

8815

KESTELEK TESİS ARTIKLARINDAN BORUN  
KAZANILMASI

Ali UÇAR

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Cevher Hazırlama Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç.Dr. Hüseyin ÖZDAĞ

Şubat-1989

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

Ali UÇAR'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı  
"Kestelek Tesis Artıklarından Borun Kazanılması" başlıklı  
bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili  
maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

17./3./1989

Uye: Doç. Dr. Rifat BOZKURT

Uye: Doç. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ

Uye: Doç. Dr. Güner Önce

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 1.6. HAZİRAN 1989  
gün ve ..23/5..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA

Enstitü Müdürü



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	2
2.1. Borun Tanımı .....	2
2.2. Tarihçesi .....	3
2.3. Jeokimyası .....	4
2.4. Genel Jeolojisi .....	7
2.5. Stratigrafisi .....	8
2.6. Mineralojisi .....	8
2.6.1. Kolemanit .....	11
2.6.2. Uleksit .....	12
2.6.3. Boraks .....	13
2.6.4. Pendarmit .....	14
2.6.5. Kernit .....	14
2.7. Bor Yataklarının Oluşumu .....	17
2.8. Bor Yatakları ve Rezervleri .....	19
2.9. Bor Cevherinin Zenginleştirilmesi .....	23
2.9.1. Elle ayırma ile zenginleştirme .....	23
2.9.2. Karıştırarak dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme ...	24
2.9.3. Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme .....	25
2.9.4. Magnetik ayırma ile zenginleştirme .	26

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.9.5. Elektrostatik ayıma ile zenginleştirme .....	27
2.9.6. Kalsinasyon yolu ile zenginleştirme .	27
2.9.7. Flotasyon yolu ile zenginleştirme ...	28
2.10. Bor Mineralleri ve Ürünlerinin Kullanım Alanları .....	31
2.10.1. Cam sanayi .....	34
2.10.2. Seramik sanayi .....	34
2.10.3. Sabun ve deterjan sanayi .....	35
2.10.4. Yanmayı önleyen maddeler .....	35
2.10.5. Tarım alanında .....	35
2.10.6. Metalürji .....	36
2.10.7. Nükleer uygulama alanında .....	36
2.10.8. Diğer kullanım alanları .....	37
2.11. Bor Mineralleri ve Ürünlerinin Üretimi, Tüketimi ve Ticareti .....	40
3. KESTELEK KOLEMANİT İŞLETMESİ .....	44
3.1. Yeri ve Tarihçesi .....	44
3.2. Yatağın Jeolojisi, Litolojisi ve Tektonizması .....	45
3.3. Cevher Oluşumu .....	45
3.4. Minerolojisi .....	46
3.5. Cevher Üretimi .....	46
3.6. Yıkama Tesisi .....	47
4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR .....	51
4.1. Deneylerde Kullanılan Örneğin Alınması .....	51
4.2. Deney Örneğinin Kimyasal Analiz Sonuçları ..	52

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. Örneğe Uygulanan $B_2O_3$ ve Komple Analiz	
Sonuçları .....	52
4.3.1. $B_2O_3$ tayini.....	52
4.3.2. Komple analiz .....	54
4.4. Mineralojik Tanım .....	56
4.5. Boyut Dağılımı .....	56
4.6. Magnetik Ayırma ile Zenginleştirme Deneyleri	57
4.6.1. Magnetik ayırma deney örneğinin	
hazırlanması .....	57
4.6.2. Birinci grup örnek ile yapılan	
deneyler .....	57
4.6.3. İkinci grup örnek ile yapılan	
deneyler .....	60
4.6.4. Çalışma sonuçları .....	60
4.7. Flotasyon Yolu ile Zenginleştirme Deneyleri .	65
4.7.1. Flotasyon deney örneğinin hazırlanması	
çalışmaları .....	65
4.7.2. Kullanılan flotasyon reaktifleri .....	65
4.7.3. Gang minerallerinin yüzdürüldüğü	
flotasyon deneyleri .....	69
4.7.3.1. Nişastanın bastırıcı	
etkisinin incelendiği	
flotasyon deneyleri .....	71
4.7.3.2. Nişasta miktarının flotasyon	
deneylerine olan etkisinin	
incelendiği deneyler .....	75
4.7.4. Kolemanit mineralinin yüzdürüldüğü	
flotasyon deneyleri .....	76
4.7.4.1. pH: 5.5'da oleik asit	
miktarının etkisini incelemek	
için yapılan deneyler .....	76

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
4.7.4.2. pH: 8.5'da oleik asit miktarının etkisini incelemek için yapılan deneyler .....	77
4.7.4.3. Oleik asitin kademeli olarak verilmesinin flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler.....	78
4.7.4.4. Kullanılan reaktiflerin miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler .....	80
4.7.4.5. Slamın flotasyon deneylerine olan etkisini incelemek için yapılan deneyler .....	85
4.7.4.5. pH değerinin flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneyler .....	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	107
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	109

## ÖZET

Bu çalışmada Etibak'a ait Kestelek Bor Madenleri İşletmesi yıkama tesisinden çıkan -3 mm boyutlu artıklardan, yüksek alan şiddetli sürekli (permenant) magnetik ayırıcı kullanarak ve flotasyon yöntemiyle borun kazanılması amaçlanmıştır.

Esas minerali kolemanit, ikinci bor minerali üleksit ve gang mineralleride; kil, mil, ince taneli kumtaşı, biotit ve klorit olan cevher ortalama % 25.14  $B_2O_3$  içermektedir.

Büyük kısmı gangdan oluşan örneğin 0.075mm'nin altı yaş elemeyle atıldıktan sonra yaş elemeyle tane boyu gruplarına ayrılmış ve her boyut grubunun ayrı ayrı magnetik ayırma işlemine verilmesi sonucunda % 94.8  $B_2O_3$  verimiyle % 41.76  $B_2O_3$  tenörlü bir konsantre elde edilmiştir.

Sadece 0.075 mm'nin altı yaş elemeyle atıldıktan sonra elde edilen boyut grubunun magnetik ayırıcıya beslenmesiyle de % 91.8  $B_2O_3$  verimiyle % 38.40  $B_2O_3$  tenörlü bir konsantre elde edilmiştir.

Flotasyon yönteminin uygulanabilmesi için cevherin belli bir boyutun altına indirilmesi zorunluluğundan dolayı ve cevher -0.212 mm boyutunda daha yüksek oranlarda serbesleştiği için, bu boyutun altına kırma, öğütme ve sınıflandırmayla indirilmiştir.

Katyonik toplayıcılarla (aminlerle) gang minerallerinin yüzdürülüp kolemanitin kazanılması olumlu bir sonuç vermemiştir. Bu nedenle anyonik toplayıcılarla (şülfonatlar ve yağ asitleri) tek, tek, veya karışımlar halinde kullanılarak kolemanit: yüzdürülmüştür. Yapılan bu deneylerde

şlamın kolemanit flotasyonunu önlediği görölerek, şlam uzaklaştırılmış ve en olumlu sonuç oleik asit kullanılarak % 68.5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimiyle % 44.14 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü bir konsantre alınarak elde edilmiştir.





## SUMMARY

In this study the effort has been made to reclaim colemanite from the minus 3 mm tailings produced in Vestelek Boran Concentrator. High intensity permanent magnetic separator and froth flotation method have been applied to recover boron minerals from the tailings.

The tailing consist of colemanite as the main boron mineral, ulesite as minor boron mineral and gangue material which are mainly clay, silt, fine grained sand stone, biotite and chlorite. It has been determined that the average  $B_2O_3$  content of the ore was 25.14 %  $B_2O_3$ .

Having removed minus 0.075 mm material by wet sieving, the remaining material has been classified into different size fractions by using standard sieves. Each size fraction has been passed through a high intensity permanent magnetic separator. A colemanite concentrate with 41.76 %  $B_2O_3$  grade and 94.8 %  $B_2O_4$  recovery has been produced.

A colemanite concentrate with grade of 38.40 %  $B_2O_3$  and recovery of 91.8 %  $B_2O_3$  has been obtained for a size of grater than 0.075 mm.

In order to apply froth flotation method, the ore has been comminuted to finer than 0.075 mm in closed circuit grinding. the results of revers flotation with cationic collectors (amines) were not promising. For this reason colemanite was floated with anionic collectors (sulphonates and fatty acids). It has been determined that slimes were finer than 0.0038 mm in size prevented colemanite flotation. Removal of the slimes enabled a concentrate with grade of

44.14 %  $B_2O_3$  and recovery of 68.5 % B O to be produced.

As the result it is possible to state that high gradient permanentmagnetic separator produced very good and acceptable results in comparison with froth flotation method which causes high consumption of reagent.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sürecinde olumlu tenkit ve uyarılarda bulunarak çalışmalarına yön veren, bütün çalışmalarında büyük yardımını, desteğini ve katkısını gördüğüm tez yöneticim Sayın Hocam Doç. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a, öneri ve fikirlerinden yararlandığım Sayın Hocam Doç. Dr. Rifat BOZKURT'a teşekkür ederim.

Her konudaki yardımlarıyla çalışmama katkıları olan Mehmet YILDIZ'a ve Kimyasal analizlerin yapılmasında yardımcı olan Kim. Müh. Vedat SEVERCAN'a teşekkür ederim.

Tezin düzenlenmesi ve yazımını büyük dikkat ve titizlikle yaparak, bitirilmesi için en az benim kadar emek veren ve yorulan Emel TOPAL'a ve Fethi SAHİN'e teşekkür ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1.a. Kestelek yıkama tesisi akım şeması (kesit görünüşü) .....	49
3.1.b. Kestelek yıkama tesisi akım şeması (plan görünüş) .....	50
4.1. Magnetik ayırıcıya beslenecek -3 mm Kestelek tesis atığı örneğinin hazırlanmasını gösteren şema .....	58
4.2. Flotasyon deney örneğinin hazırlanmasını gösteren akım şeması .....	66
4.3. Konsantre tenör ve verimin oleik asit miktarına göre değişimi .....	79
4.4. Konsantre tenör ve verimin oleik asit miktarına göre değişimi .....	82
4.5. Konsantre tenör ve verimin R.801 miktarına göre değişimi .....	82
4.6. Konsantre tenör ve verimin R.825 miktarına göre değişimi .....	84
4.7. Konsantre tönör ve verimin oleikasit miktarına göre değişimi .....	88
4.8. Konsantre verim ve tenörün R.801 miktarına göre değişimi .....	90
4.9. Konsantre tönör ve verimin R.825 miktarına göre değişimi ... ..	92
4.10. R.825 miktarındaki artmanın konsantre tönör ve verimine göre değişimi .....	92
4.11. R.801 miktarındaki artımın konsantre tenör ve verime göre değişimi .....	94

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
4.12.	Oleik asit miktarındaki artımın konsantre tenör ve verimine göre değişimi .....	96
4.13.	Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi .....	98
4.14.	Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi .....	100
4.15.	Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi ....	102
4.16.	Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi .....	104
4.17.	Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi .....	106

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazı önemli bor minerallerinin minerolojik özellikleri .....	9
2.2. Önemli bazı bor minerallerinin kimyasal bileşimleri .....	16
2.3. Türkiye bor rezerv dağılımı .....	20
2.4. Dünya bor rezervleri .....	21
2.5. Başlıca ticari bor bileşikleri .....	32
2.6. Ülkelere göre borun kullanım alanlarının genel değişimi .....	33
2.7. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları .....	39
2.8. Dünya bor mireralleri üretimi .....	40
2.9. Etibank'a bağlı işletmeler ve bunlara bağlı tesisler .....	42
2.10. Türkiye bor mineralleri üretim, tüketim, zenginleştirme, satış ve stok miktarı .....	43
3.1. 1979-1986 yılları arası cevher üretimi .....	47
4.1. Kestelek bor işletmesinde stoklanan -3 mm atık ürünün tenör ve miktarı .....	51
4.2. Kestelek bor işletmesinden artılarından alınanörneğin komple kimyasal analizi .....	52
4.3. Farklı tane boyu gruplarının bireysel ayırma sonuçları .....	59
4.4. En iri ve en ince boyut grupları alınarak elde edilen grubun ayırma sonuçları .....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.5. Birinci grup örneğin tane boyu gruplarının tüm örneğe göre ayırma sonuçları .....	62
4.6. İkinci grup örneğin -4.75-0.075 mm boyut grubunun tüm örneğe göre ayırma sonuçları .	63
4.7. Birinci grup örneğin birleştirilmiş ayırma ürünlerinin analiz sonuçları .....	64
4.8. İkinci grup örneğin birleştirilmiş ayırma ürünlerinin analiz sonuçları .....	64
4.9. Deney-I'in sonuçları .....	70
4.10. Deney-II,'nin sonuçları .....	71
4.11. Deney-III'ün sonuçları .....	72
4.12. Deney-IV'ün sonuçları .....	73
4.13. Deney-V'in sonuçları .....	74
4.14. Deney-VI'nın sonuçları .....	74
4.15. Deney-VII'nin sonuçları .....	75
4.16. pH 5.5'da oleik asit miktarının f lotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	76
4.17. pH:8.5'da oleik asit miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	77
4.18. Oleik asitin kademeli olarak verilmesinin flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	7 <sup>o</sup>
4.19. Oleik asit miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	80

CİZELGELER ZİZİNİ (Devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.20. R.801 miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları	81
4.21. R.825 miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları	83
4.22. Oleik asit miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları .	86
4.23. R.801 miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları .....	87
4.24. R.825 miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları .....	89
4.25. R.801 miktarının sabit tutulup, R.825 miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkilerinin incelendiği deney sonuçları .....	91
4.26. R.825 miktarının sabit tutulup, R.801 miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deney sonuçları .....	93
4.27. R.825 miktarının sabit tutulup, oleik asit miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deney sonuçları .....	95
4.28. Değişik pH'larda oleik asitin flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	97
4.29. Değişik pH'larda kullanılan R.801'in flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	99



ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)

<u>Çizelge.</u>	<u>Sayfa</u>
4.30. Değişik pH'larda kullanılan R.825'in flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	101
4.31. Değişik pH'larda kullanılan R.801 ve R.825 karışımının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları.	103
4.32. Değişik pH'larda kullanılan R.825 ve oleik asit karışımının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları .....	105

## 1. GİRİŞ

Bor ve bor ürünleri çağımızın gelişen modern teknolojinin vazgeçilmez birer unsurudurlar. Başta cam, seramik, emaye, metalurji, deterjan sanayi, tarım sektörü olmak üzere nükleer enerji, jet ve roket yakıtı, eczacılık, kimya ve daha bir çok tüketim alanında yerini başka bir maddenin alamayacağı bir madde olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanları her geçen gün gelişen teknolojiye göre artmaktadır.

Dünya bor rezervinin % 60 kadarı Türkiye'de bulunmaktadır. Ayrıca, cevherimiz kalite bakımından da çok üstündür. Fakat bu kadar zengin ve kaliteli bor cevherimizi gerektiği gibi değerlendirip bundan en iyi bir şekilde yararlanamıyoruz. Çünkü; bor ve bor ürünlerinin fazla miktarda tüketimi ileri bir teknolojiyi gerektirir. Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Buna bağlı olarakta teknolojik gelişmenin yeterli olmamasından dolayı bor ve bor ürünlerinin kullanımı sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle bor ve bor ürünleri ihracata yönelik olarak işletilmektedir ve bununda Türkiye ekonomisindeki yeri çok önemlidir. İhracat genelde ham cevher olarak yapılmaktadır. Bu da Türkiye ekonomisi için büyük kayıp demektir. Halbuki Türkiye'nin yeraltından çıkarılan bor cevherlerinin zenginleştirilip yarı-mamul ve mamul bor ürünleri üretimine, yurtiçi tüketimlerinin artırılmasına ve en iyi bir şekilde ihracatına önem vermesi gerekir.

Bütün bunların yanında bor tesislerinden çıkan ve şimdilik değerlendirilmeyen düşük tenörlü yıkama artıkları işletme alanlarında stoklanmaktadır ve stok miktarı giderek büyümektedir. Bu durum, stoklama sorunu yaratırken, önemli bir döviz kaynağı değerlendirmeyi beklemektedir. Çünkü; cevherin yeraltından çıkarılması önemli bir gider oluşturmaktadır. Halbuki bu stokların değerlendirilmesinde böyle bir gider sözkonusu değildir. Yapılması gereken sadece uygun bir zenginleştirme tesisinin kurulmasıdır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Borun Tanımı

Yerkabuğunun yüzbinde birini oluşturan bor elementi doğada serbest halde bulunmaz. Alkali boratlar ya da borik asit şeklinde yatak oluşturur. (Polat, 1986; İpekoğlu ve Polat, 1987)

Periyodik sistemin beşinci elementidir. Atom ağırlığı 10.82, özgül ağırlığı 2.34, atom sayısı 5, ergime noktası 2300 °C dir. (Polat ve Ersoy, 1976; Polat, 1986; Mineral Facts and Problems, 1975)

Sentetik olarak elde edilen elementer bor iki farklı şekilde olabilir. Kristal halde olan parlak siyah renkli ve sert, amorf halde olan yeşilimsi sarı renkli, tatsız ve kokusuz bir tozdur. (Bor Mineralleri. IO M.T.A. Yayınlarından No: 187, 1982)

Borun elektrik iletkenliği oda sıcaklığında çok düşük olmasına rağmen ısıtıldıkça süratle artar. Bu metallere özgü bir özellik değildir. Diğer metalik özelliklerinin de çok az olmasından dolayı bor bir ametaldir. Halbuki borun bulunduğu periyodik sistemin üçüncü grubunun diğer elemanları metaldir.

Ergimiş iken soğutulduğunda çok sert ve kırılğan bir madde halini alır. Havada ısıtıldığında yeşil bir alevle yanar. Araştırmacılar borun bu özelliğinden, onu tayin etmekte yararlanmışlardır. (İpekoğlu ve Polat, 1987)

## 2.2. Tarihçesi

İnsanlar element borla bu yüzyılın başlarında tanışmış olmalarına rağmen bileşiklerinden binlerce yıldır yararlanmaktadır. Mısırlılar ve Mezopotamya Uygarlıklarının, bazı hastalıkların tedavisinde ve ölümlerin mumyalanmasında boraks kullandıkları bilinmektedir. M.Ö. 800 yıllarında Çinliler porselen cilası olarak kullanmışlardır. Eski Mısırlıların ve Mezopotamya Uygarlıklarının ölü mumyalama işlerinde ya da yaralara karşı bor bileşiklerinden faydalandıkları bilinmektedir.

Modern boraks endüstrisi ise 13. yüzyılda boraksın Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesiyle başlar. Borun element olarak ilk keşfi 1808'de Fransa'da Gay-Lussac, İngiltere'de Sir Humprey Davy tarafından aynı zamanlarda olmuştur. 18. yüzyılın ortasında borik asit (sasolite) İtalya'nın Toskana bölgesinde sıcak sulardan elde edilmiştir. Daha sonra 1852'de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği Şili'de başlar 1864'te Kaliforniya'daki tuzlu göllerde borun varlığı saptanır ve üretime geçilir.

İlk tinkal oluşumu 1872'de Nevada'da bulunmuştur. 1887'de Calica dağında Kolemanit bulunmuş ve 1925'te Kaliforniya'NIN Kern ilinde A.B.D. deki en büyük boraks oluşumu olan Kramer (Boron) yatağı bulunmuştur.

Türkiye'de bor minerallerinin Doğu Roma İmparatorluğu sürecinde işletilmeye başlandığı sanılmaktadır. Bununla beraber ilk madencilik 1861 yılında Fransız Compagnie Industrielle Des Mazures tarafından yapılmaya başlar; daha sonra 1887'de İngiliz-İtalyan şirketi Cove-Honson işletmeye başlamış, bu şirket daha sonra Borax Consolidated Ltd. şirketine dönüşmüştür. 1927'de 642 adedi yabancı olan şirketler 1944 yılında devletleştirilmiştir.

1935 yılında kurulan M.T.A. ve Etibank tarafından yapılan aramalarla 1950 yılında Bigadiç'te, 1952 yılında Bursa-M. Kemalpaşa (Kestelek), 1956 yılında Kütahya-Emet Bölgesinde bor yatakları bulunmuş, 1958'de Emet'teki, 1968'de eskiden beri bilinen Kırka-Sarıkaya'daki bor yatakları Etibank'a devredilmiştir. 1979 yılındaki devletleştirme ile tüm bor yataklarının işletme hakkı Etibank'a verilmiştir.

A.B.D. ve Türkiye bugün bu yataklardan yaptıkları üretimlerle toplam dünya üretiminin % 90'ını karşılamakta ve dünya bor pazarında rekabet etmektedirler. (Polat ve Ersoy, 1976; Polat, 1986; Aytekin ve Polat, 1987; Ipekoğlu ve Polat, 1987)

### 2.3. Jeokimyası

Yeryüzü kayaçlarındaki ortalama bor dağılışı 3 ppm olarak varsayılmaktadır. Bor, iyi bir çans eseri olarak hidratlı bor tuzu minerali yatakları içinde büyük miktarda toplanmış ve yataklar kolayca işlenir duruma gelmiştir. Buradaki bor, bulunması ve kullanması zor, mineraller içine dağılmış küçük elementlere benzemez.

Topraktaki ana bor deposu, ortalama büyüklükleri içeren büyük jeolojik birimler durumundadır.

En büyük rezervuarlardan biri okyanustur. Deniz suyu

2- Suların ince ve küçük parçacıklarının havaya sıçraması sonucu okyanus tuzlarından büyük bir bölütü havaya karışır ve rüzgarlarla karaya taşınır. Karaya taşınan tuz parçacıkları yağmur, kar suları ve hava akımı yardımı ile uygun bir yerde birikerek büyük yatakları oluştururlar. Genellikle bunlar klor ve kükürt tuzlarının oluşturduğu yataklardır. Ancak bu yolla oluşmuş bor tuzu yatakları da vardır.

Volkanlardan çıkan küllerdeki bor tuzlarını ve diğer kaynakları da bu arada söyleyebiliriz.

3- Bu kural deniz çökeltileri içinde bulunan borun çeşitli yollarla konsantre edilmesidir.

Dağılmış olarak bor içeren belli başlı kaya tipleri içinde deniz çökeltileri başta gelir. Bu kayalar büyük rezervuar meydana getirdikleri için, bu oran yeryüzü ve deniz suyu ortalamasının birkaç katıdır.

Mağmatik kayalar arasında bazalt 1.6 ppm bor içerir ve ümit verici bir kaynak olarak görülür. Bu oran ultrabazik kayalarda daha büyüktür. Serpantin içindeki bor oranında artma oldukça ultrabazikler içindeki bor oranı da artar.

Granit ortalama olarak 3 ppm bor içerir ve bu oran sadece granitik intruzifler kenarındaki bor konsantrasyonlarından oluşur. Granitik intruzifler yüksek oranda turmalin oksinit ve diğer bor silikatları içerirler. Turmalin oksinit de %10 kadar  $B_2O_3$  içerir. Bor minerali, iyon yarıçapının küçük oluşu nedeniyle granitik kayalarda çok bulunan minerallerin kristal yapısına uymaz.

Sonuç olarak magma kristalleşirken bor, dağılmış durumda kalmamak için kaçar ve komşu katmana gider.

Bor ile yanardağ olaylarının birbiriyle çok yakından ilgili olduğunu belirlemeye çalışan gözlemlerle birleşen bu açıklamaya göre, termal kaynaklardan ve yanardağ bacalarından çıkan sular kadar, yüzey yakınında kristallesen magma da bir bor kaynağıdır.

Magma, granit için ortalama değer olarak kabul edilen 3 ppm'den biraz daha çok bor içerse dahi zayıf bir kaynak sayılır. Ancak bazı magma kaynaklarının çok daha yüksek oranda bor içerdiği bilinmektedir.

Yüzey sularının oynadığı rol hava etkisi altında ve yüzeye yakın yerlerde ıslanmış kaya ve diğer kaynaklardan bor toplamak, bunları bor tuzlarının biriktiği yönlere itmek olarak nitelenebilir.

Ençok rastlanan bor tuzu yatakları, çöl çukurluğunda buhar veya çökelti olarak oluşan bir veya birkaç hidratlı Na, Ca ve Mg bor tuzu birikintileridir. Kristalli olan bu yataklar Senozoyik yaşlıdır. Bir bölümü bugünün çukurları üzerinde veya yakınında bulunan en genc tez katmanlarıdır. Diğerleri ise Tersiyer yaşlıdır ve az çok düzensiz, tortul kayalarla birleşmiş merccekler ve çizgiye benzeyen uzunluklar biçimindedir.

Hidratlı bor tuzlarının en önemli özelliği, bu bor tuzlarının ve bunlarla birleşmiş madenlerin ana çizgileri bakımından tortul olmalarıdır. Belki de bor tuzları, sıvı eriyikte serbestçe yüzen ve buharlaşan kesimlerinin daha serin eriyiklerle karşılaşmaları sonucu çökerek oluşurlar veya bir başka mineralle yer değiştirirler.

Tatlı suların içinde de her zaman biraz erimiş madde bulunur ve konsantreler çöldeki göllerin çok tuzlu suları oranına kadar çıkar. Bu nedenle doğal sular kimyasal karışım eriyikleridir.

Herzaman bulunan katyonlar, çeşitli oranlarda Ca, Na, Mg ve K, anyonlar ise karbonat, bikarbonat, sülfat ve kloritlerdir. Bu unsurlar buldukları su içinde yukarıdaki sıraya göre çökeltirler. Yani ilk önce kalsiyum karbonat ve en sonra da potasyum klorit çökeltir.

Ekonomik değerde bor tuzu yataklarının meydana geldiği jeolojik çevrede basıncın etkisi azdır.

Bor tuzlarının oluşmasında ısının etkisi, laboratuvar da geniş bir biçimde incelenmiş ve maden yataklarının oluşumu açıklanırken gözönüne alınmıştır. Çünkü boraksın arı su içindeki erirliğinin değişmesi önemli bir etmendir. Aşağıdaki çizelgede bu özellik açıkça görülmektedir.

Isı (C) .....	10°	30°	60°	100°
Erirlik (Gr), Her 100 gr için...	1.6	3.86	19.0	52.5

(Polat ve Ersoy, 1976)

#### 2.4. Genel Jeolojisi

Bor mineralleri genellikle senozoik yaşlı sedimenter tabakalar arasında oluşmaktadır. Bununla beraber borlu bölgelerde volkanik kayalara da rastlanmaktadır. Volkanik kayalar genellikle andezit ve dasitlerdir. Ayrıca Emet ve Bigadiç civarında sıcak su kaynakları da vardır. Bazen volkaniklerin tabakalar arasına sokulduğu varsayılır. Tortul katman görünümü gösteren tuf ve volkanik küllerden oluşan arakatkılara da yer yer rastlanmaktadır. Bütün bu tabakaların en üstünde volkanizmadan çok daha yaşlı ve altere olmuş kalkerler vardır ki, bunların bor mineraline Ca elemanı verdiği ileri sürülmektedir. (Bekişoğlu, 1961)



## 2.5. Stratigrafisi

Genel olarak bölgeler stratigrafik bakımdan değişim göstermezler. Hemen hepsi senoyik yaşlıdır. Cevher sahaları yukarıdan aşağıya doğru;

- a- Kalker
- b- Marn
- c- Boratlı kil, Marn, Kalker, Tüf serisi
- d- Taban marn, kalker serisi
- e- Volkanik tüf
- f- Volkanik damar taşları (dasit, andezit, bazalt ve trakitlerdir.)

Burada önemli olan volkanik küllerden kilin meydana gelmesidir. Andezit enaltta ise de, en genç kayadır. Daha yaşlı tortulların altına sonradan girdiği anlaşılmaktadır. (Özpeker, 1969)

## 2.6. Mineralojisi

Bor mineralleri genellikle Na, Ca, Mg gibi bir alkali anyonla birleşmiş sulu boratlardır. Doğada bulunan 200'ü aşkın bor minerallerinin bir çoğu bileşim olarak birbirinin aynı olmasına rağmen bünyelerinde içerdikleri suyun miktarının farklı olması nedeniyle birbirlerinden ayrılırlar.

Tuzlu göl sularında bulunan bor da ekonomik olarak işletilebilmekte ve bor kaynağı olarak gösterilebilmektedir. (Lyday, 1985)

Genel olarak, borat mineralleri kalsit, dolomit, jips, sölestin, realgar, orpiment ve kükürt ile birlikte bulunmaktadır.

Türkiye'deki yataklarda borat mineralleri, kimyasal bileşimlerine ve birbirleriyle olan mineralojik ilişkilerine göre, sodyum boratlar, kalsiyum boratlar, sodyum-kalsiyum boratlar, magnezyum boratlar, magnezyum-kalsiyum boratlar, stronsiyum boratlar, silisyum-kalsiyum boratlar, kompleks boratlar, bileşik boratlar ve borat olmayanlar şeklinde on gruba bölünebilirler.

Çizelge 2.1. de bu gruplardan bazılarında bulunan; ve bugün için en yaygın olarak bilinen ve üretimi yapılan borat minerallerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı önemli bor minerallerinin mineralojik özellikleri

Mineral adı ve formülü	Renği	Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Diğer Özellikler ve bulunduğu yer
<b>Na Boratlar</b>			
<b>Boraks</b> (Tinkal) $Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$	Renksiz Beyaz Mavimsi Yeşilimsi	1.71	En önemli ve ekonomik bor mineralidir ABD-Boron, Türkiye-Kırka ve Arjantin'de bulunmaktadır. En büyük yatak Türkiyededir .
<b>Kernit</b> $Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 4H_2O$	Renksiz veya Beyaz	1.95	Arjantin ve ABD-Boron'da bulunmaktadır ve ekonomik olarak üretimi yapılmaktadır.
<b>Tinkalkonit</b> $Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 5H_2O$	Renksiz	1.88 ile 1.89	Kristal sistemi hekzagonaldir. Tinkal ile birlikte, genellikle yüzeydeki tınkalin suyunu kaybetmesi ile oluşur. Doğal boraks pentahidrat olarak da bilinen bu mineral ticari açıdan önemli değildir.

Çizelge 2.1. (Devam)

Mineral adı ve formülü	Renği	Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Diğer Özellikler ve bulunduğu yer
<b>Ca Boratlar</b>			
Kolemanit $2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$	Renksiz Beyaz	2.42	Kolemanit kalsiyum boratların en önemlisidir. En büyük yataklar Türkiye'dedir. Ayrıca ABD'de de büyük yataklar vardır.
Pandermit (Presit) $4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 7H_2O$	Beyaz	2.42	Kolemanit ile birlikte bulunur. Kristal sistemi trikliniklidir. Toprak parlaklığındadır. Ticari önemi yoktur.
<b>Na-Ca Boratlar</b>			
Uleksit $Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$	Renksiz Beyaz	1.96	Kristal sistemi monokliniklidir. Dilinim (0,10) mükemmel. İpek parlaklığındadır.
Probertit $Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 10H_2O$	Renksiz		Kristal sistemi monokliniklidir. Camsı parlaklıkta ve saygındır. Uleksit ve probertit bir çok borat yatağında diğer bor cevherleri ile birlikte karışık olarak yaygın bir şekilde oluşmuştur. Önceleri işletilen fakat sonra uzun yıllar önemini kaybeden bu iki cevher şu anda ABD-Death Valley ve Türkiye-Bigadiç'de üretilmektedir.

Çizelge 2.1. (Devam 2)

Mineral adı ve formülü	Rengi	Özgül Ağırlığı (gr/cm )	Diğer özellikler ve bulunduğu yer
<b>Mg Boratlar</b>			
Borasit $6\text{MgO} \cdot 8\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgCl}_2$	Renksiz Beyaz Gri Yeşil	2.9 ila 3	Borasit ve diğer Mg boratlar bir çok borat yatağında bulunmalarına rağmen üretilmemektedirler. Kübik kristallidir. Alevi yeşile boyar. Almanya'da bulunmaktadır.
Szaybelit. $\text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$	---	--	Bu mineral SSCB'de oldukça büyük yataklar oluşturmuştur ve Sovyet borat endüstrisinin ana kaynaklarından biridir.

Kaynaklar :Etibank Bülteni, sayı 96-97, 1987  
Türkiye Bor Mineralleri Envanteri, M.T.A., 1976

Türkiye bor yataklarının en önemli minerali kolemanittir. Aşağıda, kolemanit ve diğer önemli olan bor minerallerinden bazılarının özellikleri açıklanmıştır.

#### 2.6.1. Kolemanit ( $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

Sulu bir kalsiyum borat olan kolemanit, borlar içinde en yaygın mineral olduğundan bazı bor yatakları genellikle ticari anlamda kolemanit yatakları olarak adlandırılmıştır.

Kristal sistemi monoklinik olan kolemanit, çok küçük yıldız şeklindeki kristal kümelerinden, 50 cm çapındaki ki-

resel ve şekilli modüllere kadar değişen birçok değişik formlarda ve sürekli tabakalar halinde bulunmaktadır. En yaygın kristal şekilleri şunlardır: Bir merkezden yayılan ışınsal yapılı modüler formlar; masif taneli kolemanit; bir kil hamuru içinde, genellikle yıldız şeklinde saçılmış kristaller; modüllerin etrafını sarın lifimsi tabakalar; kil le ara katmanlaşmış, bazen de birleşmiş ince tabakalar ve oyuk dolguları; keskin öz biçimli kristaller (Helvacı, 1983).

Kolemanit; beyaz, sarımsı ve çamur beyazı renklerde, modülleri oluşturan bireysel kristaller ise renksiz ya da gri, koyu mavi ve lacivert renklerde. Sertliği 4-4.5, özgül ağırlığı  $2.42 \text{ gr/cm}^3$  tür. Camı parlaklık gösterir. Kolemanit suda çok zor, HCl ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$  de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  oluşturarak kolaylıkla çözülür. Üfledikçe çatırdar ve alevi yeşile boyar.

Kolemanit, optikçe pozitiftir. Kıırma indisi  $\alpha: 1.5863$ ,  $\beta: 1.5920$ ,  $\gamma: 1.6140$ ,  $2V: 55^\circ$ , Oriyantasyon; X: b, YAC:  $6^\circ$ , ZAC:  $84^\circ$  dir. Anilin içinde polarize ışık altında değişik renklere bezenir (Yarar, 1971).

Kolemanit, tersiyer yaşlı göl çökelleri içinde diğer borat mineralleri, kil ve kalkerli malzemelerle beraber bulunur. Kırka, Bigadiç ve Kestelek yataklarında üleksitin bozulmasından ve iyonitin dehidrasyonundan da oluşmaktadır (Özpeker, 1969)

#### 2.6.2. Üleksit ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ )

Sodyum-Kalsiyum borat hidratı olan üleksitin kristal sistemi triklin iktir. Genellikle masif, karnibahar, lifli, konik, gül, pamuk kozası ve sütun görünümündü olurlar (Helvacı, 1983).

Tek tek büyük kristallere oranla ipek gibi lif demetleri daha çoktur (Polat ve Ersoy, 1976).

Başlıca, 1-5 cm uzunluğunda bağımsız yönlendirilmiş kristallerden oluşan karnibahar şeklindeki modüller birkaç metre kalınlığa kadar erişen bağımsız düzeyler oluşturmaktadır.

Üleksitin en saf formu beyazdır, fakat kil içinde büyüyen nodül nedeniyle büyük bir kısmı gri fondadır (Helvacı, 1983). Sertliği 2.5, özgül ağırlığı 1.96-2.00 gr/cm<sup>3</sup> tür. Mat ve ipek parlaklığındadır. Soğuk suda az, sıcak suda ve asitlerde ise kolaylıkla erir.

Üleksit optikçe pozitifdir. Kırma indisi ;  
 $\alpha$ : 1.491,  $\beta$ : 1.504,  $\gamma$ : 1.520,  $2V$  : 73° dir.

Kapalı bölgelerdeki sulardan buharlaşma ürünü olarak çökelme yolu ile meydana gelir. Genellikle boraks ve kolanit ile beraber bulunur (İnan ve Tanyolu, 1982).

### 2.6.3. Boraks ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

Boraksın kristal sistemi monoklinikdir. Genellikle, 1mm-10mm boyutlarındaki yarı öz biçimli ve biçimsiz kristaller halinde bulunmaktadır. Yarı öz biçimli boraks kristallerinin büyük kütleleri, genellikle, gömülmeden sonra meydana gelen oyuklar içinde bulunmaktadır. Bazen, boraks, kil matrisinde saçılmış olan bireysel kristaller ve boraks-kil breşi halinde gözlenmektedir.

Taze, saf boraks renksiz ve saydamdır; ancak ince taneli ve kil ile ara katmanlanmış olduğu bazı yerlerde, yabancı materyallerin ince bir şekilde birleşmesi nedeniyle boraks açık pembe, sarımsı turuncu ve gri renklerde (Helvacı, 1983). Sertliği 2-2.5, özgül ağırlığı 1.71

$\text{gr/cm}^3$  tür. Cam parlaklığındadır. Boraks suda kolaylıkla çözünür.

Boraks optikçe negatiftir. Kırma indisi ;  
 $\alpha$ : 1.447,  $\beta$ : 1.472,  $\gamma$ : 1.469,  $2V$  :  $40^\circ$ ,  
 Oryantasyon ; X : b, Z  $\wedge$  C :  $-56^\circ$

Boraks, kapalı sularda, göllerde buharlaşma yolu ile çökerek oluşur.

#### 2.6.4. Pandermit (Presit) ( $4\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Pandermit Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Bulunduğu yerin ismi verilmiştir; daha sonra Oregon, ABD'den elde edilen presitin tanımlanmasıyla pandermitin özdeşliği olduğu kabul edilmiştir. Kristal sistemi trikliniklidir. Pandermit, jips ve kil düzeylerinin altında nodüller ve 1 ton ağırlığa kadar ulaşan kütleler halinde bulunmaktadır.

Pandermit, beyaz renkte ve yekpare olarak görülmektedir, bazen de kireç taşına benzemektedir. Sertliği 3-3.5 özgül ağırlığı  $2.42 \text{ gr/cm}^3$  tür.

Pandermit ayrıncı kolemanit ve kalsite dönüşmektedir, genellikle kolemanit, jips ve kalsit ile birlikte bulunmaktadır. (Helvacı, 1983)

#### 2.6.5. Kernit ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )

Kristal sistemi monoklinaldır. Kernit, renksiz ve saydam, bazen bir zon veya boraks tarafından çevrilmiş olan, beyaz uzunlamasına bireysel iğne şeklinde veya gruplaşmış iğne şeklindeki kristaller halinde olduğu gözlenmektedir. Bireysel kristaller 10 cm'e kadar değişen çeşitli

uzunluklar göstermektedirler. (Helvacı, 1983)

Sertliği 3, özgül ağırlığı 1.95 gr/cm<sup>3</sup> tür. Parlaklığı camdan inciye kadar değişir. Soğuk suda yavaş çözünür.

Kernit optikçe negatiftir. Kırma indisi;  
 $\alpha$ : 1.454,  $\beta$ : 1.472,  $\gamma$ : 1.488,  $2V$ : 80°  
 Oryantasyon : Z : b, X  $\wedge$  C : 39°

İlk kez ABD'de kaliforniya eyaletinde bulunmuştur. Burada boraks, kolemanit ve killerle beraberdir. Borakstan değişerek türediği varsayılır. Kernit ayrıca Arjantin ve Türkiye'de de bulunur. (İnan ve Tanyolu, 1982).

Atmosferle temas eden kernit, dehidrasyon ile kernit kristalleri üzerinde çok ince taneli tabakalar halinde tınkalkonite dönüşmektedir (Helvacı, 1983).

Yukarıdaki minerallerin kimyasal bileşimleri ise çizelge 2.2. de verilmiştir.



Çizelge 2.21 Önemli bazı bor minerallerinin kimyasal bileşimleri

Bileşim	Kolemanit	Üleksit	Boraks	Pandermit	Kernit
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50.9	43.0	36.6	46.0	45.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	--	--	--	0.15	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	--	--	--	0.3	1.3
CaO	27.2	13.8	--	30.3	1.4
MgO	--	--	--	0.7	0.8
Na <sub>2</sub> O	--	7.7	16.2	--	20.2
SiO <sub>2</sub>	--	--	--	1.5	5.1
SO <sub>3</sub>	--	--	--	1.5	0.1
H <sub>2</sub> O	21.9	35.5	47.2	19.55	25.6
CO <sub>2</sub>	--	--	--	--	0.6

Türkiye borat yataklarında gözlenen diğer bor mineralleri ise şunlardır:

Kalsiyum boratlar : İnyonit (2CaO.3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.13H<sub>2</sub>O ),  
Meyerhofferit (2CaO.3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.7H<sub>2</sub>O), Terçit (4CaO.5B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O),

Mağnezyum-Kalsiyum boratlar : Hidroborasit  
(CaO.MgO.3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O), İnderborit (CaO.MgO. 3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.11H<sub>2</sub>O)

Mağnezyum boratlar: İnderit (2MgO.3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O)  
Kurnakovit (2MgO.3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.15H<sub>2</sub>O)

Stronsiyum boratlar: Tunellit ( $\text{SrO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ),  
Viçit-A ( $4\text{SrO} \cdot 11\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Silisyum-kalsiyum boratlar: Havlit ( $4\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ )

Kompleks boratlar: Terugit ( $4\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 6\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_3 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ )

Bileşik boratlar: Kahnit ( $4\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )  
(Helvacı, 1983)

## 2.7. Bor Yataklarının Oluşumu

Bor yatakları genellikle genç volkanik hareketlerin egemen olduğu, bor getirimine uygun ırmak veya fay hatlarının varlığında ve evaporasyona uygun kurak veya yarı kurak bölgelerde oluşmuşlardır. Bor oluşumu için bölgenin tektonik yapısı, bor içeren magmatik buhar veya sıcak suların yukarılara doğru hareketine izin vermesi gerekir ve bu buharların ve sıcak suların iyon alışverişini gerçekleştirebilecekleri, içerisinde çökelebilecekleri kapalı göl sistemleri bulunmalıdır. Ancak yaşlı volkaniklerde böyle bir oluşuma rastlanmamaktadır. Çünkü bor kolay çözünebilen bir elementtir ve oluşmuş olsa bile görünümüze kadar kalmaları imkansızdır.

Magmadan kaynaklanan bor halojenürleri, borikasit buharları gibi borca zengin sular veya buharlar, veya borca zengin ırmak suları kapalı bir göl sistemine ulaştıklarında, bu gölde bulunan Na ve Ca ile reaksiyona girerek bor tuzlarını oluşturmuşlardır. Getirimin devam etmesi ve buharlaşma sonucu göldeki tuz konsantrasyonu giderek artar.

gölün boyutları küçülür. Bölgenin yağışlı olması ve temiz yeraltı sularının göle karışması bor tuzu konsantrasyonunun artmasını önleyecektir.

Belirli termodinamik yasalarına göre göl sisteminde sırasıyla ilk olarak karbonatlar, sonra sodyum ve potasyum tuzlar çökerek, çökme sisteminin ortasında yer alırlar (Aytekin ve Polat, 1987; Özpeker, 1969)

Göllerde boratların çökmesini kontrol eden fiziko-kimyasal koşullar; göl suyunun sıcaklığı, ortamın buharlaşma hızı, pH değeri (pH değerinin 8.5-11 arasında olması gerekir.) Searles gibi bazı göllerde bu buharlaşma işlemi henüz tamamlanmamıştır (Baysal, 1973).

Magnezyum borat ve borasit gibi daha az yaygın bazı boratlar ise deniz suyunun aşırı buharlaşması ile oluşmuşlardır.

Yine

Bazı pegmatitik ve kontak metamorfik kayalar turmalin, ludvijit veya datolit gibi bor minerallerini içerirler. Bu kayalarda bor konsantrasyonunun yüksek olması intruzif granitik magmanın kristalizasyonuna bağlıdır. Fakat bor genellikle kayacın kristal yapısı içine girmez. Magma kristallendiğinde serbest kalan suyla birlikte ayrılır. Yüksek basınçtaki yüksek ısı ve akışkanlık borun ana kayadan ekstrakte edilebilmesini sağlar. Ayrıca eğer bor bir kontak zonu ile karşılaşmamışsa termal akıntılar buhar bacaları ve volkanik buharlarla birlikte yüzeye çıkabilir (Özpeker, 1969)

## 2.8. Bor Yatakları ve Rezervleri

Bor yatakları bakımından Türkiye ve ABD şanslı ülkelerdir. Ayrıca Arjantin, SSCB, Çin, Şili ve Peru da bor yatakları bulunmaktadır.

Türkiye de Balıkesir-Bigadiç yöresinde kolemanit ve üleksit yatağı tersiyer volkanik hareketleriyle birlikte borca zengin gazlar tarafından oluşturulmuştur.

Kırka bölgesindeki tinkal yatağı, seyllerle birlikte borca zengin doygun sular tarafından oluşturulmuştur.

Emet bölgesi kolemanit yatağı, göller ve termal kaynaklarla yerüstü suları tarafından beslenen, sismik bakımdan aktif bölgelerde oluşmuştur.

ABD'de Kaliforniya-Boron yöresindeki ünlü tinkal yatağının yansira Nevada-Death Walley bölgesinde de bir kolemanit yataklanması vardır ve buralardan üretim yapılmaktadır.

SSCB'indeki Inder yatakları mozaik ve sedimanter kayalarınca oluşturulan basınçla itilen 259 km<sup>2</sup> lik permiyen tuz kubbesi üzerinde yataklanmıştır ve jips ile kumun yerini almıştır. Ülke aynı zamanda volkaniklerle birlikte oluşmuş olan skarn tip yataklara da sahiptir.

Güney Amerika'da Arjantin, Şili, Bolivya ve Peru'nun ortak sınırlarınının 885 km'lik bölümü boyunca 40'dan fazla borat yatağı oluşmuştur. Arjantin'deki yataklar genellikle Tincalayu yöresinde yoğunlaşmıştır. Şili'deki en önemli bor yatağı ise Solor de Ascotan'dır. Peru bor yatakları Arequipa bölgesinin doğusundaki büyük bir kuvvet sistemi olan Laguna de Salinas da'dır.

Çin bor yatakları ise Iksaydom gölü yöresinde Tsai-dan küvetinde oluşmuştur (İpekoğlu ve Polat, 1987; Aytekin ve Polat, 1987)

Dünya bor rezervlerine ilişkin kesin veriler elde etmek son derece güçtür. Yapılan her yeni arama ve her yeni sondaj rezerv değerlerini biraz daha artırmaktadır. Dolayısıyla yayınlanan her yeni veri bir öncekini tutmamaktadır

Etibank'ın 1984 yılı sonu verilerine göre düzenlenmiş olan Türkiye bor rezerv değerleri Çizelge 2.3. de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye Bor Rezerv Dağılımı

Rezerv Bölgesi	Rezerv Milyon Ton	Toplamda % Oranı	Tenör %B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rezerv B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Balıkesir-Bigadiç	665	36.4	30-40	197-263
Eskişehir-Kırka	520	28.8	25-26	130-135
Kütahya-Emet	620	34.4	30-40	186-248
Bursa-Kestelek	8	0.4	30-35	2.5-2.8
<b>TOPLAM</b>	<b>1.8130</b>	<b>100.0</b>		<b>515 .5-648.8</b>

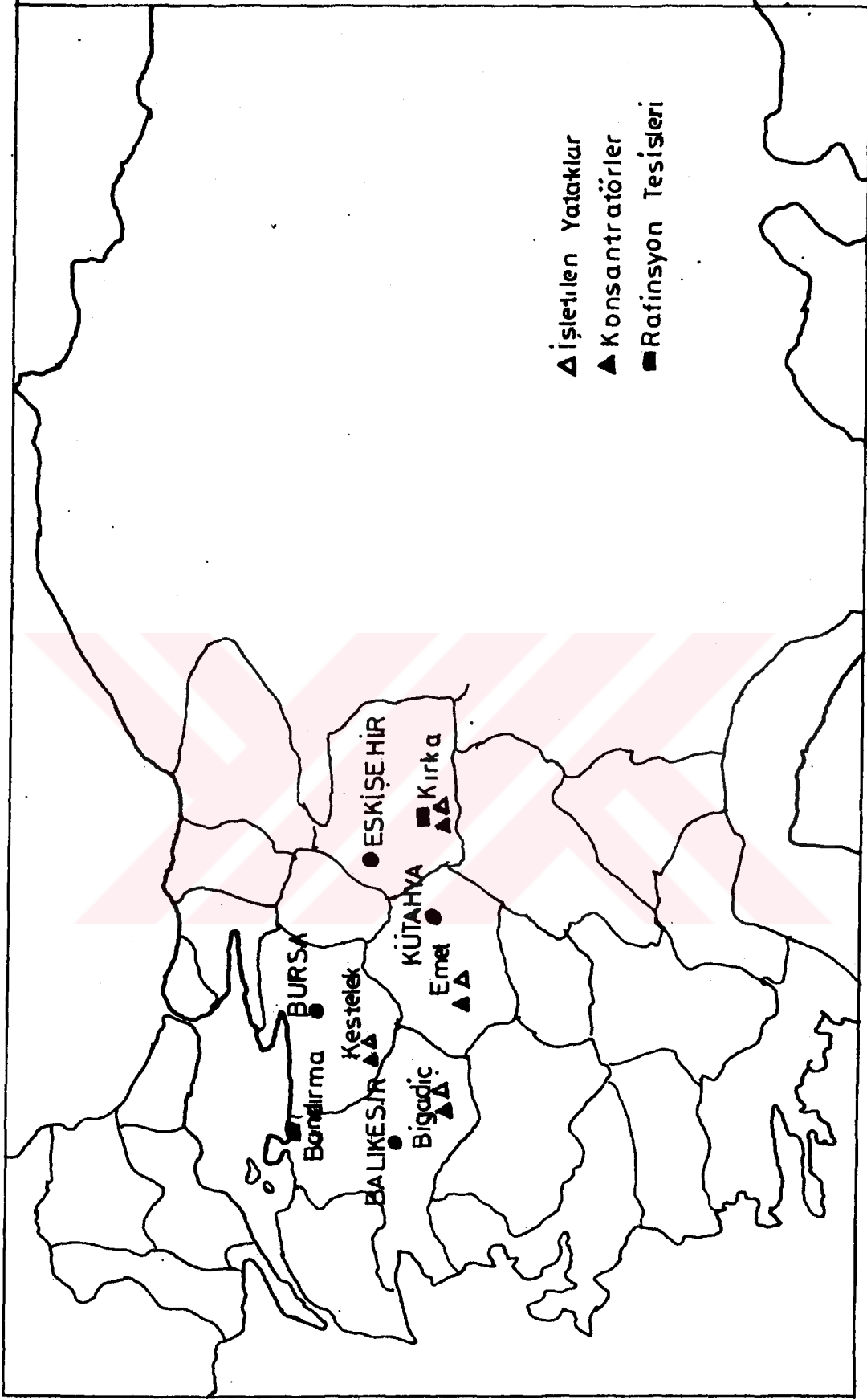
ABD Bureau of Mines rakamları esas alınarak, bu verilere göre düzeltilmiş B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında dünya bor rezervleri ve dağılımı Çizelge 2.4. te görülmektedir.

Çizelge 2.4. Dünya Bor Rezervleri (% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine milyon ton)

Ülke	1980 Milyon Ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İçeriği	1985 Milyon ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İçeriği	Toplamda %Oranı 1985	1985 Düzeltilmiş Milyon Ton B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İçeriği	Toplamda % Oranı 1985
Türkiye	129	160	23.5	530	50.5
ABD	65	230	33.8	230	21.9
Güney Amerika	32	100	14.7	100	9.5
SSCB	65	150	22.1	150	14.3
Çin	32	40	5.9	40	3.8
Toplam	323	620	100.0	1050	100.0

Çizelgelerde verilen değerlerde gün geçtikçe değişmektedir. Zira Balıkesir-Bigadiç civarındaki 657 Milyon ton olarak verilen tüvönen rezervin yeni çalışmalarla 2 milyar tona çıktığı belirtilmektedir. (Aytekin ve Polat, 1987; İpekoğlu ve Polat, 1987; Tolun vd, 1985)

Türkiye'deki bor yatakları ve bu yatakları işlemek için kurulan tesis yerleri Harita 1. de gösterilmiştir.



Harita 1. Türkiye'deki Bor Yatakları ve Kurulu Tesisler

## 2.9. Bor Cevherlerinin Zenginleştirilmesi

Zenginleştirme yöntemi, cevherdeki değerli ve değersiz mineralin; cinsine, fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal özelliklerindeki farklılıklara ve boyut dağılımına bağlı olarak seçilmektedir. (Önal, 1985)

Genellikle, borat mineralleri kalsit, dolomit, anhidrit, jips, sölestin, realgar, orpiment, kuvars, cöört, klorit, biyotit ve kil mineralleri (montmorillonit, illit) ile birlikte bulunmaktadır (Helvacı, 1983)

Dünya bor cevherlerine ait zenginleştirme tesislerinde zenginleştirme yöntemi olarak başlıca; elle ayırma ile zenginleştirme, boyuta göre sınıflandırmayla zenginleştirme, kalsinasyon ile zenginleştirme ve flotasyondur. Fakat ülkemiz zengin bor yataklarına sahip olmasına rağmen, zenginleştirme yöntemi olarak sadece elle ayırma ile zenginleştirme ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme uygulanmaktadır.

Bor cevherlerine uygulanan ve uygulanabilecek zenginleştirme yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

### 2.9.1. Elle ayırma ile zenginleştirme

Bu yöntem bor mineralleri ile gang mineralleri arasındaki renk ve yapı farkından yararlanılarak uygulanır. Ayırma işlemi ya cevher ocaktan çıkarılırken veya kırma işleminden sonra ayırma bandında yapılır. İşçiliğin ucuz olduğu yerlerde bazen hazırlık, bazen ön zenginleştirme, bazen de son zenginleştirme işlemi olarak, zenginleştirme tesisleri öncesinde de iri boyutta konsantre üretimi veya artık atmak amacıyla uygulanmaktadır. Verim oldukça düşüktür ve elde edilen artık daha sonra değerlendirilmek üzere



stok edilir.

### 2.9.2. Karıştırarak dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

Boyut küçültme işlemleri sırasında cevheri oluşturan mineraller, dayanıklılık, kırılış şekli ve dilinim gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak, farklı büyüklük ve şekilde kırılabilirler. Bazen değerli mineral iri kalırken değersiz mineral fazla ufalanabilir, bazende bunun tersi olur. Bu durumlarda boyuta göre sınıflandırma ile değerli mineral belirli ölçülerde zenginleştirilebilir. Bor cevherlerinin kırılması ve dağıtılması sırasındaki mineralleri çok küçük boyutlara indiği halde, diğer mineraller iri kalır.

Boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme, cevher özelliklerine bağlı olarak, ya doğrudan doğruya boyut küçültmeden sonra veya yıkama ve dağıtma gibi işlemleri izleyerek uygulanmaktadır (Önal, 1985). Ülkemiz bor zenginleştirme tesislerinde, yıkama ve dağıtmadan sonra sınıflandırma ile zenginleştirme yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bor cevherlerinde her zaman killer bulunur. Bunların su alıp şişme ve dağılma özelliğinden yararlanılarak; cevher, trommel eleklerinde ya da aşındırma yıkayıcılarında yıkanır. Bu işlemlerle kalsit ve jips gibi gang minerallerinin atılması olanaksız olduğundan konsantrenin tenörü düşük kalır (Yarar, 1971).

Bigadiç kolemanit artıklarından aşındırma-sınıflandırma yöntemiyle % 86.4 verimle % 32.5 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli konsantre üretilmiştir (Kaytaş vd., 1986).

### 2.9.3. Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme

Bor minerali ile gang mineralleri arasındaki özgül ağırlık farklılığının neden olduğu, akışkan ortamlardaki hareket farklılığına dayanılarak, birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmedir (Önal, 1985).

Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme; Ağır ortam ayırması, düşey hareketli akışkan ortamda zenginleştirme, tabaka halinde akan akışkan ortamda zenginleştirme gibi yöntemleri kapsar.

Böyle bir yöntemin başarılı sonuçlar verebilmesi için aşağıda verilen konsantrasyon kriteri (KK)'nin KK : 2.5 ya da daha büyük olması gerekir.

$$KK: \frac{d_1 - d_3}{d_2 - d_3}$$

$d_1$ : Ağır minerallerin özgül ağırlığı

$d_2$ : Hafif minerallerin özgül ağırlığı

$d_3$ : Sıvı ortamın özgül ağırlığı

Bor cevherlerindeki gang mineralleri genellikle kalsit (  $d$ : 2.4) ve killerdir (  $d$ : 2.1). Sulu ortamlarda (  $d$ : 1) söz konusu minerallerle kolemanit için konsantrasyon kriteri aşağıdaki değerleri alır.

	KK
kolemanit-kil	1.29
Kolemanit-kalsit	1.19

Bu iki değer de gereken 2.5'un çok altındadır. Bu içinde kolemanitten ayrılabilen mineralin özgül ağırlığı

ğının 1.56'dan yüksek olmaması gerekir. Ancak akışkanın özgül ağırlığı arttırılarak ayırma yapılabilir. Bu yöntemin çok ince minerallere uygulanması güçtür (Yarar, 1971; Önal, 1985)

Kaytaç ve arkadaşlarının (1986) Bigadiç kolemanit artıkları üzerinde yaptıkları gravite zenginleştirme çalışmaları sonucu kayda değer bir zenginleştirme sağlanamamıştır.

Son yıllarda ilgi görmekte olan "flokülasyon yöntemi" ile, özgül ağırlıkları farklı olmayan koloidal mineral süspansiyonlarının secimli agregasyon yoluyla ayrılacağı bazı sistemler için gösterilmiştir. Fakat bor cevherleri için bu yöntem henüz denenmemiştir (Yarar, 1971)

#### 2.9.4. Magnetik ayırma ile zenginleştirme

Farklı magnetik duyarlıdaki bireysel mineral tanelerinin, uygun bir magnetik alan içinde, başlıca magnetik kuvvet olmak üzere, çeşitli kuvvetlerin (yerçekimi, sürtünme, merkezkaç vs. ) bileşik etkilerine dayanılarak, birbirinden ayrılması yoluyla gerçekleştirilen zenginleştirme dir (Önal, 1985).

Bazı bor cevherlerinde  $Fe_2O_3$  içerikli biyotit ve klorit gibi paramagnetik minerallerin bulunması, bu minerallerle magnetik olmayan bor minerallerinin magnetik ayırıcılarla kolaylıkla birbirlerinden ayrılabileceğini gündeme getirmiştir.

### 2.9.5. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme

Elektrostatik ayırma bür minerali (kolemanit) ile gang mineralleri jips, kalsit ve kuvars gibi benzer yapıdaki minerallerin; ısıya bağılı olarak elektrostatik özelliklerindeki farklılıklardan yararlanılarak uygulanır.

Bu yöntemin Bigadiç kolemanit artıklarına uygulanmasıyla başarılı bir sonuç elde edilememiştir (Kaytaş vd, 1986).

### 2.9.6. Kalsinasyon yolu ile zenginleştirme

Bazı mineral kütleleri ya da tek tek kristalleri ani ısıtma veya soğutmaya tabi tutulduklarında ya da belirli ısı derecelerinde, patlayarak ufalanırlar. Bu olaya dekrapitasyon adı verilmektedir. Barit ( $BaSO_4$ ), kalsit ( $CaCO_3$ ), florit ( $CaF_2$ ) ve kuvars ( $SiO_2$ ) gibi mineraller bu özelliği gösterirler (Yarar, 1973).

Kollemanit cevheri 450-500 °C civarında patlayarak içindeki kristal suyunu kaybeder. Böylece ufalanarak ince boyuta geçen kolemanit taneleri, iri boyutta kalan gangdan serbestleşirler. Kalsinasyon işleminin sonucunda belirli bir tane boyutunda yapılacak olan eleme veya sınıflandırma işlemi ile gang mineralleri elek üstünde kalırken elek altında tenörü oldukça yüksek bir ürün elde edilir (Polat, 1986; Oran 1984)

Bigadiç bölgesinden elde edilen saf ve kil içerikli kolemanit mineralinin dekrapitasyon özellikleri sistematik olarak incelenmiş ve sonucun mineral iriliği, saflık derecesi, ısı ve zaman faktörlerince etkilendiği gözlenmiş, optimum şartlar ayarlandığında % 82 verimle %58  $B_2O_3$  tenörlü konsantreler elde edilmiştir (Yarar, 1971)

Yine Bigadiç bölgesinden elde edilen kolemanit artıkları üzerinde yapılan ısı ile parçalama deneylerinde % 69.8 verimle % 58.5  $B_2O_3$  tenörlü konsantreler elde edilmiştir (Kaytaç vd., 1986)

### 2.9.7. Flotasyon yoluyla ayırma ile zenginleştirme

Flotasyon; yüzdürülecek mineral yüzeyine bu mineralin suyla ıslanma özelliğini azaltan (minerali hidrofob yapan) bileşiklerin absorblanmasını sağladıktan sonra, ortama üflenilen hava yardımıyla hava-su ara yüzeyinde meydana gelen köpük fazında bu mineralin toplanması işlemine verilen addır.

Daha önceleri, suda daha çok çözünebilen bor minerallerinin (tinkal gibi) flotasyonu ile ilgili daha çok ve detaylı çalışmalar yapılmışsa da kolemanit flotasyonu ile ilgili çalışmalar yetersiz kalmaktadır.

SSCB'de yapılan çalışmalarda, kolemanite kimyasal yapı bakımından en çok yaklaşan mineral olarak hidroborasit'in ( $CaO.MgO.2B_2O_3.6H_2O$ ) flotasyonu incelenmiş ve kompleks cevherlerdeki hidroborasit, izopropil naftalin sülfat (Nekal), terebentin ve gazyağı karışımları ve nişasta kullanılarak yüzdürülmüştür. Söz konusu çalışmada öğütülmüş cevher 500 gr/ton  $Na_2SiO_3$  ile 10 dk. karıştırılarak şlamı atılmıştır. Daha sonra 100 gr/ton oleik asit, 400 gr/ton gazyağı ve 50 gr/ton çamyacı ile kolemanit yüzdürülmüştür. Bu deneyler sonucunda % 18-34  $B_2O_3$  tenörlü konsantreler % 81-92  $B_2O_3$  verimiyle kazanılmıştır (Yarar, 1973; Aytakin, 1988). Aynı şekilde Rotablyskaya bir kalsiyum-bor silikat olan Datolit'i ( $2CaO.B_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ ) katyonik kollektörlerle birkaç basamakta yüzdürerek % 15  $B_2O_3$  tenörüne % 80-87 verimle erişilmiştir (Yarar, 1973)

Yarar'ın Prof. Tolun'la yaptığı çalışmada kil ve realger (Ass) içeren Emet bölgesi kolemanitleri başarı ile yüzdürülmüştür. Bu çalışmada öğütülmüş cevher 0.5 kg/ton  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ile 10 dakika karıştırıldıktan sonra şamlar aktarılarak atılmıştır. Bunu takiben realger 0.1 kg/ton çamyacı ve 0.2 kg/ton kerozonla yüzdürülmüştür; sonra da kolemanitin yüzdürülmesi 1.2 kg/ton oleik asit, 0.4 kg/ton kerozen ve 0.005 kg/ton çamyacı ile yapıldığında tenör % 43.5 ve verim %77.7'yi bulmuştur.

Yine Yarar'ın Bigadiç düşük tenörlü kolemanit cevherlerinin flotasyon yolu ile zenginleştirilmesi konusunda yaptığı çalışmada, naftanik asit-sülfonat-kerozen, naftanik asit-kerozen ve R. 825-naftanik asitin en uygun kollektör sistemleri olduğunu belirtmiştir. Bu sistemlerle yapılan denemelerde temizleme flotasyonu ve köpürtücü kullanmanın etkisi de araştırılmış ve şu sonuçlar çıkarılmıştır: Tekrar yüzdürme yolu ile konsantrenin  $\text{B}_2\text{O}_3$  tenörü % 1-3.5 yükseltilebilmiştir. Temizleme flotasyonu uygulanan hallerde köpürtücü dışında reaktif kullanmak gerekmemektedir.

Bu çalışmada optimum reaktif konsantrasyonları; cevherin kontrollü bir öğütme sonrasında yaklaşık -10 mikronluk kısmının şlam olarak atılmasıyla elde edilen ton siklon konsantresi başına: 1 kg naftanik asit+1.2 kg kerozen, 0.5 kg naftanik asit+0.29 kg sülfonat+0.9 kg kerozen, 0.5 kg R.825 +0.085 kg naftanik asit olarak tespit edilmiştir. Bu reaktif sistemlerin kullanılmasıyla % 93'e varan flotasyon verimi ve % 45-47  $\text{B}_2\text{O}_3$  tenörlerinde konsantreler elde edilmiştir (Yarar, 1971).

Tolun ve Ayok kolemanitlerin flotasyonunda poliollerin etkisini incelemişler, bu araştırmalarında Cyanamidin anyonik kollektörü olan petrol sülfonatu R.825 ve gazyağını

emilsiyon halinde kullanarak 2.3 Dihidroksinaftalin katkısı ile selektiviteyi attırıp başarı sağlamışlardır. Kayadeniz, Çakaloz, Tan, Arıkut kolemanitler içindeki istenmeyen eleman arseniğin eliminasyonu doğrultusunda çalışmışlardır (Kaytaç vd., 1986)

Kaytaç, Önal ve Güney'in yine Bigadiç düşük tenörlü kolemanit cevherleriyle yaptıkları çalışmada, daha önce yapılmış olan çalışmalarda kullanılan reaktifler ve flotasyon şartları gözönüne alınmış, kollektör olarak Cyanamid R.825 ve yardımcı kollektör olarak naftanik asit ve bastırıcı olarak nişasta kullanılmıştır. Ayrıca bazı deneylerde kollektör olarak Cyanamid R.801, R.830 ve R.825 ile gangli bastırmak için dekstrin, tannik asit ve sodyum silikat, kolemaniti canlandırmak içinde baryum klorür kullanılmıştır. pH: 10 değerinde kolemanitin kazanılması bakımından bir selektivite elde edilebilmiştir. Bu çalışmada, Cyanamid R.801 (1750 gr/t) ve R.825 (1750 gr/t) kollektör reaktifleriyle 2000 gr/t NaOH 400 gr/t tannik asit, 200 gr/T baryum klorür ve 100 gr/t dekstrin gibi kontrol reaktifler kullanılarak % 42-43 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü konsantreleri %65-68 flotasyon verimiyle kazanılmıştır (Kaytaç vd., 1986)

Aytekin, Lübiç ve Yamık'ın Kırka tinkal cevheriyle yaptıkları flotasyon deneylerinde, daha önce yapılan çalışmalara dayanılarak Cyanamid R.825, R.801 reaktifleri kollektör olarak kullanılmıştır. Bastırıcı olarak nişasta, Qebrocho ve sodyum silikat, tinkali canlandırıcı olarak baryum klorür kullanılmıştır. Köpürtücü olarak çamyacı, dowfroth 250 ve flotigol CS seçilmiştir. pH: 9-10 arasında tutularak katı oranı % 30 olarak alınmıştır. Bu çalışmada % 34.80 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü tinkal konsantresini % 36.47 verimiye kazanılması şu flotasyon şartlarının uygulanmasıyla elde edilmiştir; Besleme tane iriliği % 80-85'i -0.200 mm, 1000 gr/ton



R.825 (toplayıcı), 2000 gr/ton Nişasta (bastırıcı), 200 gr/t  $BaCl_2$  (canlandırıcı), 200 gr/ton çamyacı (söpürtücü), Kondisyon ve flotasyon süreleri 10 dk. (Aytekin vd., 1988).

Dünya'da bor mineralleri flotasyonunun tesis çapta uygulanmasına örnek olarak American Borate Corporation'dur. Death Walley'den kamyonlarla konsantratör tesisine getirilen ve % 20  $B_2O_3$  içeren kolemanit cevheri, kuyulardan alınan sularla yıkanarak tesise beslenmektedir. Cevher, kolemanitin kil ve şeyl gibi gang minerallerinden ayrılması için flotasyona tabi tutulmaktadır. Tesiste uygulanan flotasyon patenti American Borate tarafından alınmış bir prosestir ve detayları gizli tutulmaktadır. Flotasyon sonucu  $B_2O_3$  tenörü % 20 den % 37'ye çıkarılmaktadır (Polat, 1986).

Bor minerallerinin doğrudan doğruya yüzdürülerek alınması yerine; bunların mineral asitleri ile muamelesinden sonra, kolayca yüzdüğü bilinen borik asit  $B(OH)_3$ 'ün oluşturulup yüzdürülmesini öngören değerlendirme yolları SSCB ve ABD'de önerilmiş tir. Başlangıç maddesi kolemanit olan Shelton-Knicke-Bocker prosesinde bu yöntem uygulanmaktadır (Yarar,1971).

## 2.10 . Bor Mineralleri ve Ürünlerinin Kullanım Alanları

Bor üstün özellikleri nedeniyle dünyada en çok kullanılan elementlerden biri olmakla birlikte bakır yada demir gibi elementer olarak kullanımı son derece sınırlıdır. Fakat buna karşın bor mineral ve ürünlerinin çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanımı giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin çok az bir kısmı bor ürünleri elde edilmesinde kullanılmaktadır. Borun doğrudan doğruya mineral olarak kullanılmasına örnek olarak kolemanitin tekstil cam elyafı yapımında, cam ve metalurji endüstrisinde, Üleksit ve probertit'in ise selülozik ve cam elyaf yalıtım



malzemesi yapımında kullanılması verilebilir ("Bor" ihtisas Komisyonu raporu, 1985)

Çeşitli bor cevherlerinden değişik metodlarla elde edilen ve büyük miktarlarda tüketilen bor bileşikleri çizelge 2.5. te verilmiştir (Aytekin, 1987).

Çizelge 2.5. Başlıca Ticari Bor Bileşikleri

Bileşik adı	Kimyasal bileşimi	% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Borik asit	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	56.3
Susuz borik asit	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100.0
Rafine boraks dekahidrat	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	36.5
Ham boraks pentahidrat	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·5H <sub>2</sub> O	46.0
Rafine boraks pentahidrat	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·5H <sub>2</sub> O	47.8
Ham susuz boraks	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	69.0
Rafine susuz boraks	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	69.2
Sodyum perborat	NaBO <sub>3</sub> ·4H <sub>2</sub> O	22.0

Genel olarak ülkelere göre borun kullanım alanları çizelge 2.6. de verilmiştir ( Polat, 1986).

Çizelge 2.6. Ülkelere Göre Borun Kullanım Alanlarının Genel Değişimi

Kullanım Alanları	ABD (%)	Japonya (%)	B. Avrupa (%)	Türkiye (%)
Cam sanayii	50-55	50-55	30-35	8-10
Sabun ve deterjan sanayii	5-10	2-3	40	70-80
Seramik sanayii	2-3	12-20	15-20	10-15
Diğer kullanımlar	30-40	20-30	10-15	1

Bir bor ürünü bazı durumlarda bir başka bor ürününün yerini tutabilmesine karşın, bugün için bor bileşiklerinin görevini aynı kalitede ve ucuzlukta görebilecek diğer bir ikame malı yoktur. Bu da bor ürünlerinin kullanımını artıran en önemli hususlardan biridir ve bu artış sürekli olarak devam edecektir. Öyleki; dünyada bor kullanımı ve bundan doğan talep 1983 yılında bor içeriği olarak 321.500.ton iken yılda ortalama % 2.4 lük bir artışla 1990'da 382.500. ton, 2000 yılında ise 485.000. ton olacaktır (İpekoğlu, 1987)

Bor mineralleri ve bileşiklerinin kullanılması ileri bir teknolojiyi gerektirdiğinden, geri kalmış ülkelerde kullanma yerleri sınırlıdır.

Dünyada bor minerallerini ve ürünlerini tüketen sanayi dallarını, genel olarak tükettiği toplam  $B_2O_3$  tonajına göre aşağıdaki gruplara ayırmak mümkündür.

- Cam Sanayii
- Seramik Sanayii
- Sabun ve Deterjan Sanayii
- Yanmayı önleyici maddeler
- Tarım
- Nükleer Uygulama
- Metalurji
- Diğer Kullanım Alanları

### 2.10.1. Cam sanayii

Bor bileşiklerinin ergime noktaları düşük olmakla beraber, diğer maddeleri eritme yetenekleri de vardır. Bu nedenle borasilikat cam, cam yünü, cam pamuğu ve elyafı üretiminde borik asit, kernit, susuz boraks ve susuz borik asit katkı ürünü olarak değişik oranlarda kullanılarak cama yüksek ısıya dayanıklılık, esneklik ve parlaklık verirler (Özpeker, 1973).

### 2.10.2. Seramik sanayii (Emaye, frit ve sır)

Seramik kaplamaları ve emaye ya da porselen sırlarında boratlar, bir akışkanlaştırıcı görevi yaparlar. Sır malzemesine üretim sırasında sağlanan özellikler düşük ergime sıcaklığı, düşük yüzey gerilimi ve düşük termal genleşmedir. Bunlar sır malzemesinin daha düşük sıcaklıklarda ve daha kolay ergimesini sağladıkları için üretim maliyetinde bir düşme sağlarlar (Polat, 1986).

Porselen sırlarında daha çok susuz borik asit kullanılır. Porselenin sır altının düzenlenmesinde kernit kullanılmaktadır.

Emaye sanayiinde de (Beyaz esya) gene susuz boraks, susuz borik asit ve kernit kullanılmaktadır.

### 2.10.3. Sabun ve deterjan sanayii

Boraks ve borik asit, bakterileri öldürücü niteliği, su içinde kolay erirliği ve mükemmel su yumuşatıcı özelliği nedeniyle sabunlarda, temizleyicilerde ve deterjanlarda kullanılmaktadır. Sudaki yumuşak alkalite ve mikrop öldürücü özellikleri boraks ve borik asidi, diş macunu, gargara ve göz yıkama maddelerini hazırlamada yararlı kılmaktadır (Helvacı, 1983)

### 2.10.4. Yanmayı önleyici maddeler

Boratlar ve borik asit selülozik malzemeler için etkin bir ateş önleyicidir. Boratlar selülozun yapısından, tutuşmadan hemen önce, su moleküllerini uzaklaştırırlar ve bir ön kavurma olarak niteleyebileceğimiz bu olay malzemenin alev almasını ve daha fazla yanmasını engellemektedir. Fakumlu şiltelerde ve mobilya kaplamalarında ateş önleyici olarak borik asit kullanımı oldukça fazladır. Bunun yanı sıra plastik malzemelerde de tutuşmayı geciktirici olarak bor bileşikleri kullanılmaktadır. Bu bileşikler çinko borat, baryum metaborat, bor fosfat ve amonyum flüoborat'tır (Polat, 1986)

### 2.10.5. Tarım alanında

Bitkilerin azda olsa bora ihtiyaçları vardır. Bu nedenle bor yönünden fakir topraklara bor içeren suni gübreler

katmak çok yararlı olmakta, bitkilerin gelişimini sağlayarak, verimi arttırmaktadır (Özpeker, 1973). Ham ve rafine susuz boraks ve boraks pentahidrat bu amaçla gübre üretiminde bir katkı maddesi olarak kullanılırlar. Ayrıca püskürtme ile ilaçlama işlemlerinde bitkiye ihtiyaç duyduğu bor, sodyum metaborat tetrahidrat, disodyum oktaborat tetrahidrat formundaki çözünebilir bor bileşikleri formunda ve kullanılabilir. Bununla birlikte bor, zararlı bitkileri yok etmek amacıyla da tarımda kullanılmaktadır (Polat, 1986).

#### 2.10.6. Metalürji

Mükemmel ergime maddeleri olmaları nedeniyle bor bileşikleri, özellikle metallerin kaynak işinde kullanılmaktadır (Helvacı, 1983). Amorf demir-nikel-bor ve demir-bor-silikon alaşımları çok düşük magnetik kayba neden olurlar ve bu nedenle motor yada transformator göbeklerinde kullanılırlar. Yine sertliği artırmak amacıyla çelik alaşımına ilave edilmektedirler. En çok kullanılan sert alaşım bugüne kadar tungsten-karbit-kobalt alaşımı olmasına rağmen, bu gün bunun yerini sahip olduğu mükemmel nitelikleri ile bolibden-bor-bor karbit alaşımı almıştır (Polat, 1986).

Bazı elementer borlar, demirsiz metalürji reaksiyonlarında bir oksijen giderici olarak alüminyum rafine işleminde tane arıtıcı olarak kullanılmaktadır (Helvacı, 1983).

#### 2.10.7. Nükleer uygulama alanında

Yüksek termal nötron yakalama kapasitesi nedeni ile bor bileşikleri nükleer santrallerde çekirdeğin etrafının betonlanmasında katkı maddesi olarak, yada radyoaktivite

ölçümü yapan cihazlarda kullanım alanı bulur. Bunlara ila-  
ve olarak radyasyondan korunma zırhı olarak bordan yarar-  
lanılmaktadır (Polat, 1986).

#### 2.10.8. Diğer kullanım alanları

Boraksların sulu eriyikleri tekstil boyamalarında, postâ ve derilerin temizlenmesinde, sıva ve boyalarda, ni-  
şastaların küflenmesini önlemek ve parlaklık vermek ve deri  
tekstil ve turunçgiller üzerinde küflenmeyi önlemek amacıy-  
la kullanılmaktadır (Helvacı, 1983).

Bazı elementer borlar ayrıca, atomik reaktörlerde, geç  
ateşlemeli sigortalar içinde, radyo lambalarında ateşleyici  
olarak ve güneş enerjisiyle çalışan akümülatörlerde kaplama  
malzemesi olarak kullanılmaktadır.

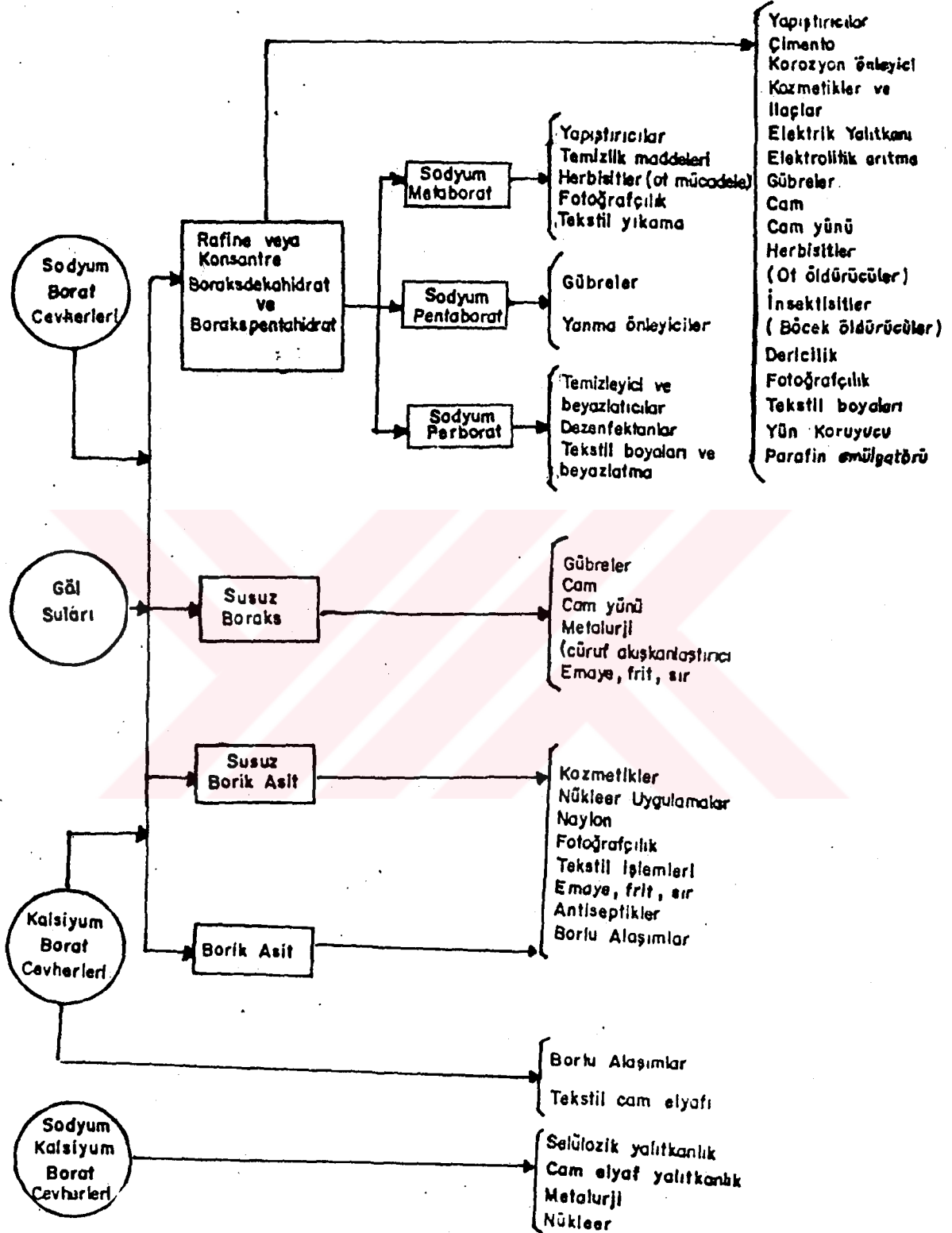
Borkarbür, ultrasonik öğütmede aş indirici olarak ve  
delici matkap uçları yapımında kullanılmaktadır. Katalizör  
olarak borkarbür, silis üretiminde; borflorür, polimerizas-  
yon, esterleşme ve alkalileşme gibi organik reaksiyonların  
hızlandırılmasında kullanılmaktadır. Borun organik bir bi-  
leş iği, benzini temizlemek ve erken ateşlemeyi önlemek için  
benzine katı lmaktadır.

Diboron ( $B_2H_6$ ), pentaboron ( $B_5H_9$ ), dekaboron ( $B_{10}H_{14}$ )  
gibi hidrojenle olan bileş iklerinin ve alkil boranların jet  
ve roket yakıtı olarak kullanılma olanakları büyük potansi-  
yel sağlayabilecektir. Eksoz gazının zehirli etkisi önlene-  
bildiği takdirde, borhidrürler gelecekte bugünün petrolü  
kadar önemli olacaktır.

Son zamanlarda, elyaf halindeki arı boru, epoks denilen suni reçinelerle veya alüminyum levhalarla preslenerek elde olunan plaklar, çok hafif olmalarına rağmen, gerilme mukavemetlerinin çeliğe eşdeğer olması, konstrüksiyonlarda, gemi uçak sanayiinde, inşaat alanında, geniş uygulama olanağı yaratılabilecektir (Özpeker, 1973).

Gündelik hayatımızda ve endüstride çok çeşitli amaçlarla kullanılan çeşitli bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları Çizelge 2.7. de gösterilmiştir (Bor İhtisas Komisyonu Raporu, 1985).





Cizelge 2.7. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları



## 2.11. Bor Mineralleri ve Ürünlerinin Üretimi, Tüketimi ve Ticareti

Dünya bor piyasasında bugün için adı geçen ülkeler ABD, Türkiye, SSCB, Arjantin, Çin, Şili, ve Peru'dur. Bu ülkeler dünya bor mineralleri üretiminin hemen hemen tümünü gerçekleştirmektedirler. Yapılan tahminlere göre 2000 yılında dünya istemi 8.7 milyon tondur (2.3 milyon ton  $B_2O_3$ ).

Çizelge 2.8. Dünya Bor Mineralleri Üretimi (bin/ton)

Ülke	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985 Tahmini
Türkiye	1005	1211	955	775	883	929	868	756	780	1042
ABD	1246	1469	1554	1590	1545	1481	1234	1303	1367	1260
SSCB	200	200	220	220	220	220	220	220	220	220
Çin	25	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Arjantin	89	91	140	146	172	138	136	125	132	150
Şili	4	5	30	3	4	4	1	1	1	1
Peru	10	6	7	13	23	18	15	11	11	15
Toplam	2579	3012	2936	2777	2877	2820	2503	2446	2541	2718
Türkiye (%)	38.9	40.2	32.5	27.9	30.6	32.9	34.6	30.9	30.7	38.3
ABD (%)	48.3	48.7	52.9	57.2	53.7	52.5	49.3	53.2	53.8	46.3

Çizelge 2.8. de de görüldüğü gibi, ABD ve Türkiye'nin üretimlerinin toplamı dünya üretiminin % 90'ı kadardır. Bundan dolayı dünya bor piyasası bu iki ülkenin egemenliği al-

tındadır. Diğer ülkelerde yapılan üretim çok düşük dış satış değerlerinin yanısıra kendi iç pazarlarına dönüktür ve dünya bor pazarında ABD ve Türkiye ile rekabet gücüne sahip olamadıkları nedeniyle sabit bir biçimde gerçekleşmektedir.

Üretim/rezerv oranı Türkiye için %0.07, ABD için % 0.2dir. ABD'de üretilen bor cevheri ve ürünlerinin büyük kısmı yine ABD'de tüketilmektedir. Dolayısıyla ABD üretiminin büyük olmasının enedenlerinden biri de yüksek teknoloji ve ürün çeşitliliği nedeniyle kendisinin en büyük pazar olmasındandır (Aytekin ve Polat, 1987).

Türkiye'de cevher üretimi Etibank'a ait 4 işletmede yapılmaktadır. Buralarda üretilen cevherler konsantre edilmekte ve konsantrelerin bir kısmı işlenerek rafine bor bileşikleri elde edilmektedir. Bu işletmeler, Çizelge 2.9. da verilmiştir (İpekoğlu ve Polat, 1987).

Ülkemizin yıllara göre bor üretimi, tüketimi, zenginleştirme, satış ve stok miktarları Çizelge 2.10. da verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi ülkemizde borat üretimi giderek artmaktadır.

Fakat Türkiye'nin teknolojisinin çok ileri olmaması nedeniyle tüketimi azdır ve üretim doğal olarak dış satıma yöneliktir (İpekoğlu ve Polat, 1987). Üretilen cevherin büyük bir miktarının satışı ise işlenmeden ham olarak yapılmaktadır. Türkiye'nin bor ara ürünleri üretiminde ve dış satışındaki payı da çok düşüktür.

Çizelge 2.9. Etibank'a Bağlı İşletmeler ve Bunlara Bağlı Tesisler

İşletme	Tesisler	Ürün	Kapasite (1000 ton/yıl)
Emet Kolemanit İşletmesi	Yeraltı açık ocaklar	Kolemanit cevheri	
	Konsantratör	Kolemanit konsantresi	450
Bigadiç Madenleri İşletmesi	Yeraltı ve açık ocaklar	Kolemanit ve üleksit cevheri	
	Konsantratör	Kolemanit ve üleksit cevheri	400
Kırka Boraks İşletmesi	Açık ocak	Tinkal cevheri	
	Konsantratör	Tinkal konsantresi	400
	Bor türevleri tesisi	Boraks dekahidrat	17
		Boraks pentahidrat	160
Bandırma Boraks ve Asit Fabrikaları	Susuz boraks	60	
	Borik asit tesisi	Borik asit	25
Kestelek Bor Madenleri İşletmesi	Boraks tesisi	Boraks dekahidrat	55
	Sodyumperborat tesisi	Sodyum perborat	20
	Sülfürik asit tesisi	Sülfürik asit	120
	Yeraltı ve açık ocaklar	Kolemanit ve probertit cevheri	

Çizelge 2.10. Türkiye Bor Mineralleri Üretim, Tüketim, Zenginleştirme, Satış ve Stok Miktarları

Yıllar	Üretim			Satışlar			Stok		
	Tüvenan	Ayrılamaya Gönderilen	Elde Edilen	Tüvenan Miktar	Değer (TL)	Ayrılanmış Miktar	Değer (TL)	Tüvenan Miktar	Ayrılanmış Miktar
1980	1333563	1350968	801172	--	--	804816	8088037000	470078	414560
1981	1528477	1459289	842573	325	2894000	523452	8704089000	29325	406641
1982	1399172	1355309	789407	14	98000	583032	13417417000	106055	560672
1983	1213455	1158174	702301	--	--	655968	23983140000	149904	716681
1984	1412740	1444376	894606	684	3155000	888185	48025957000	195120	741958
1985	1543240	1553890	954359	--	--	842568	70136177000	162799	748379
1986	1635600	1614650	928010	14750	1193514000	810295	84674059000	150815	776005

Kaynak : D.İ.E. Maden İstatistikleri Yıllıkları, 1980-1986, Ankara

### 3. KESTELEK KOLEMANİT İŞLETİMİ

#### 3.1. Yeri ve Tarihçesi

Etibank Kestelek Kolemanit yatağı Bursa ilinin Mustafa Kemal Paşa ilçesi Döveci Koşağı bucağına bağlı Kestelek Köyünün güney-güneydoğusu yönünde ilçeye 25 km uzaklıktadır.

Kestelek bölgesinde ilk çalışmalar MTA Enstitüsünün linyit prospeksiyonu ile başlamıştır. Fakat linyitlerin kalitesinin düşürülmesi, kalınlıklarının çok değişmesi bu bölgenin linyit yönünden değerlendirilmesini olanaksız hale getirmiştir.

Bu bölgedeki bor yatakları 1954 yılında Kestelek Köyü sakinlerinden Ali Doğru tarafından bulunmuştur. 1954 yılında arama çalışmalarına başlanmış, bu arada kısmen cevher üretimi de yapılmıştır. 1963 yılında ara verilen yeraltı üretimi ve diğer madencilik çalışmalarına 1966 yılında yeniden başlanmıştır. 1976 yılında bu çalışmaları paralel olarak açık işletmelerde dekapaj çalışmalarına ve 1977 yılından itibaren de üretim çalışmalarına başlanmıştır.

1979 yılından itibaren Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının kararı ile Etibank'a devredilen Kestelek kolemanit tesisleri 1982 yılına kadar Etibank Bigadiç kolemanit tesislerine bağlı başmühendislik olarak çalışmalarını sürdürmüştür. 4.6. 1982 tarihinde Etibank yönetim kurulu kararı ile Etibank Kestelek Bor Madenleri Müessesesi Müdürlüğü adı altında işletme durumuna getirilmiştir (Özpeker, 1969; "Bor", 1963; Polat ve Ersoy, 1976)

### 3.2. Yatağın Jeolojisi, Litolojisi ve Tektonizması

Stratigrafik olarak iki ünite bulunmaktadır. Yaşı paleozoik olan grovvak, kristalize kalker ve serpantinitle- den oluşan taban serisi ve bunların üzerinde de acılı dis- kordansla gelen genç neojen serisi bulunmaktadır.

Litolojik olarak tabandan tavana doğru dizilim şöyledir;

- 1- 100m kalınlığındaki taban konglomerası
- 2- 200m kalınlığında linyitli kil, marn, konglomera, gre, tüf ve anglomera serisi
- 3- Kil, tüf, marn ve kalker ile karışmış olan borat serisinin kalınlığı yer yer 100 m'yi bulur.
- 4- Üst kireç taşı tabakasının üzerinde konglomera, gre, volkanikler ve alüvyonlar yer alır ve bu serinin ortalama kalınlığı 200 m'yi bulur.

Kestelek bölgesinde'ni neojen formasyonları alp orojenezinin son safhalarında meydana gelen basınçların etkisinde kalarak yer yer kırılmışlar ve kıvrılmışlardır. Bölgede iki büyük fay bulunmaktadır.

### 3.3. Cevher Oluşumu

Cevher yatağı neojen göl tortulları içerisinde, paleozoik kristalin kayalar üzerinde ve kil-marn-tüf serisi içerisinde oluşmuştur.

Yatakta kil ve marnlarla ara tabakalı 5-10 cm kalınlığında bantler halinde camsı tüflerin bulunması göl civarında volkanik faaliyetin başladığını ve çıkan küllenin göl içinde tortullaştığını gösterir. Kil, marn ve boratlı seri tor-

tullaşırken de volkanik faaliyetin aralıklı devam etmekte olduğu tüf ara tabakalarından anlaşılmaktadır.

Buna göre Kolemanit yatağının neojen yaşlı tektonik olaylar sonucu oluşan göllerde bor halojenürleri içeren buhar ve sıcak suların göl suları ile karışmaları sonucunda oluştuğu söylenebilir. Cökelen boratlar, göl dışından akar sularla taşınan tortul malzemelerle ardalanarak üç ayrı katman oluşturlar ve toplam olarak cevher kalınlığı 2.5-5.5 m arasında değişir (Özpeker, 1969; Folat ve Ersoy, 1976 "Bor" 1983)

### 3.4. Minerolojisi

Kestelek'te bilinen tek borat yatağı, kolemanit yumru- larının yanı sıra az miktarda Karnıbahar şeklindeki üleksit kristallerinden ve işınsal veya lifimsi şekilli probertit kristallerinden oluşur. Bunların yanında hidroborasit ve mayerhofferit gibi minerallerde yer yer gözlenmektedir. Bu borat mineralleri siyah ve gri renkli killi ara kat tabakalıdır.

Cevher yatağı içinde dev kazanlarını andıran boşluklar vardır. Bu boşluklarda meydana gelen kolemanit kristalleri ortalama 5-6 cm uzunluğundadır ve bazı kolemanit patates- lerinin ağırlığı 500-1000 kg'a erişir (Özpeker, 1969; Helvacı, 1983)

### 3.5. Cevher Üretimi

Etibank tarafından işletilen bor yataklarından rezervi en küçük olanıdır. Yataktan cevher üretimi Açık ve Kapalı iş letme yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır. Açık işletme

üretim çalışmalarında cevher yatağı delicilerle delinip, dinamitle gevşetildikten sonra loder-kamyon kombinasyonu ile yüklenerek taşınmaktadır. Kapalı işletmede üretim, göçertmeli uzun ayakda zincirli konveyör sistemi uygulanarak yapılmaktadır.

Bu ocaklardan yıllara göre cevher üretim ise Çizelge 3.1. de görülmektedir.

Çizelge 3.1. 1979-1986 Yılları Arası Cevher Üretimi  
(ton olarak)

Yıllar	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Üretim	80000	128778	158676	163404	83000	88000	115000	140800

Kaynak : D.İ.E. Maden İstatistikleri Yıllıkları 1980-1986, Ankara

### 3.6. Yıkama Tesisi

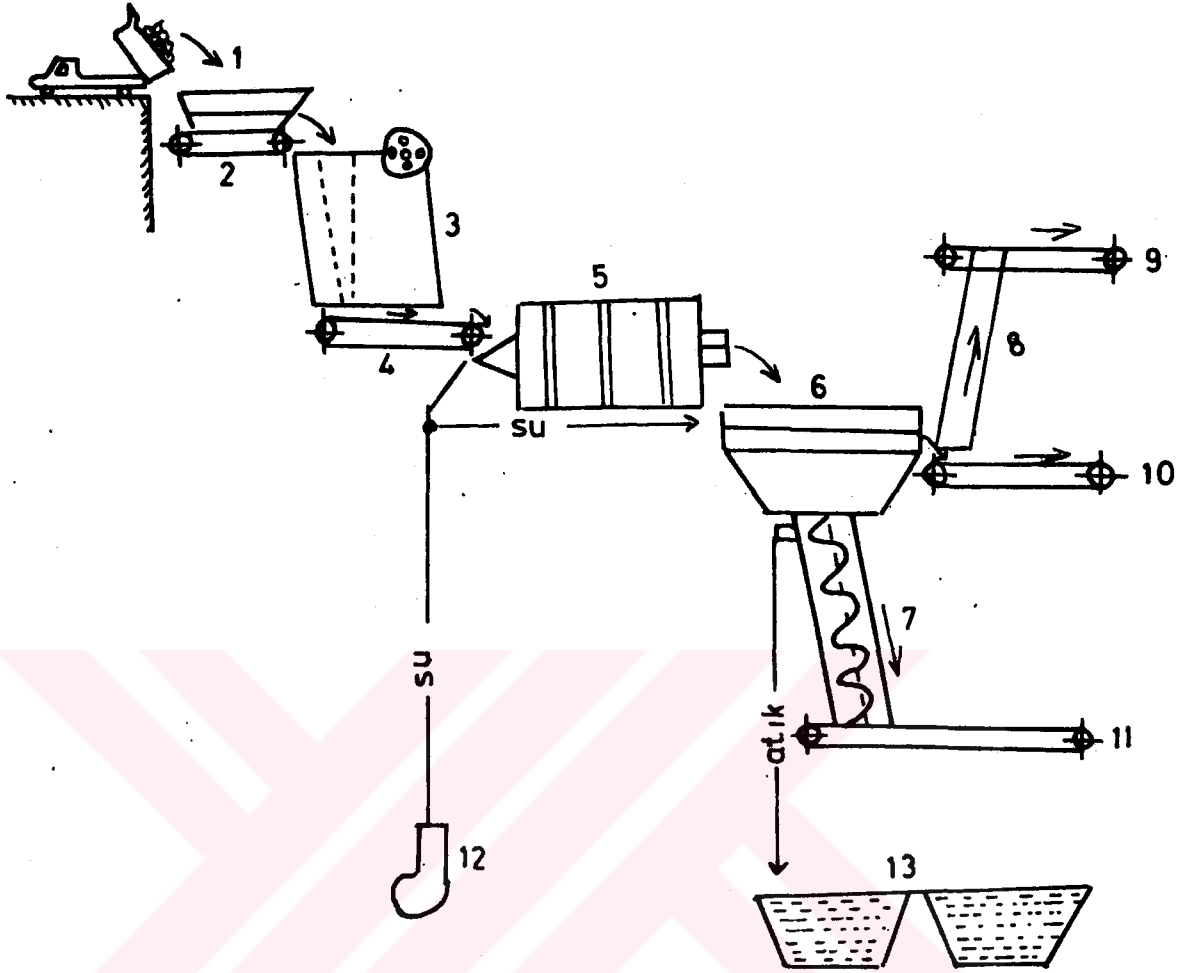
Yeraltı ve açık işletmeden üretilen cevher kamyonlarla taşınıp siloya boşaltılmakta ve buradan paletli besleyiciyle çeneli kırıcıya verilmektedir. Kırıcıdan geçen cevher konveyör band ile taşınarak su ile beraber tambur yıkayıcıya (tromel) beslenmektedir. Tambur yıkayıcı içinde su ile yıkanan cevher titreşimli katlı eleğe dökülür. Elekten geçen cevher eleğin boyutuna uygun olarak üstteki elekte 25-125 mm parça ortadaki elekte 3.25-7.12 mm fındık ve en alttaki elekte 0.3-0.7 mm toz olarak üç kısma ayrılır. İki ayrı konveyör banda dökülen parça ve fındık cevher daha band üzerinde iken içerisindeki gang mineralleri işçiler tarafından el ile ayık-



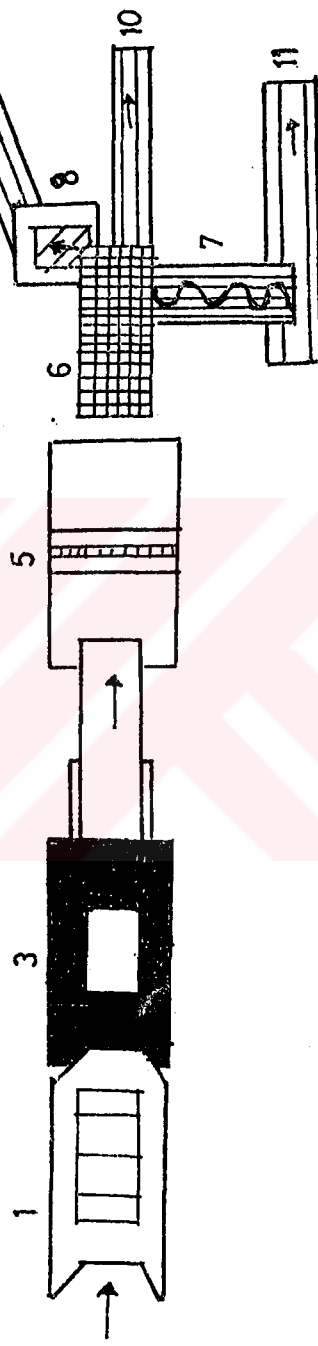
lanarak zenginleştirme sağlanmaktadır. Ayıklanan cevher banddan doğrudan doğruya kamyonlara yüklenmekte ve o günkü piyasa durumuna göre ya doğrudan Bandırma limanına ya da İşletmenin stok sahalarına dökülmektedir. Çok ince boyuttaki cevher su ile birlikte spiral klasifikatöre beslenmekte ve burada sudan ayrılarak konveyör bandla ayrı bir stok sahasına taşınarak stoklanır ( Kestelek tesisi uygulama notları ).

Yıkama tesisinden çıkan ortalama % 25.14  $B_2O_3$  içerikli -3 mm atıklar ileride değerlendirilmek amacı ile işletme alanında stoklanmaktadır. Bu durum, stoklanma sorunu yaratırken, elde edilebilecek bir ürünün elde edilmeyişiyle bir değer kaybına da neden olmaktadır.

Kestelek yıkama tesisinin kesit görünüşü Sekil 3.1.a. da, plan görünüşü Sekil 3.1.b. de görülmektedir.



- |                         |  |
|-------------------------|--|
| 1- Silo                 | 9- Band konveyör<br>(Parça cevher bandı)   |
| 2- Paletli besleyici    | 10- Band konveyör<br>(Fındık cevher bandı) |
| 3- Çeneli kırıcı        | 11- Band konveyör<br>(Toz cevher bandı)    |
| 4- Band konveyör        | 12- Su pompası                             |
| 5- Tromel kırıcı        |  |
| 6- Titreşimli elek      |  |
| 7- Çeneli blok filbetör |  |



Şekil 3.1b. Kestelek Yıkama Tesisi Akım Şeması  
(Plan Görünüşü)

#### 4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

##### 4.1. Deneylerde Kullanılan Örneğin Alınması

Etibank Kestelek Bor İşletmesinde 1985 yılı verilerine göre Cizelge 4.1. de verilen tenörlerde ve miktarlarda boyutu -3 mm olan atık ürün stoklanmıştır. Stoktan sağlanan atıktan Cizelge 4.1. de verilen oranlara göre toplam 100 kg temsili örnek alınmış ve laboratuvar koşullarında kurutularak harmanlanmıştır. Buradan alınan temsili örnekte ise kimyasal analiz ve seçilen parçalar üzerinde mineralojik analiz yapılmıştır.

Cizelge 4.1. Kestelek Bor İşletmesinde Stoklanan -3 mm Atık Ürünün Tenör ve Miktarları

% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Stok Miktarı(t)	Oran %	Alınan Örnek Miktarı(kg)
20-25	7000	34.14	34.14
25-28	5500	26.84	26.84
28-34	8000	39.02	39.02
Toplam:	20500	100.00	100.00

Kurutularak harmanlanan örnek, magnetik ayırma ve flotasyon deneylerini yapmak amacıyla avarıcı ile iki eşit gruba ayrılmıştır.

#### 4.2. Deney Örneğinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Kestelek Bor İşletmeleri artığının komple kimyasal analiz sonuçları çizelge 4.2. de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Kestelek Bor İşletmeleri Artığından Alınan Örneğin Komple Kimyasal Analizi

Bileşim	Miktar (%)
$B_2O_3$	25.14
CaO	21.12
$SiO_2$	17.28
MgO	6.07
$Fe_2O_3$	5.68
$Al_2O_3$	2.43
Ateş kaybı	22.21

#### 4.3. Örneğe Uygulanan $B_2O_3$ ve Komple Analiz Metodu

##### 4.3.1. $B_2O_3$ tayini

Bu metod yalnız Türkiye deki Bor minerallerine uygulanabilir.

(Tinkal, Uleksit, Kolemanit, Mg-Borat)

### Reaktifler

- a- 0.5 N NaOH
- b- 6 N NaOH
- c- Metil kırmızısı indikatörü (% 0.1'lik)
- d- Fenolftalin indikatörü (% 0.5'lik)
- e- HCl seyreltik (0.5 N HCl)

### Metod

400 ml'lik behere takriben 1.0000 gr tartım alınır, 50 ml, kaynamış saf su ve 5 ml derişik HCl konur. Saat camı kapatılır 2-3 dakika kaynatılır. Sonra 6 N NaOH çözeltisi damla damla ilave edilerek metil kırmızısına karşı nötrleştirilir (çöktürme tam olduğunda çökelek hafifçe kırmızı ve çözelti sarıdır). Kaynatılır ve siyah band süzgeç kağıdından süzülür, sıcak su ile iyice yıkanır. Son çözelti 200-250 ml kadar olmalıdır. Bir kaç damla seyreltik HCl ile çözelti asidik yapılır. Kendi halinde soğumaya bırakılır.

Soğuduktan sonra bürete konulan ayarlı 0.5 N NaOH çözeltisinden damla damla ilave edilerek indikatörün rengi sarıya dönüştürülür. Bu sırada 8-10 damla fenolftalin damlatılır. 50 ml gliserin konularak 0.5 N NaOH çözeltisi ile titre edilir. Fenolftalin rengi dörününce, (soğan kabuğu kırmızısı) 30 ml gliserin ilave edilir. Renk değişmiyorsa titrasyon bitmiştir. Renk sarıya dönerse; titrasyona devam edilir. Fenolftalin rengi görününceye kadar sürer.

### Hesaplama

S: 0.5 N NaOH sarfiyatı (ml)

F: 0.5 N NaOH çözeltisinin faktörü

T: Tartım (gr)

$$\% B_2O_3: \frac{0.01741 \times F \times 100 \times S}{T}$$

( M.T.A. nin bor minerallerine uyguladığı analiz yöntemi)

### 4.3.2. Komple analiz

#### SiO<sub>2</sub> Tayini

1.0000 gr tartım 400 ml'lik behere alınır. 20 ml su ve 20 ml HCl konur. Su banyosunda kuruluğa kadar kurutulur. Kurutulduktan sonra yeniden 20 ml HCl ilavesiyle tekrar kuruluğa kadar kurutulur. 120 °C'lik etüvde en az iki saat bekletilir. Sonra 20 ml HCl ve 100 ml su konularak kaynatılır. Beyaz bant süzgeç kağıdından süzülür. HCl'li sıcak su ile yıkanır çökelek ve kağıt platin krozede yakılır. 1000-1100 °C'de 30 dakika bekletilir, soğutulur ve tartılır. Platin krozeye birkaç damla derişik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> damlatılır. 10-15 ml derişik HF konularak SiO<sub>2</sub> uçurulur. Beyaz dumanlar kaybolunca platin kroze fırında kızdırılır. Soğuduktan sonra tartılır. Tartı farkından SiO<sub>2</sub> yüzdesi hesaplanır.

#### R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Tayini

Platin krozeye Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> konulur. Eritiş yapılır ve süzüntüye alınır. Süzüntüye 4-5 gr NH<sub>4</sub>Cl ilave edilir ve kaynatılır. Metil kırmızısı sarıya dönünceye kadar damla damla derişik NH<sub>3</sub> ilave edilir. Tekrar hafifçe kaynatılır ve çökeleğin oturması beklenir. Siyah banttan süzülür. Amonyum klorürlü (% 20 gr/lt) sıcak su ile yıkanır. Çökelek porselen krozede yakılır. Tartılır % R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hesaplanır.

$$\% R_2O_3 = \frac{MR_2O_3}{Tartım} \times 100$$

### Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tayini

R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tayinindeki gibi NaCO<sub>3</sub> eritişii yapılır ve süzünü-  
tüye alınır. Süzüntü 250 ml.ye saf su ile tamamlanır. Bu  
çözeltiden belirli hacimde örnek alınarak kolorimetrik Fe  
tayini yapılır.

### CaO Tayini

R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> süzüntüsü 90 °C ye kadar ısıtılır. 20 ml.ye doy-  
muş amonyum okzalat çözeltisi ilave edilir. Sıcakta 15-20  
dakika tutulur. Ca okzalat dibe oturur. Ocak üstünden alı-  
nır ve bir gece bekletilir. Mavi banttan süzülür. Porselen  
krozede yakılır. Tartım farkından CaO hesaplanır.

### MgO Tayini

Ca süzüntüsüne 20 ml. % 20'lik (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> çözeltisi  
ilave edilir, 25 ml. NH<sub>3</sub> konur ve uzun süre karıştırılır ve  
bir gece bekletilir.

Not: Çalışma süresinde zaman zaman karıştırılmalıdır.

Mavi banttan süzülür. NH<sub>3</sub>lı su ile yıkanır. Porselen  
krozede yakılır. Mg<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> halinde tartılır. MgO olarak yüzde  
hesaplanır.

### Ateş Kaybı

600 °C'ye kadar kristal suyu 900-1000 °C'de ise karbo-  
nat gider. 1.0000 gr tartımla çalışılır (Gündüz, 1975).



#### 4.4. Mineralojik Tanım

Kolemanit ve üleksit, gang olarak kil, mil, ve ince taneli kumtaşı içermektedir. Cevherde istenmeyen  $Fe_2O_3$  bileşiminin kaynağı araştırıldığında mikroskopik inceleme ile demir içerikli mineral olarak biotit ve klorit mineralleri gözlenmiştir.

Mil ve kil boyutundaki gangın öğütülüp hidroklorik asitle muamele edilerek bor içeriğinden arındırıldıktan sonra DTA 404 EP ile alınan grafiğinde de biotit tanımlanmıştır.

Paramagnetik minerallerin varlığı saptanan gangın susceptibilite değeri  $6.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{gr} - 8.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$  olarak ölçümlenmiştir (Özdağ vd., 1988)

#### 4.5. Boyut Dağılımı

Magnetik ayırma ile zenginleştirme için ayrılmış olan örnek, ayırıcı ile iki eşit gruba ayrılmıştır. Laboratuvar da hava sıcaklığında kurutulan grup örneklerden birincisi 0.075 mm standart ASTM eleğinden yaş olarak elenerek elek üstü Çizelge 4.3. de görülen elek dizisinden geçirilerek sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırmaya göre bazı boyut aralıklarında  $B_2O_3$  zenginleşmesi olduğu ve özellikle de ince boyutlarda  $B_2O_3$  tenörünün ve dağılımının çok azaldığı görülmektedir.

#### 4.6. Magnetik Ayırma ile Zenginleştirme Deneyleri

Deney örneğinin  $Fe_2O_3$  içeriği ve paramagnetik mineral varlığı magnetik ayırma yönteminin uygulanmasını gündeme getirmiştir.

Magnetik ayırıcıda tambur dönme hızı ve besleme şartları ayrı ayrı denenerek, en uygun şartlar bulunduğundan sonra zenginleştirme yapılmıştır.

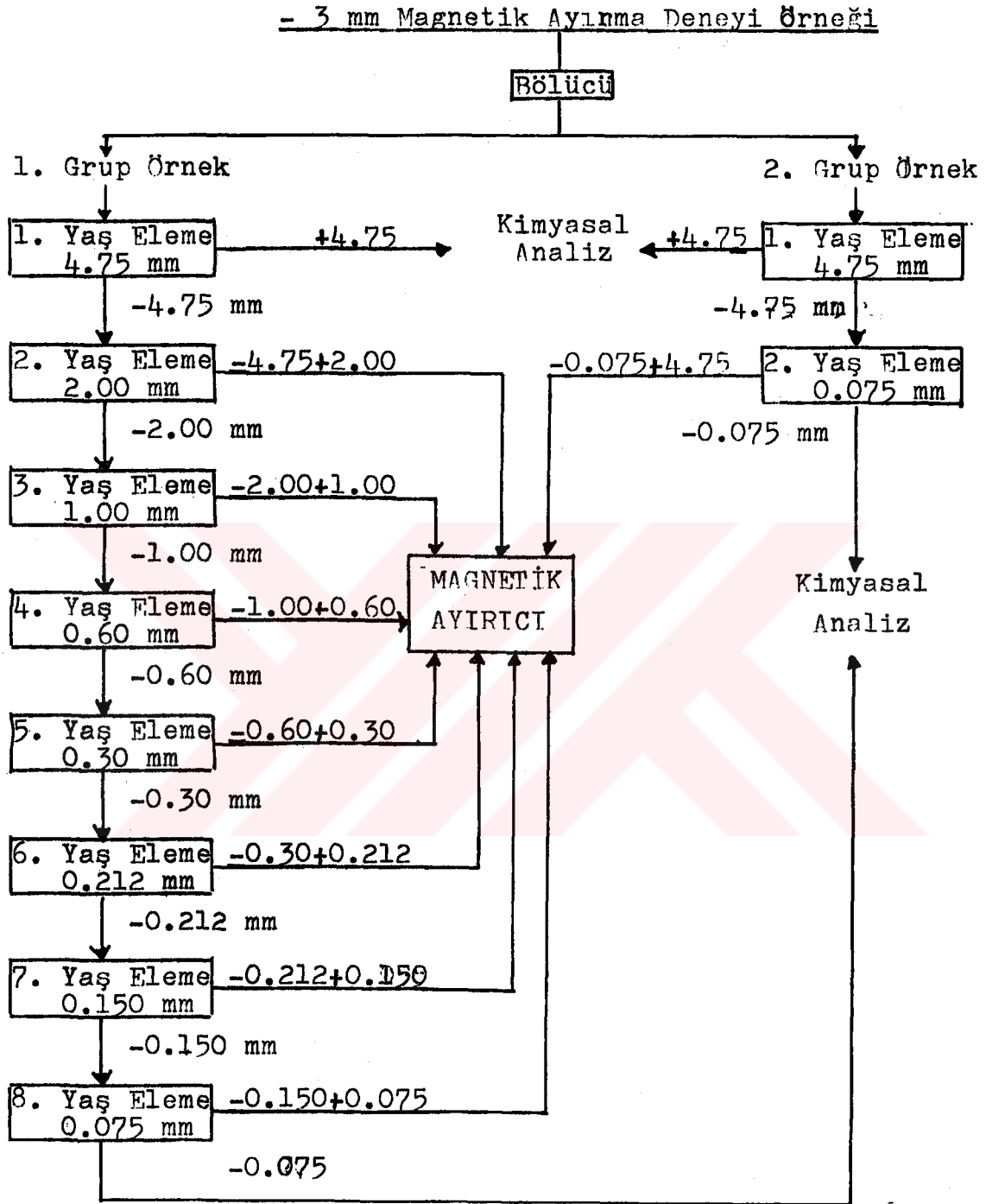
En iri boyut +4.75 mm yüksek, en ince boyut -0.075 mm düşük  $B_2O_3$  içeriği nedeniyle ayırma işlemine tabi tutulmamışlardır. Ancak iki boyut grubu tüm hesaplamalara dahil edilmişlerdir.

##### 4.6.1. Magnetik ayırma deney örneğinin hazırlanması

Magnetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri için ayrılmış olan örnek Şekil 4.1.de görüldüğü gibi bölücü ile iki gruba ayrılmıştır. Bunlardan birinci grup örnek Şekilde görülen elek serisinde ayrı ayrı yaş olarak elenerek tane boyu gruplarına ayrıldıktan sonra laboratuvar şartlarında kurutulmuştur. İkinci grup örnekte ise sadece en iri ve en ince boyut grupları yaş elemeye alınarak elde edilen boyut grubu laboratuvarda kurutulmuştur.

##### 4.6.2. Birinci grup örnek ile yapılan deneyler

laboratuvarda kurutulan birinci grup örnekte en iri ve en ince boyut grupları hariç tutularak diğer her boyut grubu PERMROLLR Laboratuvar Tipi Kuru Sürekli Magnetik Ayırıcı'dan iki kez geçirilmiştir ve bu grupların bireysel ayırma sonuçları Çizelge 4.3. de görülmektedir.



Şekil 4.1. Magnetik Ayırıcıya Beslenecek -3 mm Kestelek Tesis Artığı Örneğinin Hazırlanmasını Gösteren Sema

Çizelge 4.3. Farklı Tane Boyu Gruplarının Bireysel Ayırma Sonuçları

Boyut Aralığı mm	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör%		Dağılım%	
			B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
+4.75	Konsantre	100.0	37.30	2.17	100.0	100.0
-4.75+2.00	Konsantre	74.6	38.36	1.28	99.1	23.3
	Atık	25.4	1.04	12.91	0.9	76.7
	Giriş	100.0	28.88	4.11	100.0	100.0
-2.00+1.00	Konsantre	51.6	47.44	1.09	85.7	10.9
	Atık	48.4	8.46	9.50	14.3	89.1
	Giriş	100.0	28.57	5.16	100.0	100.0
-1.00+0.60	Konsantre	68.3	44.13	1.00	98.5	15.1
	Atık	31.7	1.45	12.20	1.5	84.9
	Giriş	100.0	30.60	4.55	100.0	100.0
-0.60+0.30	Konsantre	77.7	42.95	0.96	99.7	23.3
	Atık	22.3	0.48	11.18	0.3	76.7
	Giriş	100.0	33.49	3.25	100.0	100.0
-0.30+0.212	Konsantre	77.4	44.76	1.10	98.7	23.5
	Atık	22.6	2.06	12.15	1.3	76.5
	Giriş	100.0	35.11	3.60	100.0	100.0
-0.212+0.150	Konsantre	71.9	44.71	1.22	94.0	23.7
	Atık	28.1	7.33	10.06	6.0	76.3
	Giriş	100.0	34.21	3.70	100.0	100.0
-0.150+0.075	Konsantre	53.6	41.84	1.11	79.2	10.3
	Atık	46.4	12.68	11.21	20.8	89.7
	Giriş	100.0	28.31	5.80	100.0	100.0
-0.075	Atık	100.0	1.60	11.77	100.0	100.0

#### 4.6.3. İkinci grup örnek ile yapılan deneyler

Laboratuvarda kurutulan ikinci grup örnekte de en iri ve en ince boyut grupları hariç tutularak elde edilen tek boyut grubu PERMROLLER Laboratuvar Tipi Kuru Sürekli Magnetik Ayırıcı'dan üç kez geçirilmiştir.

Bu grubun ayırma sonuçları Çizelge 4.4. te görülmektedir.

Çizelge 4.4. En iri ve en ince boyut grupları alınarak elde edilen grubun ayırma sonuçları

Boyut Aralığı	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör %		Dağılım %	
			B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
+4.75	Konsantre	100.0	37.86	2.61	100.0	100.0
-4.75+0.075	Konsantre	67.2	38.45	1.61	92.2	21.9
	Atık	32.8	6.7	11.77	7.8	78.1
	Giriş	100.0	28.04	4.94	100.0	100.0
-0.075	Atık	100.0	2.08	11.53	100.0	100.0

#### 4.6.4. Çalışma sonuçları

Çizelge 4.3. de yedi ayrı tane boyut aralığının bireysel ayırma sonuçları verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi en düşük tenör % 38.36 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak % 99.1 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile -4.75+2.00 mm boyut aralığında, en yüksek tenör ise % 47.44 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olarak % 85.7 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimiyle -2.00+1.00 mm boyut aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.4. de ise elde edilen test boyut grubunun aşırı yırma sonuçları verilmiştir. Bu çizelgeye de görüldüğü gibi tenör % 38.45  $B_2O_3$  olarak % 92.2  $B_2O_3$  verimiyle gerçekleşmiştir.

Bireysel boyut aralıklarında üretilen ürünler denemeye alınan tüm örneğe oranlanarak yeniden ele alındıklarında çizelge 4.5. ve çizelge 4.6. daki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 4.5. Birinci Grup Örneğin Tane Boyu Gruplarının Tüm Örneğe Göre Ayırma Sonuçları

Boyut Aralığı mm	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör%		Dağılım%	
			B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
+4.75	Konsantre	5.2	37.30	2.17	7.7	2.0
-4.75+2.00	Konsantre	20.1	38.36	1.28	30.7	4.5
	Atık	6.9	1.04	12.91	0.3	15.7
	Giriş	27.0	28.88	4.11	30.9	20.2
-2.00+1.00	Konsantre	6.6	42.44	1.09	12.5	1.3
	Atık	6.2	8.46	9.50	2.0	10.4
	Giriş	12.8	28.57	5.16	14.5	11.7
-1.00+0.60	Konsantre	9.3	44.13	1.00	16.3	1.6
	Atık	4.3	1.45	12.20	0.2	9.2
	Giriş	13.6	30.60	4.55	16.5	10.8
-0.60+0.30	Konsantre	5.6	42.96	0.96	9.6	0.9
	Atık	1.6	0.48	11.18	0.03	3.2
	Giriş	7.2	33.49	3.25	9.63	4.1
-0.30+0.212	Konsantre	5.2	44.76	1.10	9.3	1.0
	Atık	1.5	2.06	12.15	0.1	3.2
	Giriş	6.7	35.11	3.60	9.4	4.2
-0.212+0.150	Konsantre	3.3	44.71	1.22	5.9	0.7
	Atık	1.3	7.33	10.06	0.4	2.3
	Giriş	4.6	34.21	3.70	6.3	3.0
-0.150+0.075	Konsantre	1.8	41.84	1.11	3.0	0.4
	Atık	1.5	12.68	11.21	0.8	3.0
	Giriş	3.3	28.31	5.80	3.8	3.4
-0.075	Atık	19.6	1.60	11.77	1.2	40.6
	Giriş	100.0	25.14	5.68	100.0	100.0

Cizelge 4.6. İkinci Grup Örneğin, -4.75+0.075 mm boyut grubunun tüm örneğe göre ayırma sonuçları

Boyut Aralığı	Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör %		Dağılım %	
			B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
+4.75	Konsantre	5.2	37.86	2.61	7.8	2.4
-4.75+0.075	Konsantre	54.9	38.45	1.61	84.0	15.5
	Atık	26.8	6.7	11.77	7.1	55.5
-0.075	Giriş	81.7	28.04	4.95	91.1	71.0
	Atık	13.1	2.08	11.53	1.1	26.6
	Giriş	100.0	25.14	5.68	100.0	100.0

Ürünler, konsantre ve atık olarak birleştirildiğinde Cizelge 4.7. ve Cizelge 4.8. de görülen değerler elde edilmektedir. Cizelge 4.7. ye göre denemeye sokulan örneğin % 57.1'i konsantre olarak, % 41.76 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ve % 94.8 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilirken, % 42.9'u ise atık olarak, % 3.02 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ve % 5.2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaybı ile ayrılmaktadır.



Çizelge 4.7. Birinci Grup Örneğin birleştirilmiş ayırma ürünlerinin analiz sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Tenörler %		Dağılımlar %	
		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	57.1	41.76	1.24	94.8	12.4
Atık	42.9	3.02	11.69	5.2	87.6
Beslenen	100.0	25.14	5.68	100.0	100.0

Çizelge 4.8.4e göre ise denemeye sokulan örneğin % 60.1'i konsantre olarak, % 38.40 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ve % 91.8 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilirken, % 39.9'u ise Atık olarak, % 5.18 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ve % 8.2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaybı ile ayrılmaktadır.

Çizelge 4.8. İkinci Grup Örneğin birleştirilmiş ayırma ürünlerinin analiz sonuçları

Ürünler	Ağırlık %	Tenörler %		Dağılımlar %	
		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	60.1	38.40	1.69	91.8	17.9
Atık	39.9	5.18	11.70	8.2	82.1
Beslenen	100.0	25.14	5.68	100.0	100.0

#### 4.7. Flotasyon Yolu ile Zenginleştirme Deneyleri

##### 4.7.1. Flotasyon deney örneğinin hazırlanması çalışmaları

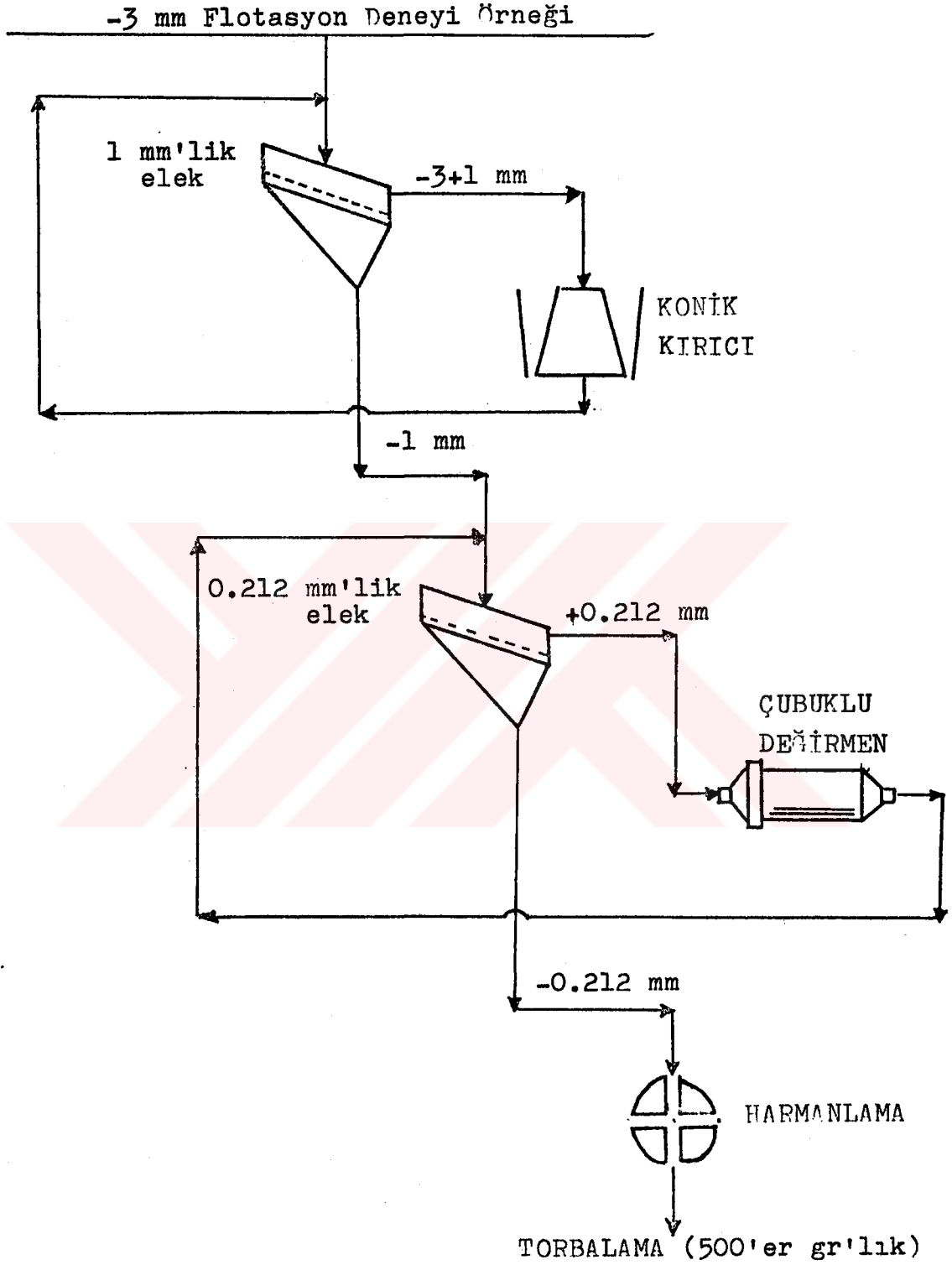
Flotasyon deneyleri için ayrılmış olan -3 mm boyutlu cevher örneği, önce 1 mm'lik titreşimli eleğe beslenerek, 1 mm boyutunun üstü konik kırıcı ile 1 mm'lik elek kapalı devre çalıştırılarak cevherin tamamı - 1mm boyutuna indirilmiştir. 1 mm altına kırılmış cevher 0.212 mm'lik standart ASTM eleğinden yaş olarak elenerek, elek üstü laboratuvar tipi çubuklu değirmene beslenerek 8-10 dakika yaş olarak öğütülmüş ve değirmen çıkışı 0.212 mm'lik eleğe beslenerek cevherin tamamı -0.212 mm boyutuna indirilmiştir.

Tamamı 0.212 mm boyutunun altına indirilen cevher, laboratuvar koşullarında, kurutulularak harmanlanmış ve flotasyon deneylerinde seçilen pülp yoğunluğuna uygun olarak 500'er gramlık torbalar haline getirilmiştir. Örnek hazırlama akım şeması Şekil 4.2. de gösterilmiştir.

##### 4.7.2. Kullanılan flotasyon reaktifleri

Daha önce yapılmış olan araştırmalarda belirlenen en iyi şartlar ve reaktif cinsleri göz önüne alınarak, flotasyon deneylerinde uygulanacak şartlar ve reaktif cinsleri belirlenmiştir.

Flotasyon deneyleri iki şekilde yapılmıştır; Birincisinde gang mineralleri, ikincisinde ise kolemanit yüzdürülmüştür.



Sekil 4.2. Flotasyon deney örneğinin hazırlanmasını gösteren akım şeması

Flotasyon deneylerinde kullanılan reaktifler ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Gang mineralleri uzun zincirli aminlerle yüzdürülmüştür. Uzun zincirli amin olarak Akzo chemie UK Ltd. tarafından üretilen ARMAC T (Tallowamine acetate), ARMAC C (Cocoamine acetate) ve ARMOFLOTE 12 (Alkylamine) % 5'lik sulu çözelti halindedeki kullanılmışlardır.

Deneylerde, kolemaniti bastırmak için Nişasta, pH'ı düşürmek için seyreltik  $H_2SO_4$ , köpürtücü olarak da DF-250 kullanılmıştır.

Kolemanit'in zeta potansiyeli pH: 10.7'de sıfır olmaktadır ve bu değer üzerinde mineral (-) elektrik yükü taşımaktadır (Yarar, 1971). Bu nedenle kolemanit flotasyonunda anyonik kollektörler kullanılmıştır. Anyonik kollektör olarak karboksilat grubundan doymamış yağ asidi olan Oleik asit, sülfanat grubundan ise American Cyanamid firması tarafından üretilen R.825 ve R.801 önce teker teker ve sonra da karışımlar halinde kullanılmıştır.

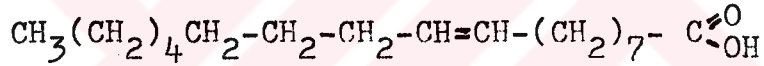
Karboksil grubunu ( $COO^-$ ) içeren organik asitler ve bunların tuzlarına karboksilatlar denir. Hidrokarbon zincirindeki karbon sayısı 12'den fazla ise bunlara yağ asitleri adı verilir. Yağ asitlerinin alkali metallerle yaptıkları bileşiklere ise sabun denir. Yağ asitleri, hidrokarbon zincirlerinde çift bağ yoksa "doymuş yağ asitleri", bir ya da daha fazla çift bağ varsa "doymamış yağ asitleri" adını alırlar (Atak, 1974).

Yağ asitleri doğada oldukça karışık şekillerde bulunduğu için, saflaştırılmaları gerekir. Bunun için çeşitli

yöntemler kullanılır. Yağ asitlerinin hidrokarbon zinciri uzadıkça suda erimeleri azalır. Aynı hidrokarbon zincirine sahip yağ asitlerinde çift bağ sayısı arttıkça, suda çözünürlük de artar (Atak, 1974).

Flotasyonda kullanılan yağ asitleri bitkisel ve hayvansal yağlardan kısmi sentez ya da damıtma ile elde edilir. Bunun dışında çeşitli sınaî tesislerinde yan ürün olarak elde edilen maddeler, ucuz flotasyon reaktifleri olarak kullanılır. Flotasyonda en çok doymamış yağ asitleri kullanılır (Atak, 1974).

Flotasyon deneylerinde oleik asit damlalar halinde kullanılmıştır. Oleik asitin kolemanit yüzeyinde tutunmalarında rol oynayan aktif grup karboksilat ( $\text{COO}^-$ ) dir. Oleik asitin kimyasal formülü ise şöyledir:



American Cyanamid Company tarafından üretilen "Aero Promoters 801 ve Aero Promoters 825" in kimyasal yapısı açıklanmamış olmakla beraber reaktiflerin temel bileşkenlerinin bir sülfanat olduğu sonucuna deneyler sırasındaki karşılaştırmalı gözlemlerden çıkarılmıştır (Yarar, 1971). Bu reaktifler % 10'luk sulu çözeltiler halinde kullanılmışlardır.

Deneylerde pH değerini yükseltmek için seyreltik NaOH kullanılmıştır. Pulp yoğunluğu olarak % 33 olarak alınmıştır.

#### 4.7.3. Gang minerallerinin yüzdürüldüğü flotasyon deneyleri

Gang minerallerinin yüzdürüldüğü flotasyon deneylerinde kullanılan toplayıcılar aşamalı olarak verilmiştir fakat istenilen sonuç elde edilememiştir.

Kullanılan toplayıcılar katyonik toplayıcılardır ve düşük pH'larda çalışılmıştır. Bu durum, pH'ı ayarlamak için kullanılan  $H_2SO_4$ 'in fazla miktarda harcanmasına neden olmuştur. Çünkü, kolemanit düşük pH'larda daha çok çözünmektedir.

Gang minerallerini yüzdürmek için aşağıda verilen flotasyon şartlarında deneyler yapıldı ve elde edilen sonuçlar aşağıda görüldüğü gibidir.

##### Deney-I

pH: 4

Köpürtücü: DF-250 2 damla

Şartlarında toplayıcı miktarları kademeli olarak artırılmıştır.

##### I. Kademe

Toplayıcı: Armac T, 6 kg/ton

Toplayıcı: Armacflote, 6 kg/ton

Kıvam süresi: 8 dakika

Flotasyon süresi: 6 dakika

##### II. Kademe

Toplayıcı: Armac T, 4 kg/ton

Toplayıcı: Armacflote, 4 kg/ton

Kıvam süresi: 5 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.9. Deney-I'in Sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	460	92	26.55	97.2
Atık	40	8	8.89	2.8
GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

## Deney-II

pH: 4

Köpürtücü: DF-250 / 3 damla

Şartlarında toplayıcı miktarları kademeli olarak artırılmıştır.

## I. Kademe

Toplayıcı: Armac T, 6 kg/ton,

Toplayıcı: Armac C, 6 kg/ton

Toplayıcı: Armacflote, 6 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 8 dakika

## II. Kademe

Toplayıcı: Armac T, 3kg/ton

Toplayıcı: Armac C, 3kg/ton

Toplayıcı: Armacflote, 3 kg/ton

Kıvam süresi: 5 dakika

Flotasyon süresi: 5 dakika

Çizelge 4.10. Deney-II'nin Sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	445	89	37.38	69.9
Atık	55	11	3.1	3.1
GİRİŞ	500	100	25.14	100. 0

#### 4.7.3.1. Nişastanın bastırıcı etkisinin incelendiği flotasyon deneyleri

Bu amaçla, kolemaniti bastırmak için Nişasta ( % 5'lik çözelti halinde ) kullanıldı ve toplayıcı kollektör olarak da Armoflote 12 kullanılarak gang mineralleri yüzdürülmüştür.

Verilen flotasyon şartlarında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre bastırıcı olarak kullanılan nişastanın belirgin bir bastırıcılık etkisinin olmadığı görülmektedir.

#### Deney-III

pH: 6

Köpürtücü: DF-250 2 damla

Flotasyon şartlarında toplayıcı miktarı kademeli olarak artırılmıştır.



## I. Kademe

Kollektör: Armoflote 12, 12 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 10 dakika

## II. Kademe

Kollektör: Armoflote 12, 8 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 8 dakika

## Çizelge 4.11. Deney-III'ün Sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	390	78	30.23	93.8
Atık	110	22	7.09	6.2
GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

## Deney-IV

pH: 8

Bastırıcı: Nişasta 5 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Şartları ve Deney III'deki flotasyon şartları kullanılarak yapılan deneyden elde edilen sonuç Çizelge 4.12 de görülmektedir.

Çizelge 4.12. Deney IV'ün Sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	400	80	30.00	95.5
Atık	100	20	5.70	4.5
GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

## Deney-V

pH: 8

Köpürtücü: DF-250, 2 damla

Şartları sabit tutularak toplayıcı miktarı kademeli olarak artırılmıştır.

## I. Kademe

Kollektör: Armoflote 12, 18 kg/ton

Kıvam süresi: 15 Dakika

Flotasyon süresi: 10 dakika

## II. Kademe

Kollektör: Armoflote 12, 12 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 10 dakika

Çizelge 4.13. Deney-V'in Sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	350	70	34.45	95.9
Atık	150	30	3.41	4.1
GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

## Deney-VI

pH: 8

Bastırıcı: Nişasta 10 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon şartları ve Deney V'deki Flotasyon şartları kullanılarak yapılan deneyden elde edilen sonuç Çizelge 4.14. de görülmektedir.

Çizelge 4.14. Deney-VI'nın Sonuçları

ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR	DAĞILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	360	72	34.03	97.5
Atık	140	28	2.28	2.5
GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

4.7.3.2. Nişasta miktarının flotasyon deneylerine olan etkisinin incelendiği deneyler

Bu amaçla deney 4 göz önünde tutulmuş ve buradaki toplamıyıcı miktarları sabit tutularak Nişasta miktarı artırılmıştır.

Deney-VII

pH: 8

Bastırıcı: Nişasta 10 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

Bu şartlarda yapılan flotasyon deneyi sonucu izelge 4.15. de görülmektedir.

Çizelge 4.15. Deney VII'nin Sonuçları

ÜRÜNLER	AğIRLIK		TENÖR %	DAğILIM %
	Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	420	80	29.00	96.9
Atık	80	20	4.87	3.1
GİRİş	500	100.0	25.14	100.0

Çizelge 4.12. ve izelge 4.15. de görüldüğü gibi nişasta miktarının artırılmasıyla B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü % 30'dan % 29 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e düşmüştür.

#### 4.7.4. Kolemanit mineralinin yüzdürüldüğü flotasyon deneyleri

Bu amaçla önce Oleik Asit ile düşük pH'larda (pH:5.5 ve pH:8.5) deneyler yapıldı ve iyi bir sonuç alınamaması nedeni ile pH yükseltilerek, (pH:9-10) deneyler yüksek pH larda Oleik Asit, R.801 ve R.825 gibi toplayıcılar kullanılarak yapılmıştır.

##### 4.7.4.1. pH: 5.5 da Oleik Asit miktarının etkisini incelemek için yapılan deneyler

pH: 5.5

Toplayıcı: Oleik Asit

Kıvam süresi: 7 dakika

Flotasyon süresi: 5 dakika

Çizelge 4.16. pH:5.5'da Oleik Asit miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

OLEİK ASİT MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
7.6	Konsantre	145	29	21.93	25.3
	Atık	355	71	26.45	74.7
22.8	Konsantre	45	9	16.51	5.9
	Atık	455	91	26.00	94.1
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

4.7.4.2. pH:8.5' da Oleik Asit miktarının etkisini incelemek için yapılan deneyler

pH: 8.5

Toplayıcı: Oleik Asit

Kıvam süresi: 7 dakika

Flotasyon süresi: 3 dakika

Çizelge 4.17. pH:8.5'da Oleik Asit miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

OLEİK ASİT MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
15.2	Konsantre	20	4.0	20.05	3.2
	Atık	480	96.0	25.35	96.8
22.8	Konsantre	33	6.6	23.4	6.1
	Atık	467	93.4	25.26	93.9
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

Düşük pH değerlerinde iyi bir sonuç alınamaması nedeni ile diğer tüm deneyler, pH: 9-10 arasında seçilerek yapılmıştır.

4.7.4.3. Oleik Asidin kademeli olarak verilmesinin flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler

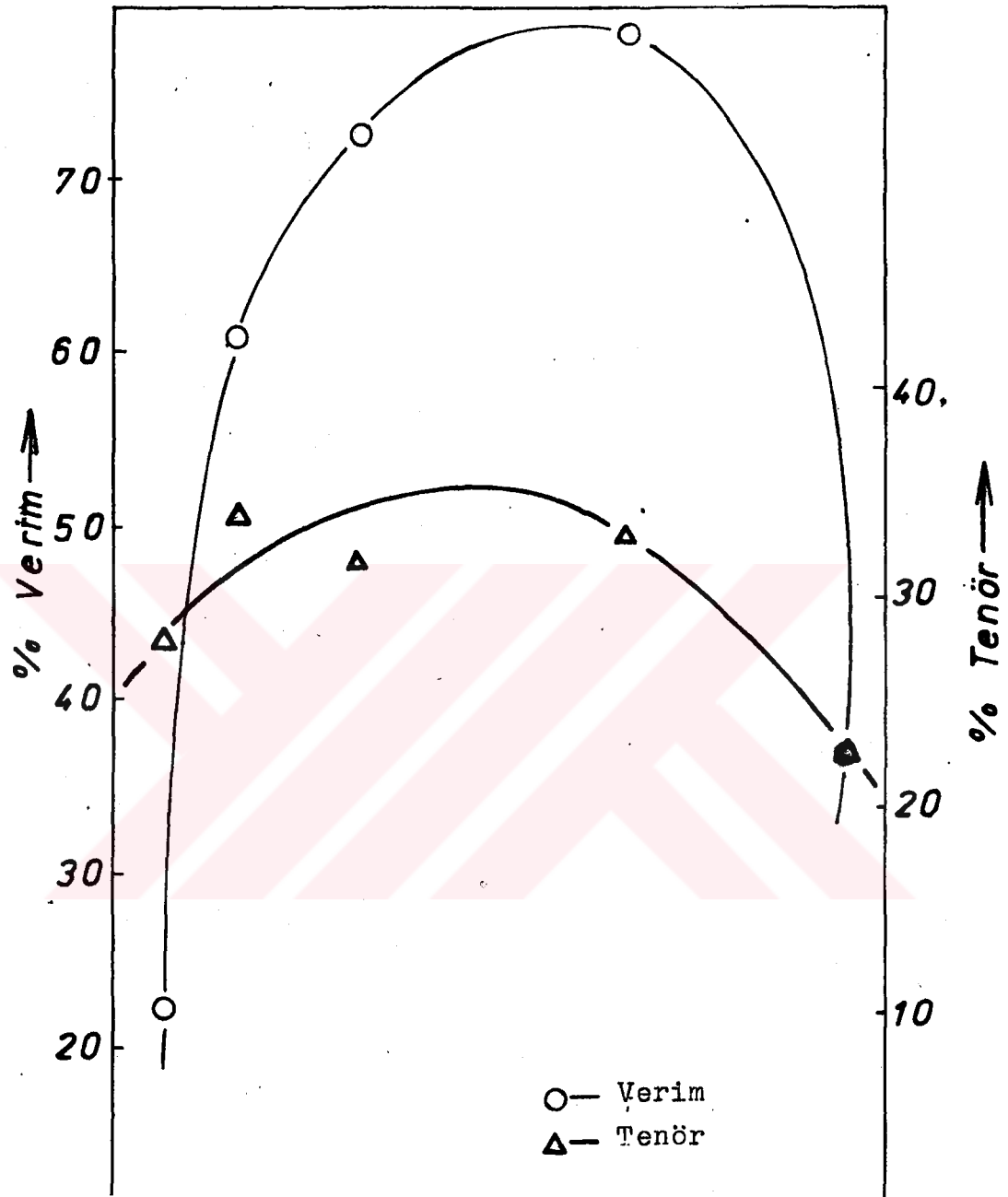
Bu deneylerde pH: 10 alınarak Oleik Asit miktarı kademeli olarak artırılmıştır.

pH: 10

Toplayıcı: Oleik Asit

Çizelge 4.18. Aleik Asidin kademeli olarak verilmesinin flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

KIVAM SÜRESİ (dk)	FLOTASYON SÜRESİ (dk)	OLEİK ASİT MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK TENÖR DAĞILIM			
				Gr	%	(%) B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%) B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
7	4	11.4	Konsantre	100	20	28.27	22.5
5	3	7.6					
4	2	3.8	Atık	1490	80	24.35	77.5
7	4	15.2	Konsantre	225	45	34.34	61.5
5	3	7.6					
4	2	3.8	Atık	275	55	17.61	38.5
7	4	15.2	Konsantre	290	58	31.57	72.8
5	3	11.4					
4	2	7.6	Atık	210	42	16.26	27.2
7	4	22.8	Konsantre	300	60	32.88	78.5
5	3	15.2					





Çizelge 4.18. ve Sekil 4.3. de görüldüğü gibi Oleik asidin kademeli olarak artırılmasıyla olumlu bir sonuç elde edilememiştir.

**4.7.4.4. Kullanılan Reaktiflerin miktarlarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler**

Deneylerde tüm flotasyon şartları sabit tutularak reaktif miktarları artırılmıştır.

Oleik Asit miktarının flotasyona etkisini incelemek için yapılan deneyler:

pH: 9.5

Toplayıcı: Oleik Asit

Kıvam süresi: 5 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.19. Oleik Asit miktarının etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

OLEİK ASİT MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %		DAĞILIM %	
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
7.6	Konsantre	48	9.6	29.76	11.4		
	Atık	452	90.4	24.65	88.6		
15.2	Konsantre	98	19.6	29.91	23.3		
	Atık	402	80.4	23.97	76.7		
22.8	Konsantre	117	23.4	29.64	27.6		
	Atık	383	76.6	23.76	72.4		
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0		

Oleik Asit miktarındaki artışa göre verimin artmasına karşın tenörün düştüğü Şekil 4.4. de görülmektedir.

R.801 Miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneyler:

pH: 10

Toplayıcı: R.801

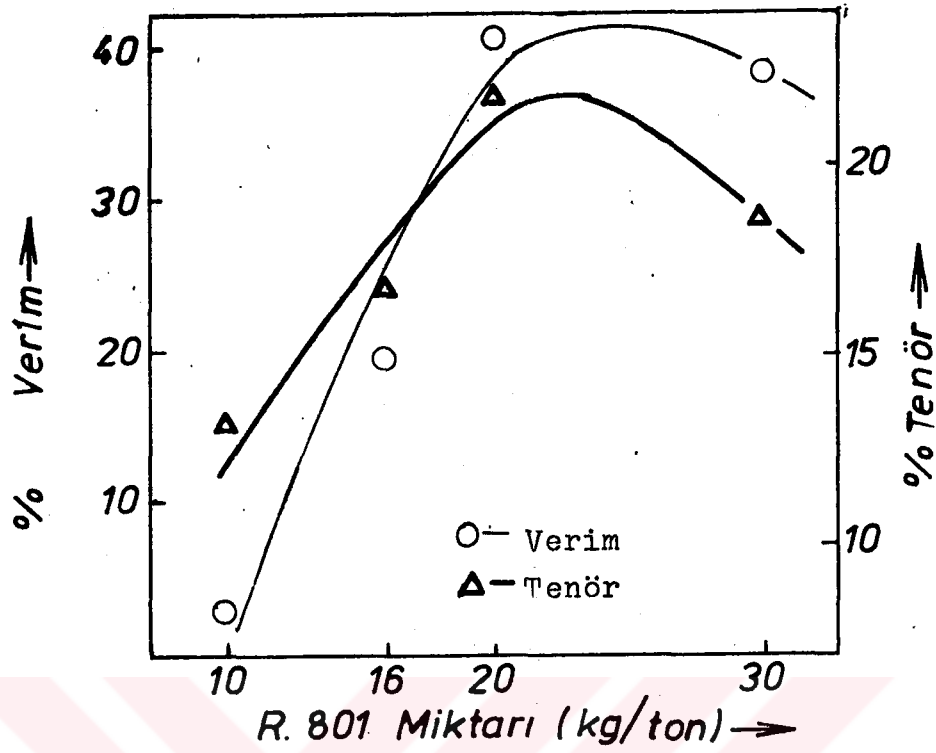
Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

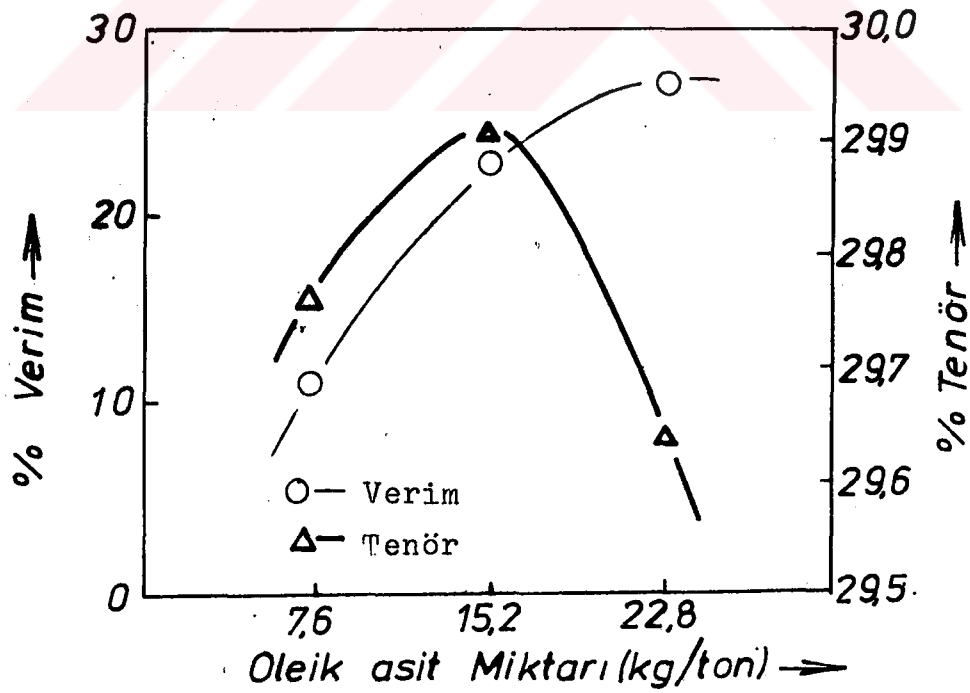
Çizelge 4.20. R.801 Miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

R.801 MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK Ggr	%	TENÖR % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DAĞILIM % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
10	Konsantre	30	6	13.30	3.2
	Atık	470	94	25.89	96.8
16	Konsantre	150	30	16.77	20.0
	Atık	450	70	28.72	80.0
20	Konsantre	240	48	21.91	41.8
	Atık	260	52	28.12	58.2
30	Konsantre	260	52	18.94	39.2
	Atık	240	48	31.85	60.8
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

Şekil 4.5. de de görüldüğü gibi verimle tenör birbirlerine göre yaklaşık olarak aynı değişimi izlemektedirler.



Sekil 4.5. Konsantre tenör ve verimin R.801 miktarına göre değişimi



Sekil 4.4. Konsantre tenör ve verimin Oleik Asit miktarına göre değişimi

R.825 Miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneyler:

pH: 10

Toplayıcı: R.825

Kıvam süresi: 10 dakika

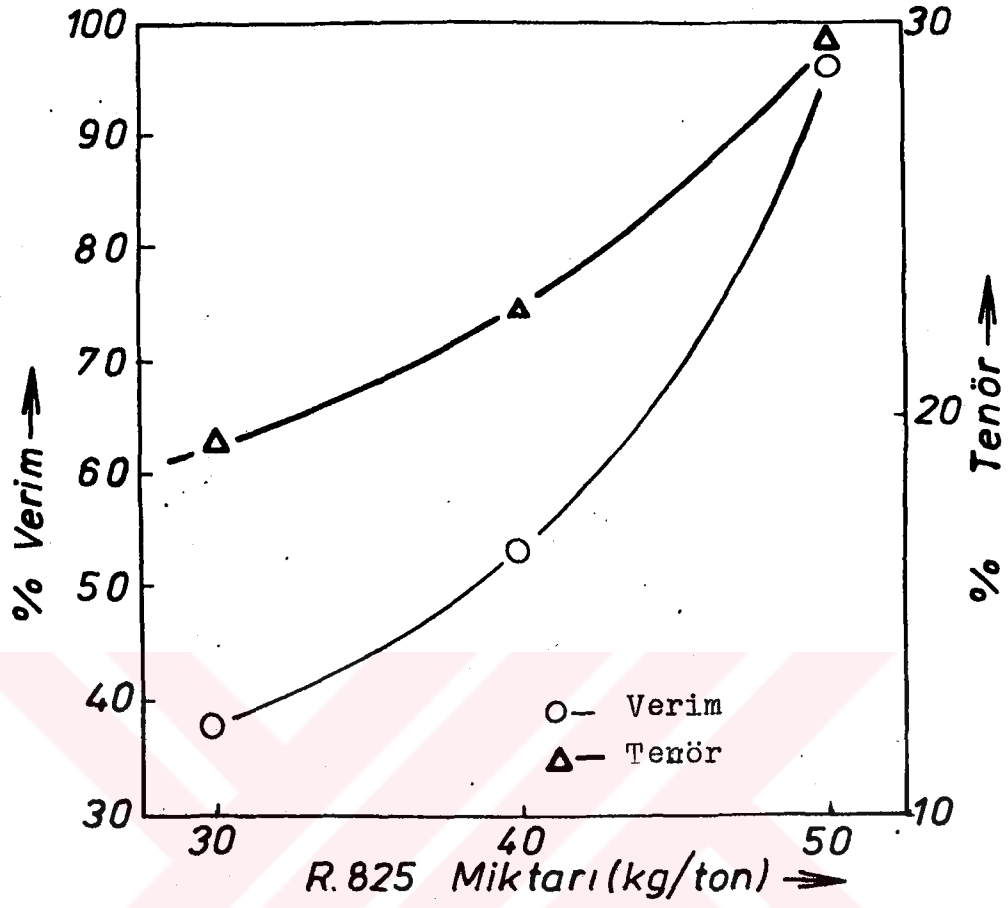
Flotasyon süresi: 5 dakika

Çizelge 4.21. R.825 Miktarının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

R.825 MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR%	DAĞILIM %
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
30	Konsantre	255	51	18.85	38.2
	Atık	245	49	31.68	61.8
40	Konsantre	295	59	22.93	53.8
	Atık	205	41	28.32	46.2
50	Konsantre	440	88	29.49	96.8
	Atık	60	12	6.76	3.2
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

Şekil 4.6. da da verim ve tenör hemen hemen aynı değişimi göstermektedirler.

Yapılan bu deneylerden şlam kaplama nedeni ile olumlu bir sonuç elde edilememiştir.



Şekil 4.6. Konsantre tenör ve verimin R.825 miktarına göre değişimi

**4.7.4.5. Şlamanın flotasyon deneylerine olan etkisini incelemek için yapılan deneyler**

Cevher içerisinde bulunan kilin şlam etkisi oluşturarak flotasyona engel olduğu yapılan deneylerde görülmüştür. Cevher içerisindeki kilin suda dağılması ile oluşan şlamanın kolemanit mineralinin yüzeyini kaplaması ile flotasyonu önlediği ve fazla miktarda reaktif harcanmasına neden olduğu görülmüş tür. Bu engellerin ortadan kaldırılması için 0.212 mm'nin altına indirilmiş olan cevher 0.038 mm'lik elekten elenerek şlam uzaklaştırılmıştır. Böylece flotasyon öncesi bir zenginleştirme gerçekleştirildiği gibi şlamanın engelleyici etkisi de ortadan kalkacaktır.

Oleik Asit miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler:

pH: 9.5

Toplayıcı: Oleik Asit

Kıvam süresi: 7 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.22. Oleik Asit miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları

OLEİK ASİT MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK Gr	%	TENÖP % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DAĞILIM % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
15.2	Konsantre	175	35.0	41.59	58.0
	Şlam	240	48.0	11.41	21.7
	Atık	85	17.0	30.05	20.3
19	Konsantre	197	39.4	41.35	64.8
	Şlam	245	49.0	11.68	22.8
	Atık	58	11.6	26.94	12.4
22.8	Konsantre	195	39.0	44.14	68.5
	Şlam	240	48.0	10.50	20.0
	Atık	65	13.0	22.18	11.5
30.4	Konsantre	205	41.0	40.93	66.8
	Şlam	240	48.0	10.35	19.7
	Atık	55	11.0	30.82	13.5
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

R.801 Miktarının Flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler:

pH: 10

Toplayıcı: R.801

Kıvam süresi: 10 dakika

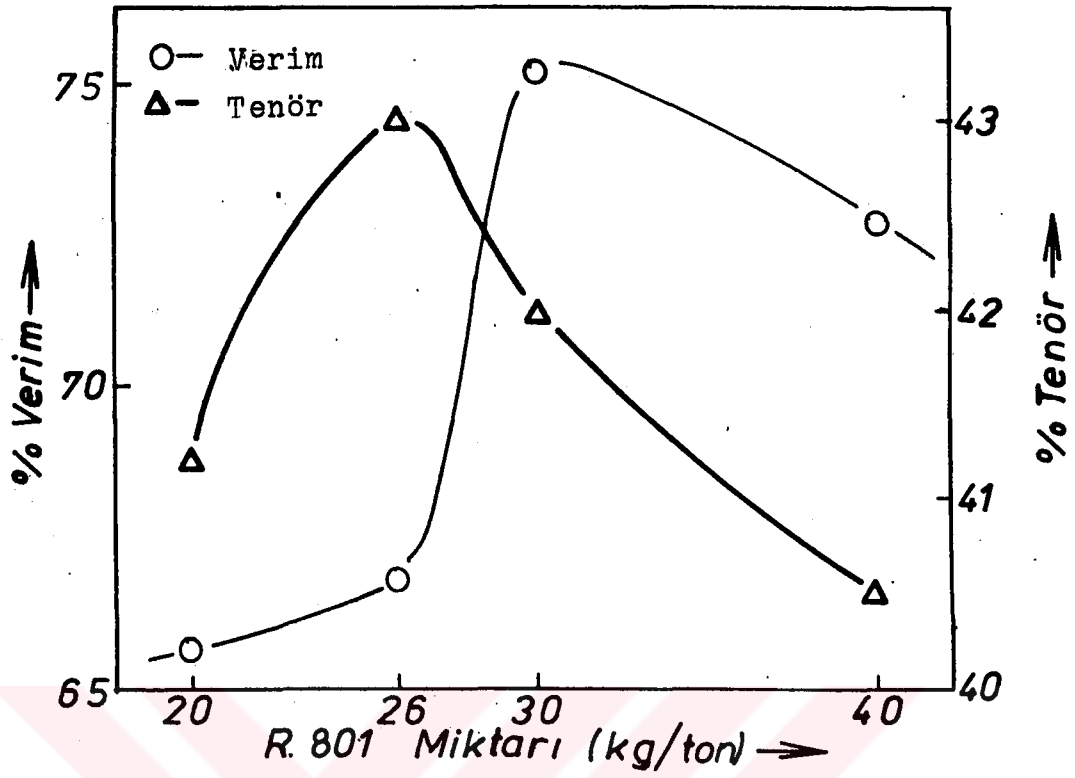
Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.23. R.801 Miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları

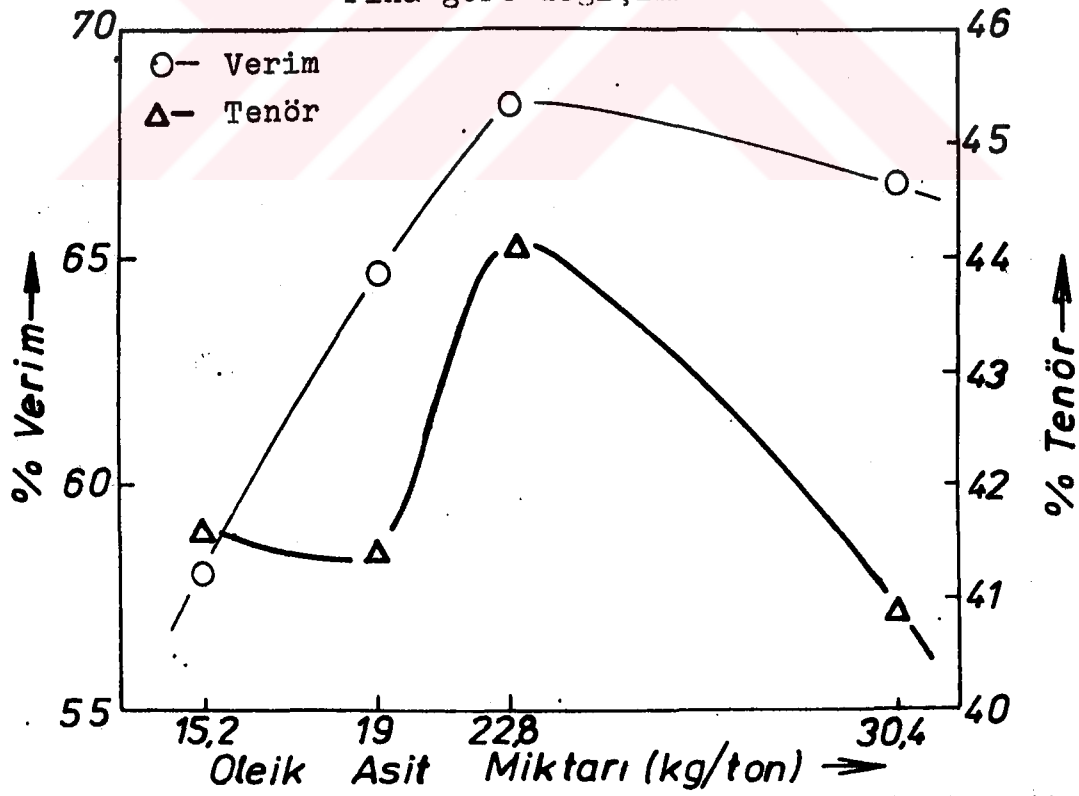
R.801 MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
20	Konsantre	200	40.0	41.24	65.6
	Slam	250	50.0	12.95	25.8
	Atık	50	10.0	21.69	8.6
26	Konsantre	195	39.0	43.03	66.8
	Slam	245	49.0	12.36	24.1
	Atık	60	12.0	19.16	9.1
30	Konsantre	225	45.0	42.05	75.3
	Slam	250	50.0	12.91	24.1
	Atık	25	5.0	2.91	0.6
40	Konsantre	227	45.4	40.52	73.2
	Slam	220	44.0	11.79	20.6
	Atık	53	10.6	14.68	6.2
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

Çizelge 4.23. ve şekil 4.8. de en iyi R. 801 miktarının 26-30 kg/ton arasında olduğu görülmektedir.





Şekil 4.8. Konsantre verim ve tenörün R.801 miktarına göre değişimi



Şekil 4.7. Konsantre verim ve tenörün Oleik asit miktarına göre değişimi

R.825 Miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler:

pH: 10

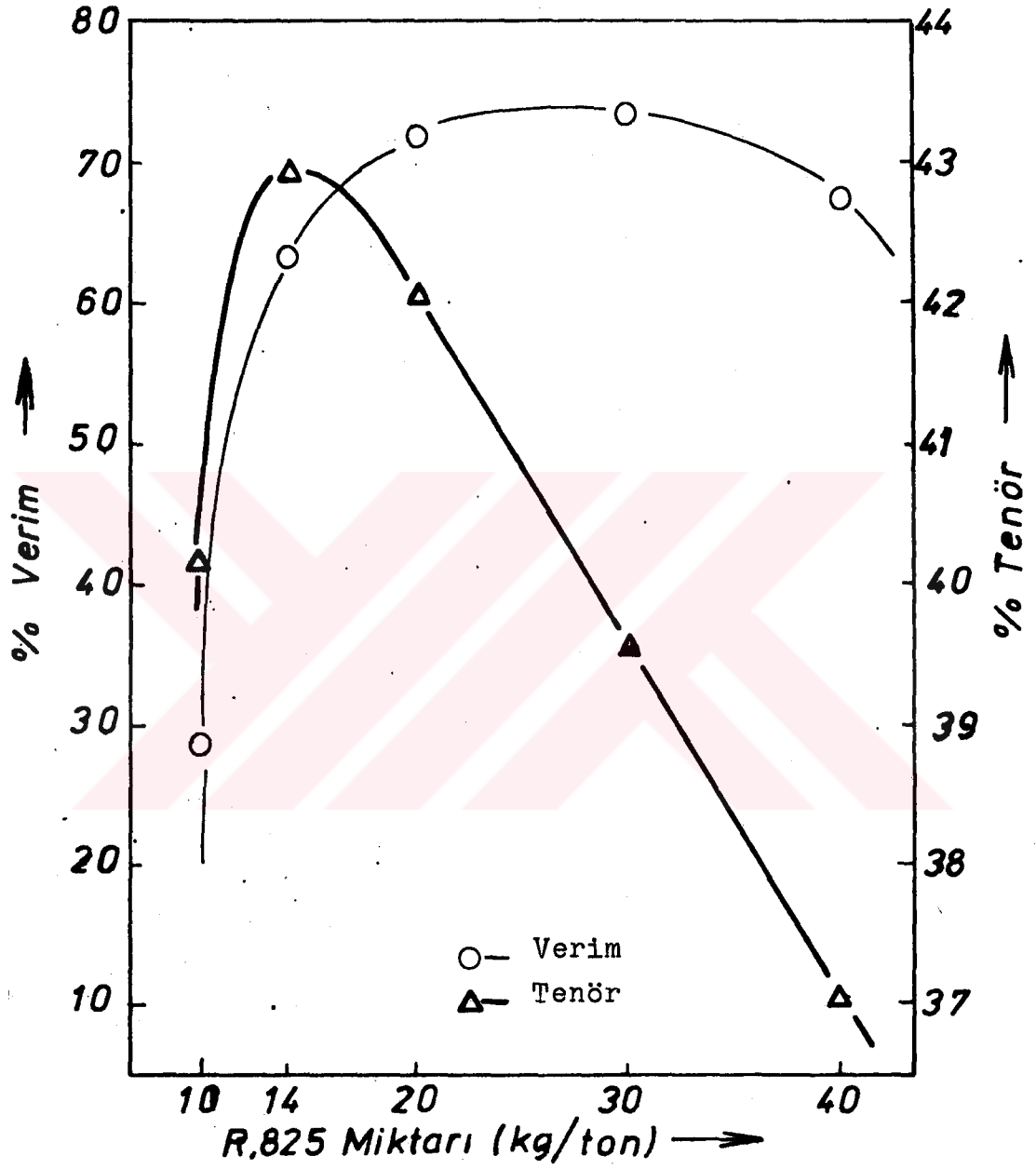
Toplayıcı: R.825

Kıvam süresi: 7 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.24. R.825 Miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları

R.825 MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR % R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DAĞILIM % R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Gr	%		
10	Konsantre	90	18.6	40.17	28.8
	Şlam	220	44.0	11.89	20.8
	Atık	190	38.0	33.36	50.4
14	Konsantre	185	37.0	42.94	63.2
	Şlam	240	48.0	11.03	21.1
	Atık	75	15.0	26.39	15.7
20	Konsantre	215	43.0	42.07	72.0
	Şlam	230	46.0	11.58	21.2
	Atık	55	11.0	15.66	6.8
30	Konsantre	232	46.4	39.54	73.0
	Şlam	240	48.0	12.58	24.0
	Atık	28	5.6	13.48	3.0



Şekil 4.9. Konsantre tenör ve verimin R.825 miktarına göre değişimi

R.801 Miktarının sabit tutulup R.825 miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler:

pH: 9

Toplayıcı: R.801

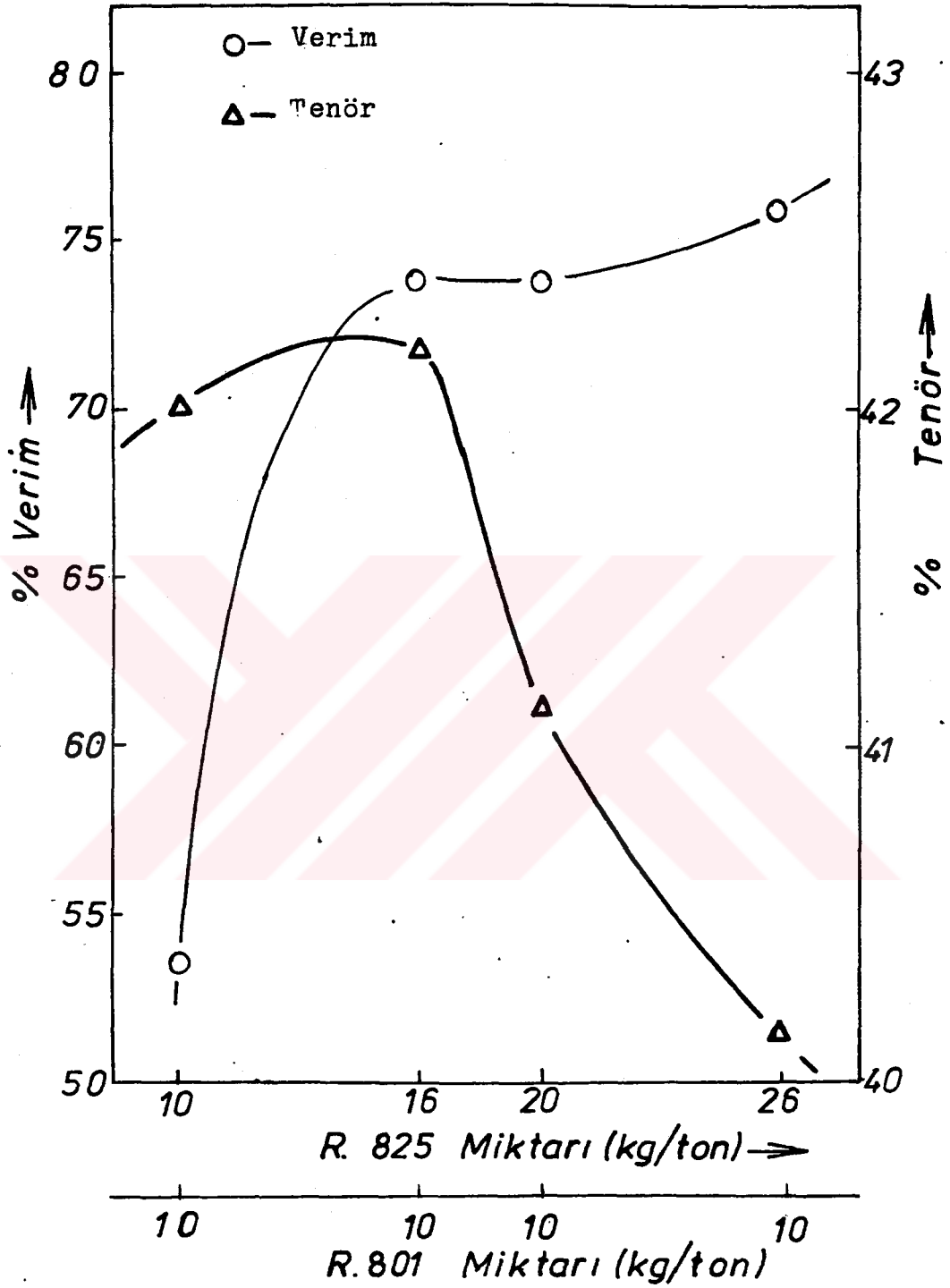
Toplayıcı: R.825

Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.25. R.801 miktarının sabit tutulup, R.825 miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkilerinin incelendiği deney sonuçları

R.801 MİKTARI (kg/ton)	R.825 MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
			Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
10	10	Konsantre	180	32.0	42.05	53.5
		Şlam	235	47.0	12.45	23.3
		Atık	105	21.0	27.76	23.2
10	16	Konsantre	220	44.0	42.17	73.8
		Şlam	235	47.0	11.86	22.2
		Atık	45	9.0	11.21	4.0
10	20	Konsantre	226	45.2	41.10	73.9
		Şlam	240	48.0	13.21	25.2
		Atık	34	6.8	3.24	0.9
10	26	Konsantre	237	47.4	40.15	75.7
		Şlam	240	48.0	12.48	23.8
		Atık	23	4.6	2.55	0.5
GİPİS			500	100.0	25.14	100.0



Sekil 4.10. R.825 miktarındaki artmanın konsantre tenör ve verimine göre değişimi

R.825 miktarının sabit tutulup, R.801 miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler:

pH: 9

Toplayıcı: R.825

Toplayıcı: R.801

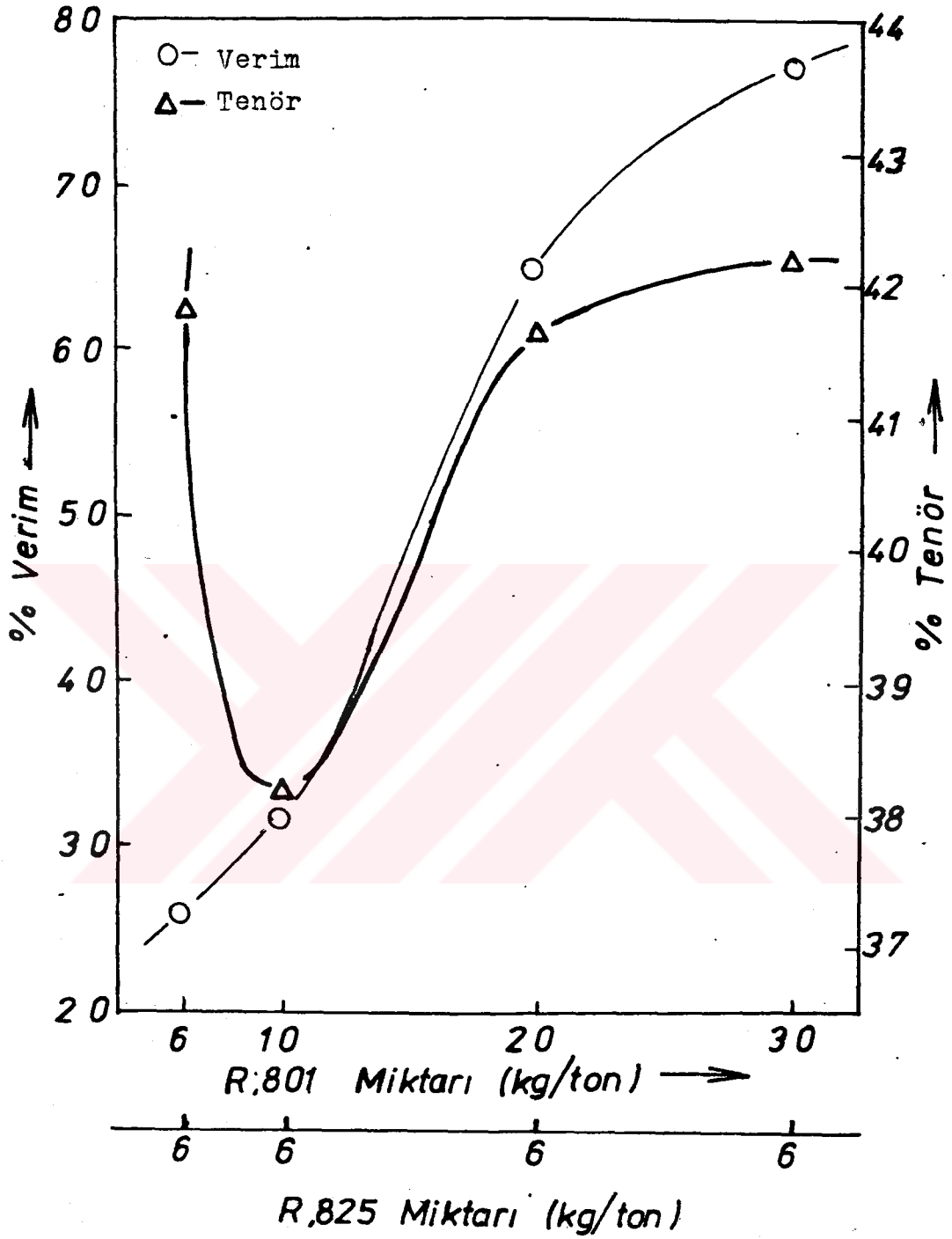
Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

\* Cizelge 4.26. R.825 miktarının sabit tutulup, R.801 miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deney sonuçları

R.825 MİKTARI (kg/ton)	R.801 MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
			Gr	%	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6	6	Konsantre	80	16	41.81	26.6
		Slam	245	49	11.80	23.0
		Atık	175	35	36.19	50.4
6	10	Konsantre	105	21	38.16	31.9
		Slam	230	46	12.20	22.3
		Atık	165	33	34.89	45.8
6	20	Konsantre	195	39	41.61	64.5
		Slam	230	46	12.55	23.0
		Atık	75	15	20.92	12.5
6	30	Konsantre	230	46	42.18	77.2
		Slam	225	45	11.00	19.7
		Atık	45	9	8.76	3.1
GİRİŞ			500	100	25.14	100.0

En iyi miktarın 6 kg/ton R.825 ve 30 kg/ton R.801 olduğu Cizelge 4.26 ve Şekil 4.11 de görülmektedir.



Şekil 4.11. R.801 miktarındaki artışın konsantre tenör ve verimine göre değişimi

R.825 Miktarının sabit tutulup Oleik Asit miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneyler:

pH: 10

Toplayıcı: P.825

Toplayıcı: Oleik Asit

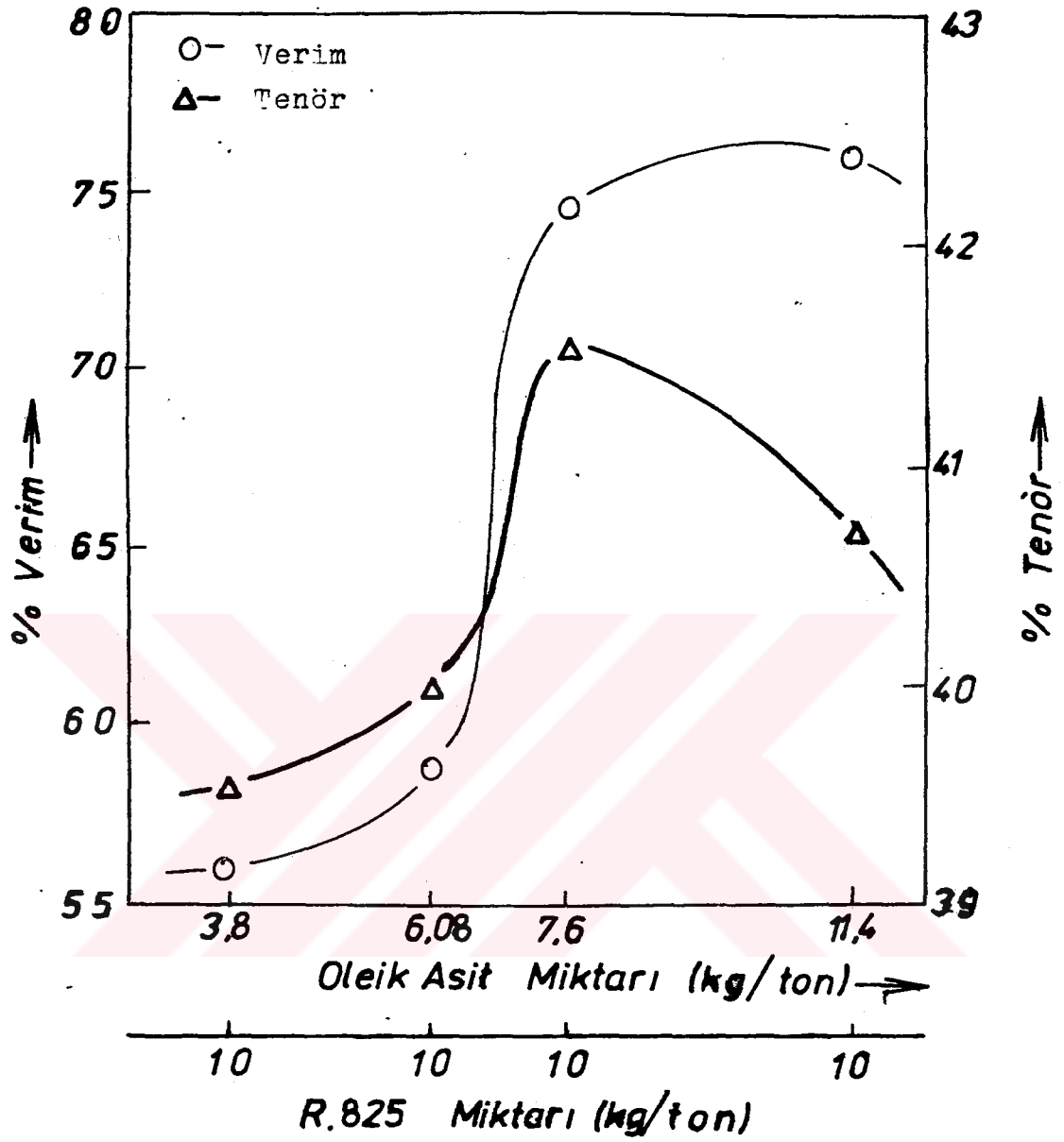
Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 3 dakika

Şizelge 4.27. R.825 Miktarının sabit tutulup, Oleik Asit miktarının artırılmasıyla oluşan karışım miktarının flotasyona olan etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları

R.825 MİKTARI (kg/ton)	OLEİK ASİT MİKTARI (kg/ton)	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
			Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
10	3.8	Konsantre	178	35.6	39.52	56.0
		Slam	237	47.4	12.72	24.0
		Atık	85	17.0	29.64	20.0
10	6.08	Konsantre	185	37.0	40.03	58.9
		Slam	235	47.0	12.17	22.8
		Atık	80	16.0	28.78	18.3
10	7.6	Konsantre	226	45.2	41.5	74.6
		Slam	236	47.2	12.51	23.5
		Atık	38	7.6	6.27	1.9
10	11.4	Konsantre	235	47.0	40.66	76.0
		Slam	235	47.0	12.33	23.1
		Atık	30	6.0	3.89	0.9
GİRİŞ			500	100.0	25.14	100.0





Sekil 4.12. Oleik asit miktarındaki artımın konsantre tenör ve verimine göre değişimi

4.7.4.6. pH değerinin flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneyler

Daha önce yapılan deneylerdeki en iyi flotasyon şartları alınarak, bu şartlar sabit tutulmuş ve deneyler değişik pH' larda yapılmıştır.

Değişik pH'larda Oleik Asit kullanılarak yapılan deneyler

pH: 8-10.5

Toplayıcı: Oleik Asit 22.8 kg/ton

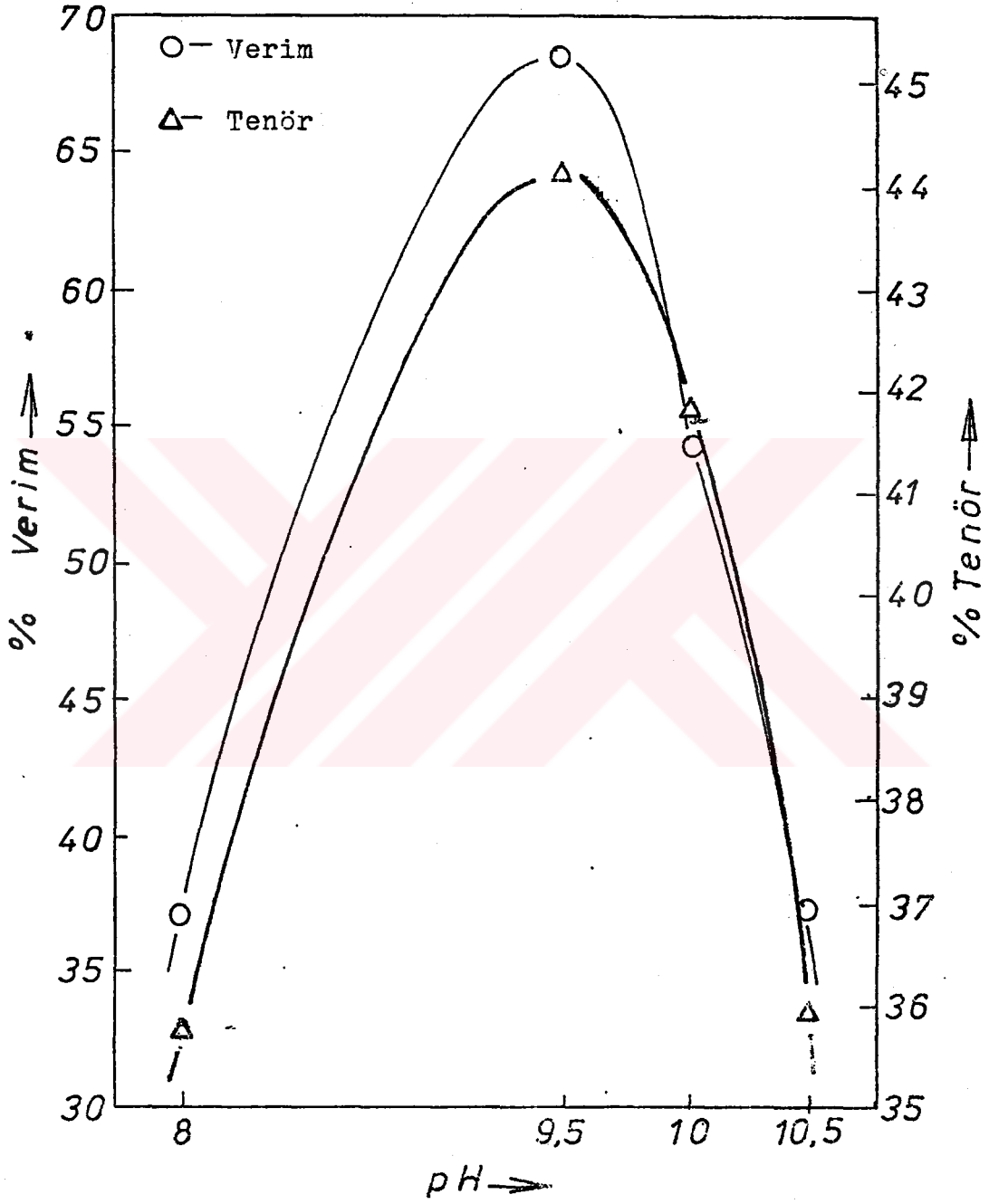
Kıvam süresi: 7 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.28. Değişik pH'larda Oleik Asitin flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

pH	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DAĞILIM % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Gr	%		
8	Konsantre	130	26.0	35.71	36.9
	Şlam	240	48.0	12.19	23.5
	Atık	130	26.0	38.46	39.8
9.5	Konsantre	195	39.0	44.14	68.5
	Şlam	240	48.0	10.50	20.0
	Atık	65	13.0	22.18	11.5
10	Konsantre	163	32.6	41.80	54.2
	Şlam	234	46.8	11.79	22.0
	Atık	103	20.6	29.10	23.8
10.5	Konsantre	130	26.0	35.92	37.2
	Şlam	234	46.8	11.36	21.1
	Atık	136	27.2	38.54	41.7
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

Çizelge 4.28 ve Şekil 4.13 de görüldüğü gibi pH değişimine göre verim ve tenör eğrileri aynı değişimi göstermekte, pH: 9.5 da en yüksek değerlerine ulaşmaktadırlar.



Şekil 4.13. Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi

Değişik pH'larda P.801 kullanılarak yapılan deneyler:

pH : 8-10.5

Toplayıcı: P.801 26 kg/ton

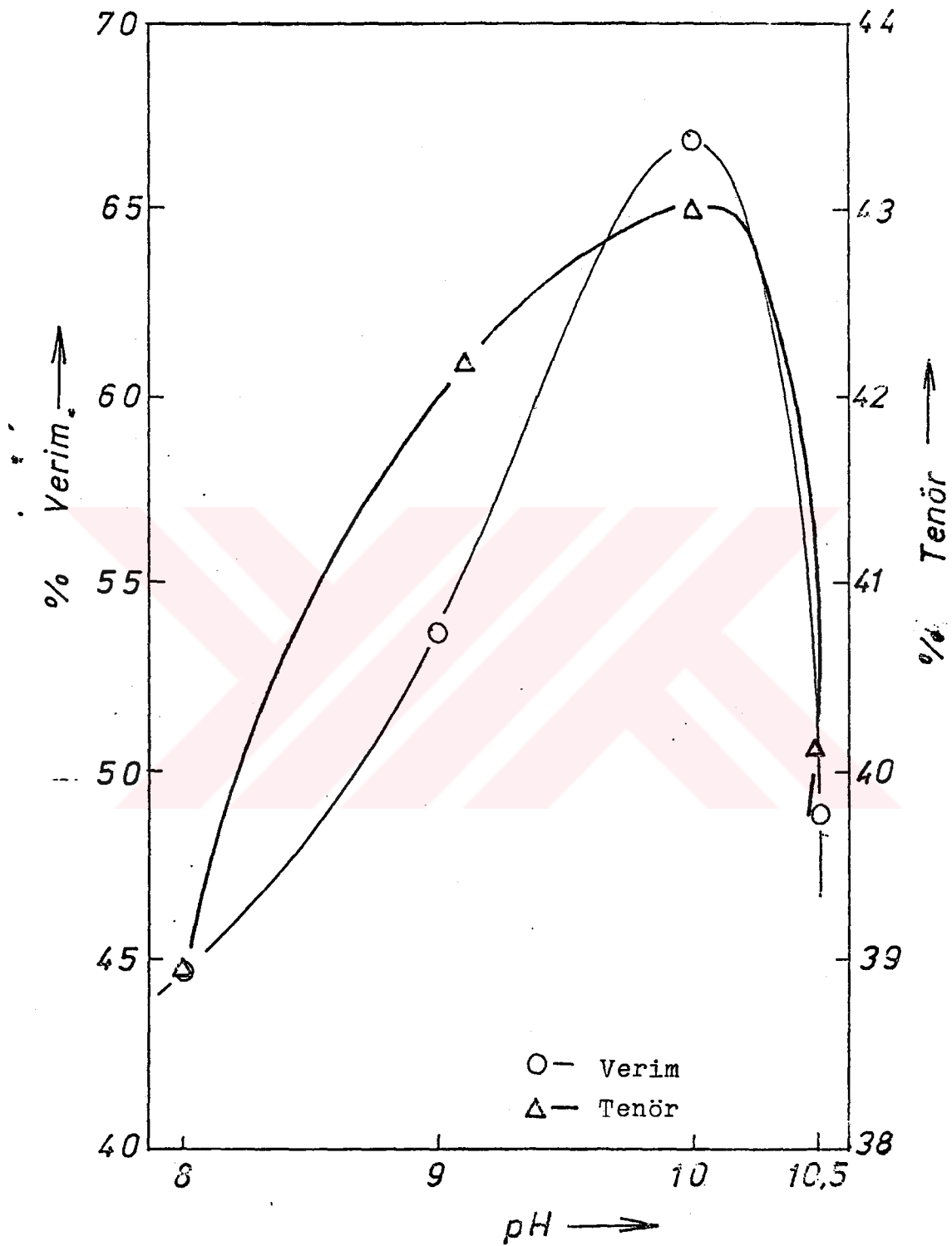
Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Cizelge 4.29. Değişik pH'larda, kullanılan P.801'in flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

pH	ÜRÜNLER	AĞIRLIK Gr	%	TEMÜR % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DAĞILIM % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8	Konsantre	145	29.0	38.93	44.9
	Slam	240	48.0	12.94	24.7
	Atık	115	23.0	33.20	30.4
9	Konsantre	160	32.0	42.20	53.7
	Slam	235	47.0	11.24	21.0
	Atık	105	21.0	30.26	25.3
10	Konsantre	195	39.0	43.03	66.8
	Slam	245	49.0	12.36	24.1
	Atık	60	12.0	19.16	9.1
10.5	Konsantre	153	30.6	40.17	48.9
	Slam	235	47.0	11.01	20.6
	Atık	112	22.4	34.26	30.5
	GİPİS	500	100.0	25.14	100.0

Cizelge 4.29 ve Şekil 4.14 de görüldüğü gibi pH: 10 da en iyi sonuç elde edilmiştir.



Sekil 4.14. Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi

Değişik pH'larda P.825 kullanılarak yapılan deneyler:

pH: 8-10.5

Toplayıcı: P.825 20 kg/ton

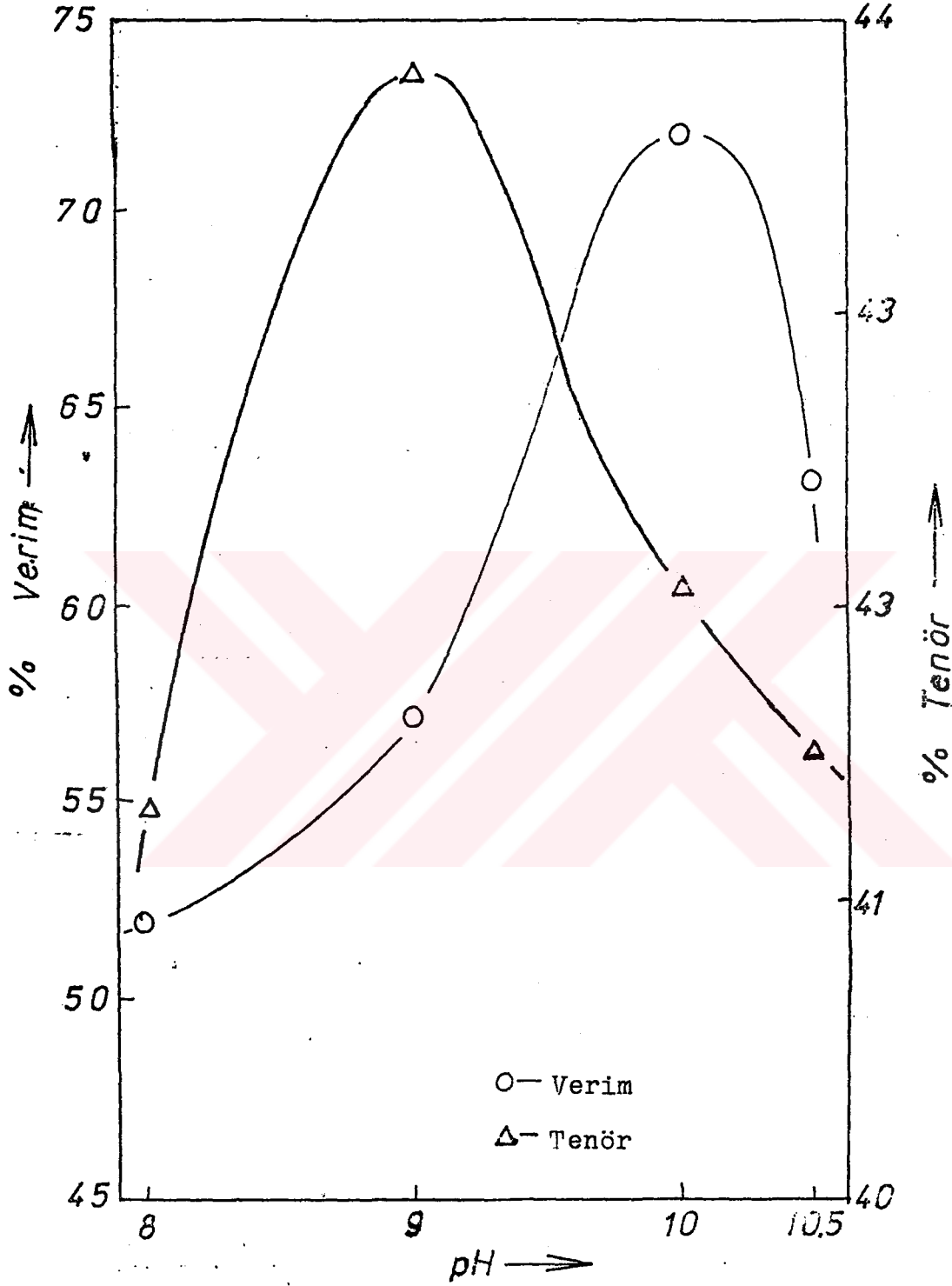
Kivam süresi: 7 dakika

Flotasyon süresi: 4 dakika

Şizelge 4.30. Değişik pH'larda, kullanılan P.825'in flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

pH	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8	Konsantre	158	31.6	41.36	52.0
	Slam	232	46.4	11.96	22.1
	Atık	110	22.0	29.63	25.9
9	Konsantre	165	33.0	43.84	57.6
	Slam	235	47.0	11.52	21.5
	Atık	100	20.0	26.30	20.9
10	Konsantre	215	43.0	42.07	72.0
	Slam	230	46.0	11.58	21.2
	Atık	55	11.0	15.66	6.8
10.5	Konsantre	192	38.4	41.50	63.4
	Slam	235	47.0	11.07	20.7
	Atık	73	14.6	27.40	15.9
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

En uygun pH değerinin pH: 9-10 arasında olduğu Şizelge 4.15'de görülmektedir.



Sekil 4.15. Konsantre tenör ve verimin pH'ya göre değişimi

Değişik pH'larda P.801 ve P.825 karışımı kullanılarak yapılan deneyler:

pH: 8-10.5

Toplayıcı: P.801 10 kg/ton

Toplayıcı: P.825 16 kg/ton

Kıvam süresi: 10 dakika

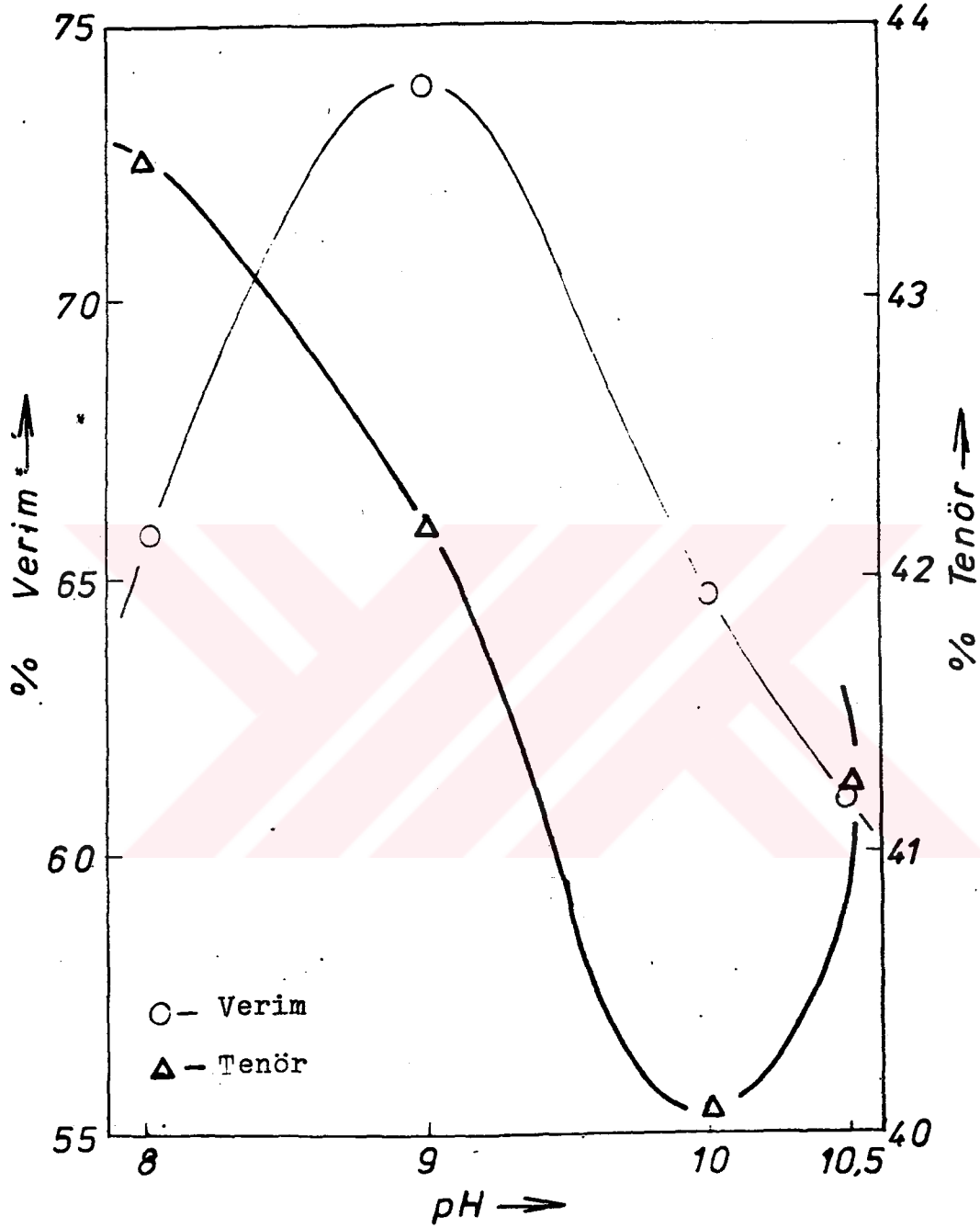
Flotasyon süresi: 4 dakika

Çizelge 4.31. Değişik pH'larda, kullanılan P.801 ve P.825 karışımının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

pH	HÜRELER	AĞIRLIK		TENÖR %	DAĞILIM %
		Gr	%	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8	Konsantre	190	38.0	43.50	65.8
	Slam	237	47.4	11.52	21.7
	Atık	73	14.6	21.56	12.5
9	Konsantre	220	44.0	42.17	73.8
	Slam	235	47.0	11.86	22.2
	Atık	45	9.0	11.21	4.0
10	Konsantre	200	40.0	40.73	64.8
	Slam	235	47.0	11.02	20.6
	Atık	65	13.0	28.22	14.6
10.5	Konsantre	186	37.2	41.25	61.0
	Slam	238	47.6	11.44	21.7
	Atık	76	15.2	28.60	17.3
	GİBİŞİ	500	100.0	25.14	100.0

En uygun pH değerinin pH: 8-9 arasında olduğu şekil 4.16'da görülmektedir.





Şekil 4.16. Konsantre tenör ve verimin pH'ya göre değişimi

Değişik pH'larda P.825 ve Oleik Asit karışımı kullanılarak yapılan deneyler:

pH: 8-10.5

Toplayıcı: P.825 10 kg/ton

Toplayıcı: Oleik Asit 7.6 kg/ton

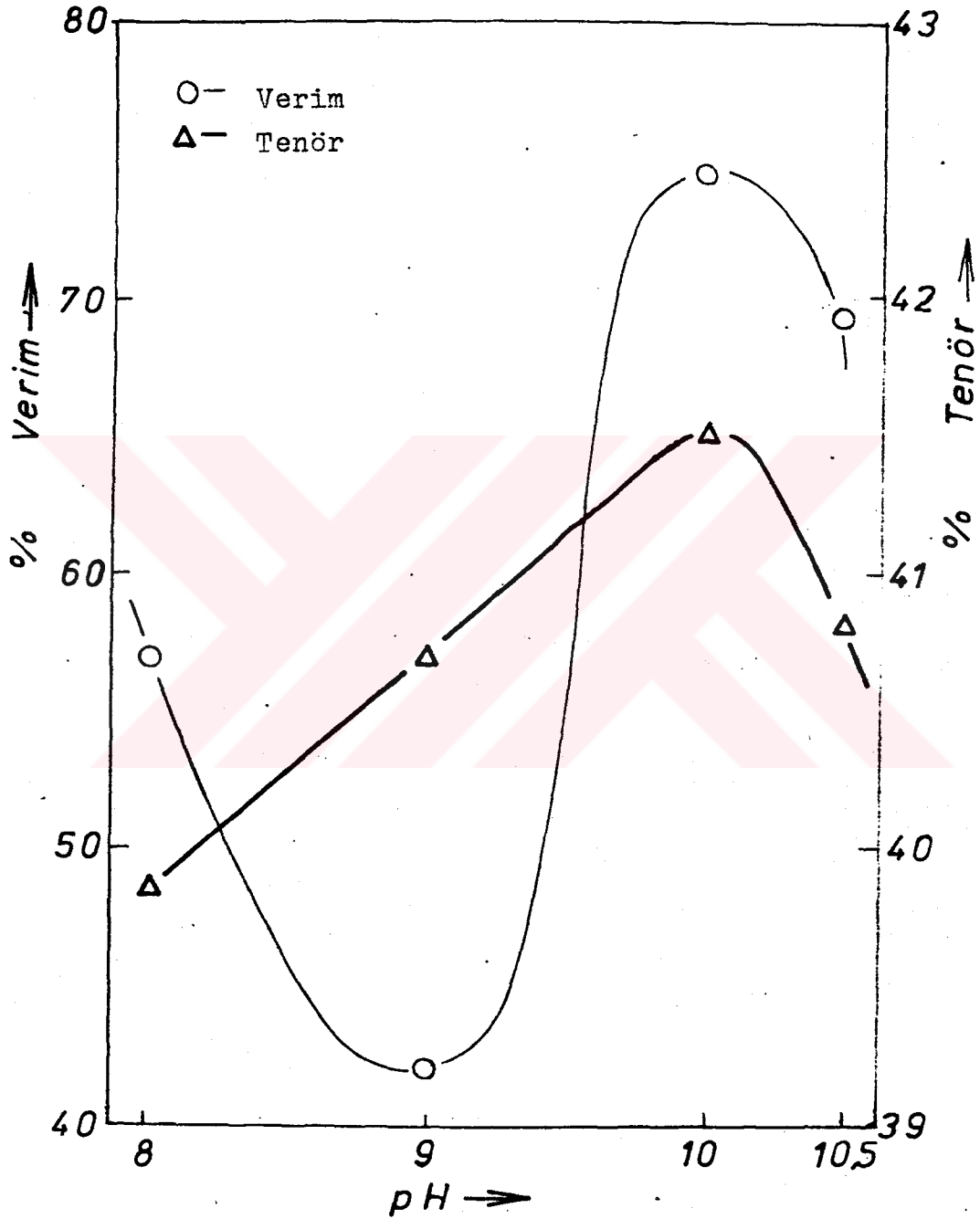
Kıvam süresi: 10 dakika

Flotasyon süresi: 3 dakika

Çizelge 4.32. Değişik pH'larda kullanılan P.825 ve Oleik asit karışımının flotasyona olan etkisini incelemek için yapılan deneylerin sonuçları

pH	ÜRÜNLER	AĞIRLIK		TENÖR % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	DAĞILIM % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		Gr	%		
8.5	Konsantre	180	36.0	39.86	57.1
	Şlam	230	46.0	11.01	20.2
	Atık	90	18.0	31.80	22.7
9	Konsantre	130	26.0	40.70	42.1
	Şlam	235	47.0	11.71	21.9
	Atık	135	27.0	33.53	36.0
10	Konsantre	226	45.2	41.50	74.6
	Şlam	236	47.2	12.51	23.5
	Atık	38	7.6	6.27	1.9
10.5	Konsantre	213	42.6	40.83	69.2
	Şlam	233	46.6	11.01	20.4
	Atık	54	10.8	24.20	10.4
	GİRİŞ	500	100.0	25.14	100.0

Çizelge 4.32 ve Şekil 4.17'de görüldüğü gibi en uygun pH: 10'dur.



Sekil 4.17. Konsantre tenör ve verimin pH'a göre değişimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1- Kestelek bor yıkama artıkları % 25.14  $B_2O_3$ , % 21.12 CaO, % 17.28  $SiO_2$ , % 6.07 MgO, % 5.68  $Fe_2O_3$  ve % 2.43  $Al_2O_3$  içermektedir.

2- Cevherdeki esas bor minerali kolemanittir. Bunun yanında çok az da üleksit bulunur. Gang minerali olarak, kil, mil, ince taneli kumtaşı, biotit ve klorit saptanmıştır.

3- Boyut gruplarına ayrılan örneğin, en iri ve en ince boyut grupları hariç tutularak elde edilen her boyut grubunun magnetik ayırıcıya verilmesiyle elde edilen ürünler, konsantre ve artık olarak, birleştirildiğinde % 94.8  $B_2O_3$  verimiyle % 41.76  $B_2O_3$  tenörlü bir konsantre ve % 5.2  $B_2O_3$  kayıpla % 3.02  $B_2O_3$  tenörlü bir artık elde edilmiştir.

Sadece eniri ve en ince boyut grupları hariç tutularak, elde edilen boyut grubunu magnetik ayırıcıya verilmesiyle % 91.8  $B_2O_3$  verimiyle % 38.40  $B_2O_3$  tenörlü bir konsantre ve % 8.2  $B_2O_3$  kayıpla % 5.18  $B_2O_3$  tenörlü bir artık elde edilmiştir.

4- Kolemanitin bastırılıp, gang minerallerinin yüzdürüldüğü flotasyon deneyleri olumlu sonuç vermemiştir. Bu yapılan deneylerden elde edilen en iyi sonuç; Armac T+ Armac C+ Armaflote reaktif karışımlarının kademeli olarak verilmesiyle % 37.38  $B_2O_3$  tenörlü konsantrenin % 69.9 verimiyle kazanılmasıdır.

5- Kolemanitin yüzdürüldüğü flotasyon deneylerinden de şlam kaplama nedeniyle olumlu bir sonuç elde edilememiştir. Fakat şlamın uzaklaştırılmasından sonra yapılan deneylerden

olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan deneylerden en iyi sonuç aşağıdaki şartlarda alınmıştır.

Parça boyu:  $-0.212 \pm 0.038$  mm

pH: 9.5

Toplayıcı: Oleik asit 22.8 kg/ton

Bu durumda 68.5  $B_2O_3$  verimiyle % 44.14  $B_2O_3$  tenörlü bir konsantre elde edilmektedir.

6- Yapılan flotasyon deneyleriyle magnetik ayırma yöntemine göre daha yüksek tenörlü kolemanit konsantreleri elde edilmiştir. Ancak flotasyon deneylerinin yapılabilmesi için cevherin 0.212 mm'nin altına ufalanması zorunluluğu ve fazla miktarlarda reaktif harcanması sözkonusudur. Bu durumda bu yöntemin ekonomik olup olmayacağı tartışılabilir.

Bunun yanında, magnetik ayırma yönteminin uygulanması ile satılabilir kolemanit konsantresi oldukça yüksek bir verimle elde edilmiştir. Kullanılan ayırıcının Sürekli Magnetik Ayırıcı olması, enerji girdisi değerinin düşük olması bu yöntemin flotasyon ve diğer yöntemlere göre başarı ile uygulanabileceğini gündeme getirmektedir.

Bor tesislerinden çıkan artıklar çevre kirlenmesi ve çevre sağlığı açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Bu artıkların değerlendirilmesiyle hem bu sorun ortadan kaldırılacak hem de ekonomik bir kazanç sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Atak, S., 1974, Flotasyon ilkeleri ve uygulaması, İ.T.Ü., İstanbul.
- Aytekin, Y. ve Polat, M., 1987, Bor madenciliği ve Türkiye için önemi, Etibank bülteni, Sayı:96-97, Ankara.
- Aytekin, Y., Lübic, C. ve Vamık, A., 1988, Kırka tımkal cevherinin flotasyonla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması, 2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir.
- Bekişoğlu, A.K., 1961, Türkiye'de bor yatakları ve bunların arzettiği ehemmiyet, M.T.A., Rapor no: 3400, Ankara.
- D.İ.Enstitüsü, 1980-1986, Maden İstatistikleri Yıllıkları, Ankara.
- Etibank, 1983, Bor, Etibank Yayınları, No:107, Ankara.
- Gül, A., Etibank Bigadiç bölgesi kolemanit tesisi artıklarının değerlendirilmesi, İ.T.Ü., İstanbul.
- Gündüz, T., 1975, Kantitatif analiz laboratuvar kitabı, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi yayınlarından, Ankara.
- Helvacı, C., 1983, Türkiye borat yataklarının minerolojisi, Jeoloji Mühendisliği, Ankara.
- İnan, K. ve Tanyolu, E., 1982, Mineroloji, Cilt 2, İstanbul.
- İpekoğlu, Ü. ve Polat, M., 1987, Bor Endüstrisine genel bakış, Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını Ankara.
- İzdar, E. ve Köktürk, U., 1975, Türkiye'de borat yataklarının jeolojisi ve yeni saha potansiyelleri ile ilgili bazı görüşler, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Kaymaz, Y., Önal, G. ve Güney, A., 1986, Bigadiç kolemanit artıklarının değerlendirilmesi, 1. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir.
- Lyday, P.A., 1985, Boron, Mineral Fact and Problems.

- M.T.A. Enstitüsü Yayınlarından, 1982, Bor mineralleri-10, Dünyüda ve Türkiye'de metal ve mineral kaynaklarının potansiyeli, ticareti, beklenen gelişmeleri, No:187, Ankara.
- Oran, R., 1984, Fmet kolemanit yıkama tesisi artıkları ve düşük tenörlü kolemanit cevherinin "Kalsinasyon" yöntemi ile zenginleştirilmesi, Etibank bülteni, Sayı:66, Ankara.
- Önal, G., 1985, Cevher hazırlamada flotasyon dışındaki zenginleştirme deneyleri, İ.T.Ü., İstanbul,
- Özdağ, H., Bozkurt, R. ve Uçar, A., 1988, Kestelek bor yıkama artıklarından borun kazanılması, 2. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, İzmir.
- Özpeker, I., 1969, Batı Anadolu borat yataklarının mukayeseli jenetik etüdü, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Maden Fakültesi, İstanbul.
- Özpeker, I., 1973, Borun kullanımı, tüketimi ve ulusal gelire katkı olağışı, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 3. Kongresi, M.M.O. Yayınları, Ankara.
- Polat, O. ve Ersoy, H., 1976, Türkiye bor mineralleri envanteri, M.T.A. Enstitüsü Yayınlarından, No:162, Ankara.
- Polat, O., 1986, Türkiye'de ve Dünya'da bor ve bor teknolojisi uygulamalarının araştırılması, D.E. Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- TBTAK-MAG, 1985, Bor, İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara.
- Yarar, B., 1971, Kolemanit mineralinin flotasyon yolu ile değerlendirilmesi, TBTAK, Proje no:228, Ankara.
- Yarar, B., 1973, Düşük tenörlü kolemanit cevherinin flotasyon yoluyla zenginleştirilmesi, Türkiye Madencilik ve Bilimsel Teknik 3. Kongresi, Ankara.