları göz önüne alınır.

Bilindiği üzere tenörler ve randımanlar birbirleriyle ters orantılıdır. Yani bir konsantride tenör yükselirse randıman azalır veya tersi, randıman yükselirse tenör azalır. Bunun için, bu çalışmada daha pozitif ve tarafsız bir kriter olan ve Sayın hocam Prof. Dr. Erdoğan Yiğit tarafından geliştirilen ayırma kriteri kavramı kullanılmıştır. Bu kriter tenör ve randımanın çarpımından oluşmakta ve çıkan sayının ilk iki hanesi karşılaştırmalarda baz olarak alınmaktadır. Deney sonuçlarını gösteren çizelgelerde tenör ve randımanlar (dağılım) yanında konsantreler için B_2O_3 ve CaO bazında ayırma kriterleri hesaplanmış ve konsantrelerin değerlendirilmesinde daha tarafsız bir kriter olarak kullanılmışlardır.

Şlamın kolemanit flotasyonuna etki ettiği literatürlerde ifade edilmiştir. Şlam alındığında tenörün arttığı ve kolemanitin zenginleştiği görülmüştür. Şlamsızda, kollektör karışımı ile hem kolemanitin daha iyi yüzdüğü hem de kalsit varken yüzdüğü tespit edilmiştir. Kalsitin altta kalması sağlamış olup, şlamsızlaştırma ile flotasyona etki eden ince kil taneleri bertaraf edilmiştir. Bunların şlam halinde kolemanit yüzeylerini örterek flotasyona menfi etki ettiği görülmüştür. Deneylerde 1 lt'lik selül kullanılmamıştır, kullanıldığında ise, kollektörlerin kalsit lehine seçici olduğu tespit edilmiştir, bu nedenle 2 ve 4 lt'lik selüller kullanılmıştır.

Çizelge 4.16 2 lt'lik selül ve 1200 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1200 cc, enerji değeri:0,103 watt/cc)

	Miktar (%)	B_2O_3 (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO_2 (%)
Konsantre	83,62	36,44	11,18	1,11	2,55
Artık	16,38	13,9	23,74	3,17	6,18
Besleme	100,00	32,74	13,24	1,44	3,14

Dağılım %

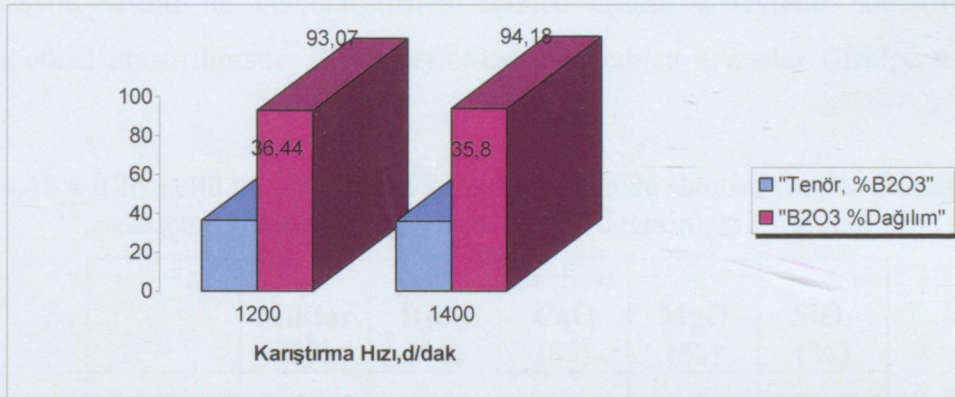
	B_2O_3	Serbest CaO	MgO	SiO_2	Ayırma Kriteri	
					B_2O_3	CaO
Konsantre	93,07	70,62	63,89	67,83	33,91	
Artık	6,93	29,38	36,11	32,17		6,97

Çizelge 4.17 2 lt'lik selül ve 1400 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1200 cc, enerji değeri:0,111 watt/cc)

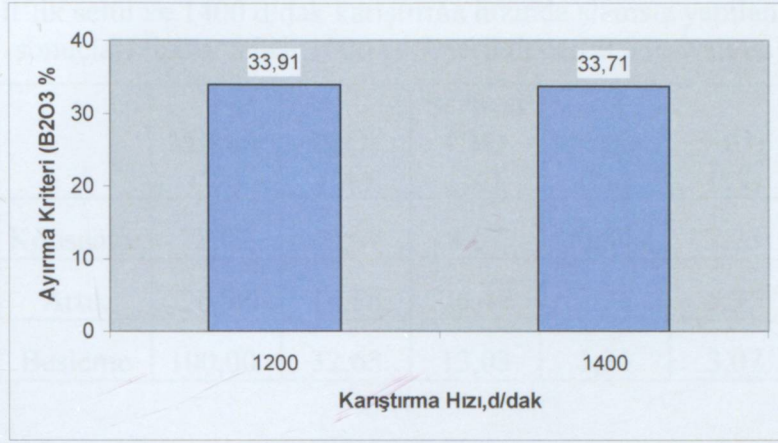
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	86,35	35,80	11,44	1,19	2,65
Artık	13,74	13,92	23,74	3,29	6,31
Besleme	100,00	32,82	13,14	1,47	3,16

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	94,18	75,19	69,38	72,47	33,71	
Artık	5,82	24,81	30,62	27,53		5,89



Şekil 4.11 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 2 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.12 1200 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen bu sonuçları incelediğimizde 1200 cc/dak sabit hava debisinde, karıştırma hızı etkisi artarken randıman kompanse edilmiştir.

Hava miktarı 1000 cc olarak alınan, sülfonat ve saksinamat toplayıcı kullanıldığında ve 4 lt'lik flotasyon selülü ile gerçekleştirilen üçüncü aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.18-4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.18 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,052 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	63,89	44,15	5,52	0,76	2,11
Artık	36,11	12,90	25,83	2,30	4,60
Besleme	100,00	32,86	12,86	1,31	3,00

Dağılım %

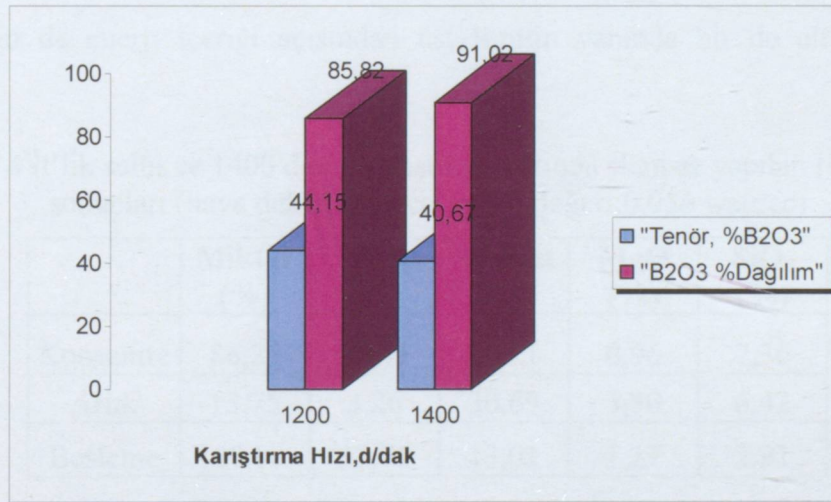
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	85,82	27,45	37,4	44,67	37,89	
Artık	14,18	72,55	62,6	55,33		18,74

Çizelge 4.19 4 lt'lik selül ve 1400 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000 cc, enerji değeri:0,056 watt/cc)

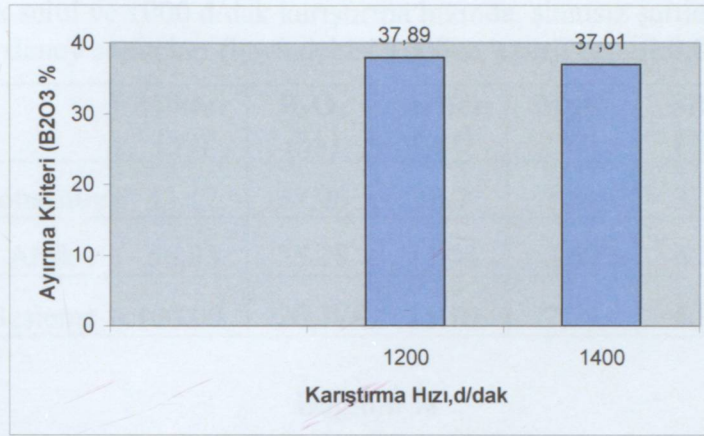
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	73,02	40,67	8,07	0,84	2,23
Artık	26,98	10,86	26,49	2,76	5,35
Besleme	100,00	32,63	13,03	1,35	3,07

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	91,02	45,2	45,18	58,76	37,01	
Artık	8,98	54,8	54,82	47,24		14,52



Şekil 4.13 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 4 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.14 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen bu sonuçları incelediğimizde 1000 d/dak da reaktifler ve diğer kriterler aynıken flotasyon gerçekleşmemiştir yani 1000 d/dak'da yüzmenin gerçekleşmediği görülmüştür. Ayırma kriteri 1200-1400 dev/dak da aynı. 1200 dev/dak'da yüzme gerçekleşmiştir. 4 lt'ye çıktığı zaman gücün azaldığı ve daha hızlı karıştırma gerektiği tespit edilmiştir. Hem karıştırma hem de enerji içeriği açısından üst limitin yanında bir de alt limitin olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.20 4 lt'lik selül ve 1400 d/dak karıştırma hızında şlamsız yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1200cc, enerji değeri:0,056 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	86,25	37,41	10,21	0,96	2,36
Artık	13,75	3,26	30,69	3,30	6,42
Besleme	100,00	32,71	13,01	1,27	2,91

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	98,65	67,18	65,35	69,97	36,90	
Artık	1,35	32,82	34,65	30,03		10,07

Hava debisi 1000 cc/dak ve 1750 cc/dak olarak alınan, sülfonat ve saksinamat toplayıcı kullanıldığında ve 2 lt'lik flotasyon selülü ile gerçekleştirilen dördüncü aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.21, Çizelge 4.22, Çizelge 4.23, Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.21 2lt'lik selül ve 1000 d/dak karıştırma hızında, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000cc, enerji değeri:0,095 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	43,17	27,96	16,7	1,61	3,21
Artık	56,83	25,18	14,04	3,69	6,29
Besleme	100,00	26,37	15,10	2,79	4,96

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	45,78	47,50	25,09	28,02	12,80	
Artık	54,22	52,50	74,91	71,98		7,37

Çizelge 4.22 2 lt'lik selül ve 1200 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1000cc, enerji değeri:0,103 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	41,35	29,03	16,07	1,52	3,10
Artık	58,65	24,55	16,06	3,78	6,29
Besleme	100,00	26,40	16,03	2,85	4,97

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	45,45	41,30	22,10	27,75	13,22	
Artık	54,54	58,70	77,9	72,25		9,43

Çizelge 4.23 2 lt'lik selül ve 1400 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1000cc, enerji değeri:0,111 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	28,79	26,79	17,65	1,48	3,04
Artık	71,21	26,2	16,06	3,34	5,73
Besleme	100,00	26,36	16,51	2,79	4,96

Dağılım %

	B₂O₃	Serbest CaO	MgO	SiO₂	Ayırma Kriteri	
					B₂O₃	CaO
Konsantre	29,25	30,77	15,05	17,74	7,84	
Artık	70,75	69,23	84,95	82,26		11,12

Çizelge 4.24 2 lt'lik selül ve 1200 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,103 watt/cc)

	Miktar (%)	B₂O₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO₂ (%)
Konsantre	39,82	29,00	15,90	1,65	3,31
Artık	60,18	24,59	16,99	3,66	6,15
Besleme	100,00	26,34	16,55	2,92	5,02

Dağılım %

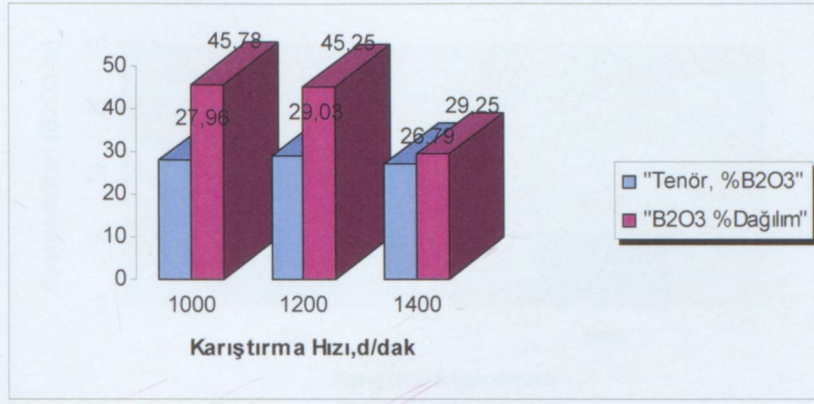
	B₂O₃	Serbest CaO	MgO	SiO₂	Ayırma Kriteri	
					B₂O₃	CaO
Konsantre	43,81	38,25	22,6	26,29	12,70	
Artık	56,19	61,75	77,4	73,71		10,49

Çizelge 4.25 2 lt'lik selül ve 1400 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,111 watt/cc)

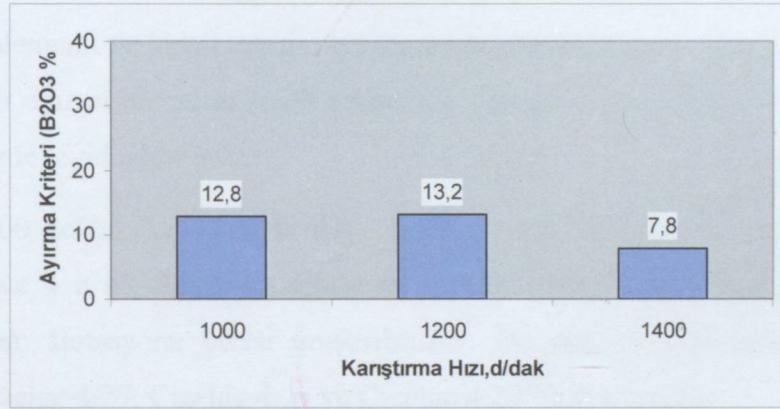
	Miktar (%)	B₂O₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO₂ (%)
Konsantre	37,12	24,51	19,29	1,52	3,11
Artık	22,88	27,50	14,98	3,56	6,02
Besleme	100,00	15,39	10,58	1,37	2,53

Dağılım %

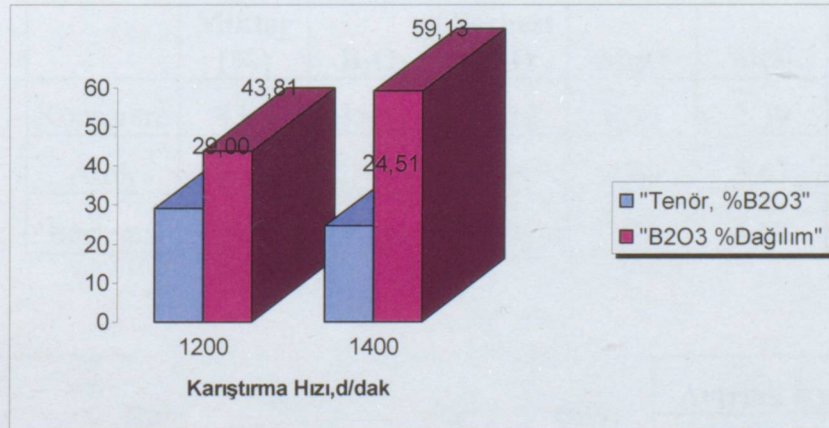
	B₂O₃	Serbest CaO	MgO	SiO₂	Ayırma Kriteri	
					B₂O₃	CaO
Konsantre	59,13	75,75	40,87	45,45		14,61
Artık	40,89	32,32	59,12	54,54	11,24	



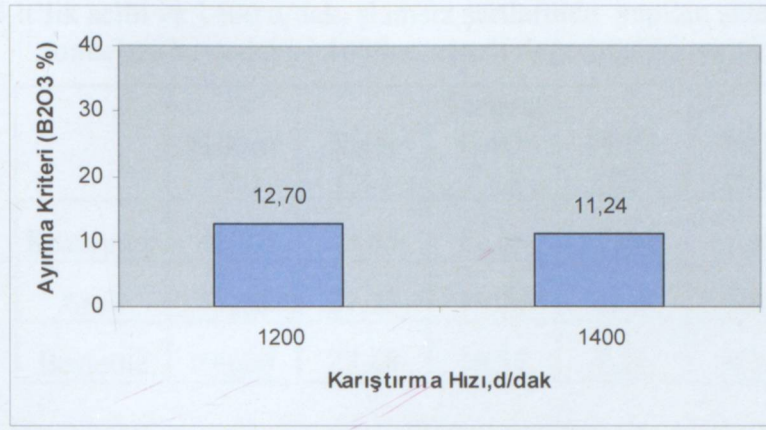
Şekil 4.15 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 2 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi (Şlamlı)



Şekil 4.16 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi



Şekil 4.17 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 2 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi (Şlamlı)



Şekil 4.18 1750 cc sabit hava debisi'nde karıştırma şiddeti ile ayırma kriteri ilişkisi

Elde edilen bu sonuçları incelediğimizde; 1000 cc/dak ile 1750 cc/dak hava debilerinde karıştırma hızı 1400 d/dk olduğu zaman tenör aynı kalırken, randıman'ın düştüğü görülmüştür. Kolemanit ve kalsit ayırımı iyi olmadığı gözlemlenerek, düz flotasyonun olduğu ancak çok iyi bir ayırım olmadığı tespit edilmiştir. Önceden literatürde belirtilen şlam etkisi bizim testlerimizde teyid edilmiştir..

Hava debisi 1000 cc/dak ve 1750 cc/dak olarak alınan, sülfonat ve saksinamat toplayıcı kullanıldığında ve 4 lt'lik flotasyon selülü ile gerçekleştirilen dördüncü aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.29 ve Çizelge 4,29'da verilmiştir.

Çizelge 4.26 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak da, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1000cc, enerji değeri:0,051 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂
Konsantre	43,2	35,37	12,12	0,96	2,39
Artık	56,80	19,68	19,90	4,01	6,67
Besleme	100,00	26,46	6,54	2,70	4,82

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	57,74	31,69	15,56	21,37	20,42	
Artık	42,26	68,31	84,44	78,63		13,59

Çizelge 4.27 4 lt'lik selül ve 1400 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1000cc, enerji değeri:0,056 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	42,82	35,65	12,03	1,01	2,45
Artık	57,18	21,73	19,28	3,99	6,64
Besleme	100,00	27,68	16,17	2,71	4,85

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	57,19	31,85	15,87	21,65	20,39	
Artık	42,81	68,15	84,13	78,35		13,14

Çizelge 4.28 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamlı flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,051 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	62,15	33,28	13,61	1,13	2,62
Artık	37,85	15,47	21,77	4,64	7,75
Besleme	100,00	26,53	16,70	2,46	4,56

Dağılım %

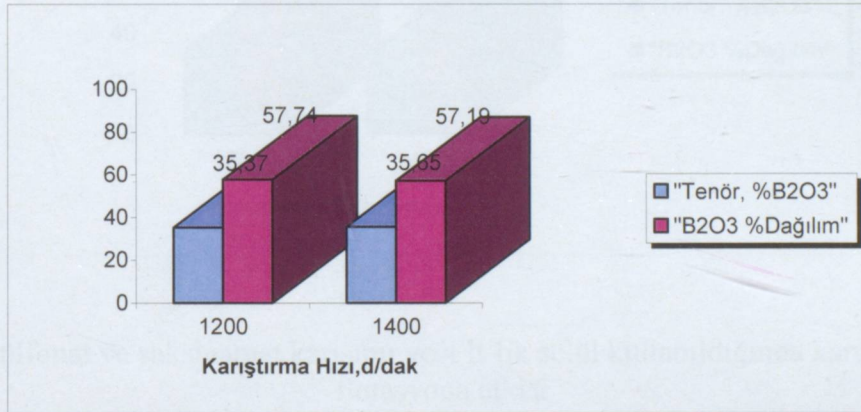
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	77,94	50,66	28,46	35,75	25,94	
Artık	22,06	49,34	71,54	64,25		10,74

Çizelge 4.29 4 lt'lik selül ve 1400 d/dak, şlamsız şartlarında yapılan şlamli flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,056 watt/cc)

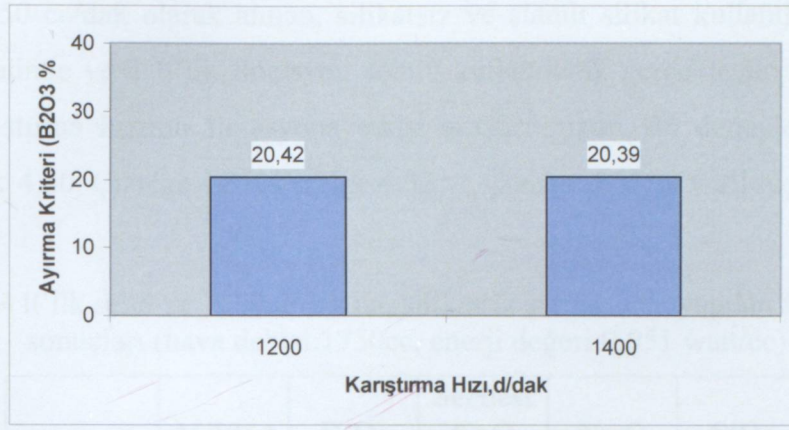
	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	69,58	31,61	14,43	1,44	3,04
Artık	30,42	13,03	12,74	5,05	8,35
Besleme	100,00	25,95	13,92	2,53	4,65

Dağılım %

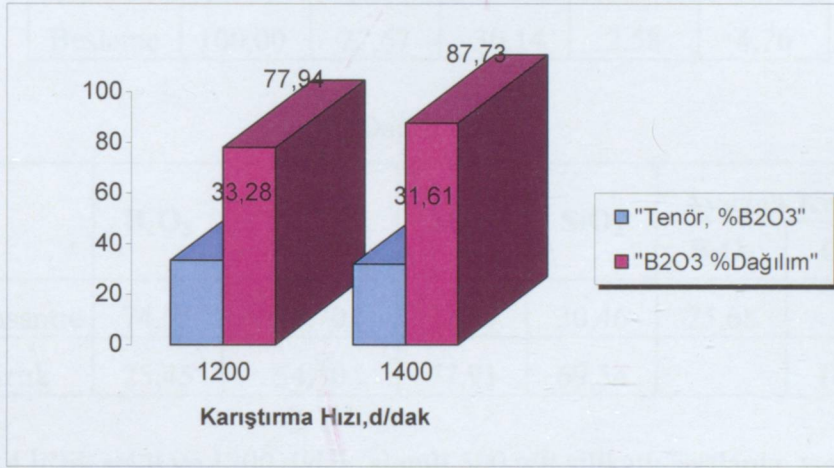
	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	87,73	72,12	39,53	45,38	27,73	
Artık	12,27	27,88	60,47	54,62		3,55



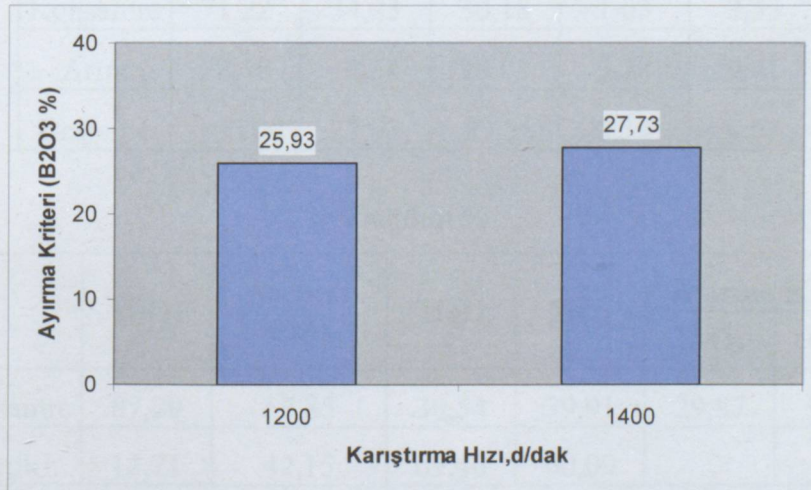
Şekil 4.19 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 4 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.20 1000 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi



Şekil 4.21 Sülfonat ve saksinamat karışımı ve 4 lt'lik selül kullanıldığında karıştırma hızının flotasyona etkisi



Şekil 4.22 1750 cc sabit hava debisinde karıştırma hızı ile ayırma kriteri ilişkisi

Hava debisi 1750 cc/dak olarak alınan, silikatsız ve şıamlı silikat kullanılarak 1200 d/dak. karıştırma şiddetinde ve 4 lt'lik flotasyon selülü kullanılarak gerçekleştirilen beşinci aşama deneylerde karıştırma hızının flotasyona etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.30, Çizelge 4.31, Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.30 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak da, silikatsız şartlarında yapılan flotasyon deney sonuçları (hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,051 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	59,87	34,45	30,14	0,96	2,42
Artık	40,13	17,55	30,17	5,02	8,26
Besleme	100,00	27,67	30,14	2,58	4,76

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	74,55	45,70	22,09	30,46	25,68	
Artık	25,45	54,30	77,91	69,54		16,38

Çizelge 4.31 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak, şıamlı 500 g/lt silikatlı şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,051 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	71,22	34,23	30,18	1,03	2,53
Artık	28,78	12,34	28,03	5,78	9,41
Besleme	100,00	27,93	29,56	2,39	4,51

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	87,29	57,85	30,54	39,91	29,87	17,46
Artık	12,71	42,15	69,46	60,09		

Çizelge 4.32 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak, şlamalı 1000 g/lt silikatlı şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,051 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	64,13	34,84	30,13	1,07	2,60
Artık	25,87	14,32	28,00	5,59	9,17
Besleme	100,00	26,04	26,56	2,70	4,96

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	85,79	50,27	25,56	33,67	29,89	
Artık	14,20	49,73	74,44	6,22		13,92

Çizelge 4.33 4 lt'lik selül ve 1200 d/dak, şlamalı 1500 g/lt silikatlı şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçları(hava debisi:1750cc, enerji değeri:0,051 watt/cc)

	Miktar (%)	B ₂ O ₃ (%)	Serbest CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)
Konsantre	41,23	37,16	29,72	0,89	2,37
Artık	58,77	20,42	29,32	3,95	6,75
Besleme	100,00	27,32	29,48	2,69	4,95

Dağılım %

	B ₂ O ₃	Serbest CaO	MgO	SiO ₂	Ayırma Kriteri	
					B ₂ O ₃	CaO
Konsantre	56,08	27,36	13,75	19,80	20,83	
Artık	43,92	72,64	86,25	80,20		21,30

Elde edilen sonuçları incelediğimizde bu grup deneylerde silikatın kil minerali lehine bastırıcı etkisinin olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kolemanit mineralleri ile yapılan labaratuvar testlerinde toplayıcı olarak Sülfonat ve Saksinamatların ayrı ayrı ve karışım olarak beraberce kullanılmaları sonrası aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Bu toplayıcı reaktifler ayrı ayrı kullanıldıklarında, Kolemanit minerallerinin Kalsit + Kil minerallerinden ayrılmasında, Kolemanit için değil, genel olarak Kalsit mineralleri için seçici olmaktadır. Yalnızca Saksinamat, 2 lt'lik selülle yapılan flotasyon testlerinde, Kolemanit mineralleri için zayıf ölçüde seçici olmuştur.

2. Bu toplayıcı reaktiflerin karışımı beraberce kullanıldıklarında, Kolemanit mineralleri için seçici olmuşlardır. Bu karışımın seçici etkisi numune şlamsızlandırıldığında daha da artmaktadır.

3. Optimum karıştırma hızı üst limiti 1200 d/dak olarak tespit edilmiştir Daha yüksek karıştırma hızında örneğin 1400 d/dak karıştırma hızında Kolemanit ve Kalsit mineralleri arasındaki seçicilik azalmaktadır.

4. Karıştırma hızında pülp katı konsantrasyonuna bağlı olarak bir alt sınır da söz konusudur. 4 lt'lik selül kullanıldığında 50 g/lt pülp katı konsantrasyonunda ve 1000 d/dak karıştırma hızında flotasyon gerçekleşmezken, 1200 d/dak karıştırma hızına çıkıldığında flotasyon mümkün olmaktadır.

5. Pülpe verilen hava debisinin flotasyonda etkisi eskiden beri bilinen bir konudur. Burada bu konuda fazla flotasyon testi yapılmamasına rağmen genel görünümün, fazla hava debisinin fazla malzemenin yüzmesine sebep olmasına rağmen, Kolemanit ile Kalsit mineralleri arasındaki seçiciliği azalttığıdır.

6. Sülfonat ve Saksinamat karışımının toplayıcı olarak kullanılması ile yapılan flotasyon testlerinde optimum şartlar 1200 d/dak karıştırma hızı, 1000 cc/dak hava debisi ve 50 g/lt pülp katı konsantrasyonu bulunmuştur. Bu şartlarda şlamsızlandırılmış yani takriben -10 mikron boyutunda % 30 malzeme kaybı ile % 45 B₂O₃ tenörlü konsantrelerin % 65-75 randımanla elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

7. Deneylerde elde edilen konsantrelerin değerlendirilmesi; Sayın hocam Prof. Dr. Erdoğan Yiğit'in önerdiği ayırma kriteri kavramı cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde yeni bir kavram oluşturmaktadır. Ayırma kriteri tarafsız bir kriter olarak flotasyon konsantrelerin değerlendirilmesinde kullanılmış ve çok yararlı olmuştur.

KAYNAKLAR

- Adnan, A., Baykut, S., (1987), "Çevre Sorunları ve Koruma", İstanbul.
- Alkan, M. and Doan, M., (2004), "Dissolution kinetics of colemanite in axolic acid solutions", Chemical Engineering and Processing, Volume 43, Issue 7, July, Pages 867-872.
- Alkan, M., Kocakerim, M.M. and Çolak, S., (1985), "Dissolution kinetics of colemanite in water saturated by carbon dioxide", J. Chem. Tech. Biotechnology, 35A, p:382-386.
- Anon., (1993), "Ege Bölgesi Maden Potansiyeli ve Değerlendirilmesi", İzmir.
- Anon., Gelişim Hachette (1989), 573-574.
- Anon., Jeoloji Mühendisliği Dergisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın Organı, Sayı 34-35, Mayıs-Kasım 1989.
- Atak, S., (1990), "Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması", İ.T.Ü. Maden Fakültesi.
- Bianchini G., Pennisi, M., Cioni, R., Muti, A., Cerbai, N. and Kloppmann, W., (2005), "Hydrochemistry of the high-boron groundwaters of the Cornia aquifer" (Tuscany, Italy), Geothermics, Volume 34, Issue 3, June, Pages 297-319.
- Ceyhan, A.A., Çelikoyan M.B. Kuşay; Özdemir, E. and Bulutçu, A.N. (2006), "The design of continuous boric acid production process from colemanite ore", Istanbul Technical University, Dept. of Chemical Engineering; Source: CHISA 17 th International Congress of Chemical and Process Engineering.
- Çavuş, F. and Kuşlu, S., (2005), "Dissolution kinetics of colemanite in citric acid solutions assisted by mechanical agitation and microwaves", Source: Industrial and Engineering Chemistry Research, v 44, n 22, Oct 26, 2005, p 8164-8170.
- Çelik, C., (2003), "Kolemanit Flotasyonuna Değişik Tipte Kolektörlerin Etkisinin İncelenmesi", İstanbul Üniversitesi, Bitirme Projesi.
- Çelik, M.S., Atak, S and Önal, G., (1992) "Flotation of Boron Minerals", SME Preprint 92-187, Presented at the AIME Annual Meeting, Phoenix.
- Çelik, M.S., and Bulut R., (1996), "Mechanism of selective flotation of sodium-calcium borates with anionic and cationic collectors", İ.T.Ü. Separation Science and Technology, Volume 31, N 13, July, Pages 1817-1829.
- Çelik, M.S., Hançer M. and Miller J.D., (2002), "Flotation Chemistry of Boron Minerals", Journal of Colloid and Interface Science, Volume 256, Issue 1, 1 December, Pages 121-131.
- Çelik, M.S., and Hançer, M., (1993) "Flotation Mechanisms of Boron Minerals", İ.T.Ü. Separation Science and Technology, Volume 28, N 9, July, Pages 1703-1714.
- Çelik, M.S., Sağlam, H., and Hançer, M., "Activation Mechanism of Barium ions in Colemanite Flotation", İstanbul Technical University, Mining Faculty Mineral Processing Section, 203-205.
- Çelik, M.S., Yaşar, E. and Shall, E.H., (1998), "Flotation of Heterocoagulated Particulates in Ulexite/SDS/Electrolyte System", Journal of Colloid and Interface Science, Volume 203, Issue 2, 15 July, Pages 254-259

Çelik, M.S., and Yaşar E., (1995), "Elektrokinetic Properties of Some Hydrated Boron Minerals", *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume 173, Issue 1, July, Pages 181-185.

Çetin, E., Eroğlu, I. and Özkar, S., (2001), "Kinetics of gypsum formation and growth during the dissolution of colemanite in sulfuric acid", *Journal of Crystal Growth*, v 231, n 4, November, p 559-567.

Çolak, M., Gemici, Ü. and Gültekin, T., (2003), "The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and ground water in İğdeköy-Emet, Kütahya, Turkey", *Source: Water, Air, and Soil Pollution*, v 149, n 1-4, October, p 127-143

Demirel, H., and Ersayın, S., (1994), "Progress In Mineral Processing Technology", Hacettepe University, Mining Engineering Department, Ankara, Proceedings of 5 th international mineral processing symposium Cappadocia, Turkey, 6-8 September, Pages 149-152.

Eskibalci, F., (2007), "Cevher Hazırlama ve Zenginleştirmede Mikrodalga Enerjisinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Esat, A., (2003), "Kırka tıkal atıkları üzerindeki cevher hazırlama ve zenginleştirme çalışmaları", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi.

Esat, A., (2002), "Bor Uç Ürünlerinin Araştırılması", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi.

Flores, H.R., Mattenella, L.E. and Kwok, L.H., (2006), "Slow release boron micronutrients from pelletized borates of the northwest of Argentina", *Minerals Engineering*, Volume 19, Issue 4, April, Pages 364-367.

Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı, C. and Somay, M.A., (2008), "High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç borate deposits" (Western Turkey), *Applied Geochemistry*, In Press, Corrected Prof, Available online, 4 March.

Gonfiantini, R. and Pennisi, M., (2006), "The behaviour of boron isotopes in natural waters and in water-rock interactions", *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 88, Issues 1-3, January-March, Pages 114-117.

Gül, A., Kaytaş Y. and Önal, G., (2006), "Beneficiation of colemanite tailings by attrition and flotation", *I.T.Ü, Mining Engineering Department, Coal and Mineral Section*, Volume 19, Pages 368-369.

Gülensoy, H., (1961), "Türkiyedeki Bor Mineralleri ile Bunların Dehidrolanmaları, Çözünürlükleri ve Katı Cisim Reaksiyonları Hakkında".

Gülensoy, H., and Kocakerim, M.M., (1977), "Solubility of ulexite in CO₂-containing water", *Bulletin of the mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, No:89, p:36-37.

Gülgönül, İ., (1990), "Bor Minerallerinin Flotasyonuna Şlam Etki Mekanizması", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü.

Helvacı, C., (2006), "Bor madenciliğinde işletme, zenginleştirme ve pazarlama sorunları", III. Uluslar arası Bor Sempozyumu, s: 559-571.

Karagölge, Z., Alkan, M. and Donmez, B., (2002), "Removal of Arsenic from colemanite ore containing arsenic by froth flotation", Source: Journal of Chemical Engineering of Japan, v 35, n 3, March, Pages 217-225.

Kayataz, Y., (1990), "Cevher hazırlama", İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, sayı:1424.

Kemmer, F.N., (1977), Water: The Universal Solvent, Nalco Chemical Company, Oakbrook, A.B.D.

Kılıç, A.M., (2004), "Bor madeninin Türkiye açısından önemi ve gelecekteki yeri", II. Uluslararası Bor Sempozyumu, s:31-41, 23-25 Eylül ESKİŞEHİR.

Koca, S. and Savaş M., (2004), "Contact angle measurements at the colemanite and realgar surfaces", Applied Surface Science, Volume 225, Issues 1-4, 30 March, Pages 347-355.

Koca, S., Savaş M. and Koca H., (2003), "Flotation of colemanite from realgar", Minerals Engineering, Volume 16, Issue 5, May, Pages 479-482.

Kocakerim, M.M. and Alkan, M., (1988), "Dissolution of colemanite in SO₂-saturated water", Hydrometallurgy, No:19, p: 385-392.

Küçük, Ö. And Kocakerim M.M., (2005), "Optimization of dissolution of ulexite in water saturated with sulphur dioxide", Chemical Engineering and Processing, Volume 44, Issue 9, September p: 1005-1011.

Künkül, A., Yapıcı, S., Kocakerim M.M. and Copur, M., (1997), "Dissolution kinetics of ulexite in ammonia solutions saturated with CO₂", Hydrometallurgy, Volume 44, Issues 1-2, January, p 135-145.

Lin, B., Recke B., Knudsen K.H. J. and Jorgensen B.S., (2008), "Bubble size estimation for flotation processes", Minerals Engineering, Volume 21, Issue 7, June, Pages 539-548.

Flores, H.R., Mattenella, L.E. and Kwok, L.H., (2006), "Slow release boron micronutrients from pelletized borates of the northwest of Argentina", Source: Minerals Engineering, v 19, n 4, April, p 364-367.

Özkan, Ş.G., (1994), "Flotation studies of colemanite ores from the emet deposits of Turkey", Thesis (Ph.D), University of Birmingham.

Özkan, Ş.G., (1999), "Practical approach to the solubility of colemanite ores", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol:108, p:c53-c57.

Özkan, Ş.G. and Acar A., (2004), "Investigation of impact of water type on borate ore flotation", Water Research, Volume 38, Issue 7, April, Pages 1773-1778.

Özkan, Ş.G., Kuyumcu, H. Z., and Önal, G., (2007), "A general and recent Outlook for borates mining and industry", World of Mining, (Basıldı).

Öztürk, N., Kavak, D. and Köse, E.T., (2008), "Boron removal from aqueous solution by reverse osmosis", Desalination, Volume 223, Issues 1-3, 1 March, Pages 1-9

Pennisi, M., Bianchini G., Muti A., Kloppmann W. and Gonfiantini R., (2006), "Behaviour of boron and strontium isotopes in groundwater-aquifer interactions in the Cornia Plain" (Tuscany, Italy), Applied Geochemistry, Volume 21, Issue 7, July, Pages 1169-1183

Pennisi, M., Gonfiantini, R., Grassi, S. and Squarci, P., (2006), "The utilization of boron and strontium isotopes for the assessment of boron contamination of the Cecina River alluvial aquifer" (central-western Tuscany, Italy), Source: Applied Geochemistry, v 21, n 4, April, p 643-655.

Pişkin, S., (1983), "Hidrate bor minerallerinin termik özellikleri", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Ravenscroft, P. and McArthur M.J., (2004), "Mechanism of regional enrichment of groundwater by boron" the examples of Bangladesh and Michigan, USA Applied Geochemistry, Volume 19, Issue 9, September, Pages 1413-1430.

Sümer, G., (2004), Bor Bileşikleri, II. Uluslar arası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, 153-164.

Şener, S. and Özbayoğlu, G., (1996), "Effect of heat treatment on grindability of ulexite", Innovations in Mineral and Coal Processing, 7. International Mineral Processing Symposium İstanbul/Turkey, Atak, Önal & Çelik (eds), pp:29-31, Beklama, Rotterdam.

Taggart, A.F., (1960), Handbook of Mineral Dressing. Wiley, New York.

Taggart, A.F., (1951), "Elements of Dressing", John Wiley and Sons, N. Y.

Taggart, A.F. and Arbiter F., (1946), "The Chemistry of Collection of Nonmetallic Minerals by Amine-Type Collectors", Trans. AIME, 169-266.

Taylan, N., Gürbüz, H. and Bulutcu, A.N., (2007), "Effects of ultrasound on the reaction step of boric acid production process from colemanite", Ultrasonics Sonochemistry, Volume 14, Issue 5, July, Pages 633-638.

Taylan, N., Gürbüz, H. and Bulutçu, N.A., (2007), "Effects of ultrasound on the reaction step of boric acid production process from colemanite", Source: Ultrasonics Sonochemistry, v 14, n 5, July, p 633-638.

Tokmak, B., (2004), "Bor uç ürünleri ve BM bor teknolojileri tecrübesi", II. Uluslar arası Bor Sempozyumu, s:105-108, 23-25 Eylül ESKİŞEHİR.

U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2000.

Bozkurt, V. and Özgür, J., (2007), "Dry grinding kinetics of colemanite", Powder Technology, Volume 176, Issues 2-3, 20 July, Pages 88-92.

Wallmann, K., Aloisi, G., Haeckel, M., Tishchenko, P., Pavlova, G., Greinert, J., Kutterolf, S. and Eisenhauer, A., (2008), "Silicate weathering in anoxic marine sediments", Geochimica et Cosmochimica Acta, Volume 72, Issue 12, Pages 2895-2918.

Yarar, B., (1985), "The Surface Chemical Mechanism of Colemanite-Calcite Separation by Flotation Economic Geology and Production".

Yarar, B., (1973), "Düşük Tenörlü Kolemanit Cevherinin Flotasyon Yoluyla Zenginleştirilmesi", Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik III. Kongresi, Ankara.

Yarar, B., (1970), "Kolemanit Minaralinin Flotasyon Yolu İle Değerlendirilmesi", Türkiye Bilimsel Ve Teknik Araştırma Kurumu, O.D.T.Ü. Fen ve Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Ankara.

Yaşar E., (1994), “Bor minerallerinin elektrostatik ve elektrokinetik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yeşilyurt, M., (2004), “Determination of the optimum conditions for the boric acid extraction from colemanite ore in HNO₃ solutions”, Department of Chemical Engineering, Ataturk University, Source: Chemical Engineering and Processing, v 43, n 10, October, p 1189-1194.

Yiğit, E., (1999), “Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.

Yiğit, E., Özkan G.Ş., “Flotasyon Yöntemi Uygulamaları”, İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği, Temmuz 2007.

Yiğit, E. (1994), “Some flotation characteristics of Mc Arthur River Ore, Progress in Mineral Processing Technology”, Balkema, Rotterdam, 149-152.

ZareNezhad, Bahman., (2003), “Production of crystalline boric acid through the reaction of colemanite particles with propionic acid”, Dept. of Chemical Engineering, Iran Univ. of Science and Technology, Source: Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, v 11, n 3-4, p 363-380.

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://www.etimaden.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi:16.02.2008]

<http://www.boraxtr.com/> [Ziyaret Tarihi:11.04.2008]

<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi:10.04.2008]

<http://www.ekutup.dtp.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 10.04.2008]

<http://www.netcinet.com/> [Ziyaret Tarihi: 11.04.2008]

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	02.02.1971	
Doğum yeri	K.D.Z Ereğli	
Lise	1987	Kırklareli Atatürk Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Üniversitesi Kimya Metalurji Fak. Metalurji Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995-1998	İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Üretim Met. Prog.
Doktora	1999-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Üretim Met. Prog.
Çalıştığı kurum(lar)		
	1996-1998	Nasaş Alüminyum Tesisi. Metalform Tic. San. A.Ş.
	2000	Marmara Patent Ofisi
	2000-2001	Neotek A.Ş.
	2002-2004	Lyra Yönetim Hizmetleri ve Turizm İşletmeleri A.Ş.
	2004-2008	ISO 9000 Kalite Sistem Danışmanı ve ISO 9000 Kalite Yönetim Sistemi Bağımsız Başdenetçi

