

T.C.
OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLEMANİT – REALGAR MİNERALLERİNİN
YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE FLOTASYON YÖNTEMİ
İLE ARSENİĞİN KOLEMANİTTEN AYRILMASI

MEHMET SAVAŞ
DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. SABİHA KOCA

ESKİŞEHİR – 2000

**KOLEMANİT - REALGAR MİNERALLERİNİN
YÜZEY ÖZELLİKLERİ
VE
FLOTASYON YÖNTEMİ İLE ARSENİĞİN
KOLEMANİTTEN AYRILMASI**

MEHMET SAVAŞ

DOKTORA TEZİ

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
CEVHER HAZIRLAMA BİLİM DALI
EYLÜL 2000**

**SURFACE PROPERTIES OF COLEMANITE
REALGAR AND SEPARATION OF ARSENIC
FROM COLEMANITE BY FLOTATION**

MEHMET SAVAŞ

PhD THESIS

**MINING ENGINEERING
MINERAL PROCESSING
SEPTEMBER 2000**

KOLEMANİT - REALGAR MİNERALLERİNİN YÜZEY ÖZELLİKLERİ VE
FLOTASYON YÖNTEMİ İLE ARSENİĞİN KOLEMANİTTEN AYRILMASI

Mehmet SAVAŞ

Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.


Danışman: Doç. Dr. Sabiha KOCA


Eylül 2000



Mehmet SAVAŞ'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Kolemanit-Realgar Minerallerinin Yüzey Özellikleri ve Flotasyon Yöntemi ile Arseniğin Kolemanitten Ayrılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

..... / /

Üye: Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ 

Üye: Doç. Dr. Sabiha KOCA 

Üye: Doç. Dr. Nermin GENÇE 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 13. / 12. / 2000. gün ve 2000-1771 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. M. Selami KILIÇKAYA

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER - 1

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
SUMMARY	III
TEŞEKKÜR	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kolemanit	3
2.2. Realgar	7
2.3. Arayüzeylerde Elektriksel Özellikler, Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta Potansiyel	9
2.3.1. Stern elektriksel çift tabaka modeli	12
2.3.2. Sıfır yük noktası, zeta potansiyeli (elektrokinetik potansiyeli) ve zeta potansiyelin ölçülmesi	14
2.4. Infrared Spektroskopi	17
2.4.1. Infrared spektroskopi ölçümleri	20
2.5. Temas Açısı	21
2.5.1. Temas açısının ölçülmesi	23
2.6. Kolemanitin Zenginleştirilmesi	27
2.6.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme	28
2.6.2. Boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme	28
2.6.3. Mekanik dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme	28
2.6.4. Gravite yöntemi ile zenginleştirme	30
2.6.5. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme	31

İÇİNDEKİLER - 2

	<u>Sayfa</u>
2.6.6. Isıl işlemler ve boyuta göre ayırma ile zenginleştirme	32
2.6.7. Manyetik ayırma ile zenginleştirme	34
2.6.8. Ultrasonik hareket ile zenginleştirme	34
2.6.9. Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme	35
2.7. Realgarın Zenginleştirilmesi	36
2.7.1. Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme	37
2.7.2. Kalsinasyon yöntemi ile zenginleştirme	40
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
3.1. Malzeme ve Yöntem	41
3.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri	46
3.2.1. Kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline pH ın etkisi	47
3.2.2. Çeşitli iyonların kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline etkisi	48
3.2.3. Flotasyon reaktiflerinin, kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline etkisi	54
3.3. Infrared Spektroskopi Çalışmaları	61
3.3.1. Infrared spektroskopi çalışmalarının sonuçları	61
3.4. Temas Açısı Ölçümleri	69
3.4.1. Temas açısı çalışmalarının sonuçları	70
3.5. Flotasyon Çalışmaları	78
3.5.1. Saf kolemanit minerali ile yapılan deneyler	80
3.5.2. Saf realgar minerali ile yapılan deneyler	88
3.5.3. Yapay numuneler ile yapılan deneyler	96
3.5.4. Tüvenan cevher ile yapılan deneyler	100

İÇİNDEKİLER - 3

	<u>Sayfa</u>
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	104
4.1. Elektrokinetik Potansiyel Ölçümleri	104
4.2. Infrared Spektroskopi Çalışmaları	106
4.3. Temas Açısı Ölçümleri	109
4.4. Flotasyon Çalışmaları	110
ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR DİZİNİ	115
EKLER	123
ÖZGEÇMİŞ	142

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kolemanitten arsenikli bir mineral olan realgarın, flotasyon yöntemi ile ayrılması olanaklarını araştırmaktır. Bu nedenle her iki mineralin yüzey özellikleri, çeşitli iyonların ve flotasyon reaktiflerinin flotasyona etkisi incelenmiştir.

Emet kolemanit yatağından alınan saf kolemanit ve realgar kristalleri ile elektrokinetik potansiyel ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Bu iki mineralin flotasyon reaktiflerini adsorplama mekanizmalarını açıklamak için infrared spektroskopi çalışmaları yapılmıştır.

Elektrokinetik potansiyel ölçümleri sonucu; kolemanitin pH 8-12 arasında, realgarın ise pH 6-12 arasında yapılan zeta potansiyel ölçümlerinde sıfır yük noktası görülmemiş her iki mineralinde yüzeylerinin negatif olduğu belirlenmiştir.

Çeşitli flotasyon toplayıcılarının ve Na_2SiO_3 'ün varlığında yapılan infrared spektroskopi çalışmalarında realgar minerali için karakteristik adsorpsiyon bantları tespit edilememiş olup, kolemanit minerali için adsorpsiyon bantları tespit edilmiş ve çalışılan reaktiflerin kolemanit minerali yüzeyine adsorpsiyonlarının kimyasal ve fiziksel olabileceği tespit edilmiştir.

Dinamik captive bubble tekniği ile yapılan temas açısı ölçümlerinde; kolemanit mineralinin toplayıcısız $32-34^\circ$, toplayıcı ilavesiyle en fazla $45-47^\circ$ temas açısı değerleri ölçülmüştür. Realgar mineralinin ise, toplayıcısız $26-27^\circ$, toplayıcı ilavesiyle en fazla $58-63^\circ$ temas açısı değerleri ölçülmüştür.

Belirlenen özelliklere göre, her iki minerali birbirinden ayırabilmek için mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır.

Flotasyon çalışmalarında; mikroflotasyon yöntemi ile, kolemanit minerali için en iyi toplayıcının % 97.11 flotasyon verimi ile Sodyum Oleat olduğu ve bu toplayıcının varlığında en iyi flotasyon koşulları tespit edilmiştir.

Realgar minerali için ise, en iyi toplayıcının R840 olduğu tespit edilmiş olup, ancak R840'ın kolemanit minerali içinde iyi bir toplayıcı olması nedeniyle, seçimliliğin sağlanması için toplayıcı olarak % 83.45 flotasyon verimi ile KAX seçilmiş ve bu toplayıcının varlığında en iyi flotasyon koşulları tespit edilmiştir.

Saf kolemanit ve realgar mineralleri için tespit edilen en iyi koşullarda, miktarca % 0.5 ve % 5 realgar içerikli olarak hazırlanan yapay numuneler ile mikroflotasyon hücresinde ve ocaktan alınan % 32.45 B₂O₃ ve 1250 ppm As içerikli tüvenan cevher numunesi ile laboratuvar tipi Denver flotasyon makinesinde deneyler yapılmıştır.

SUMMARY

The purpose of this study is to investigate the possibilities of separating arsenic minerals, mostly realgar, from colemanite minerals. For this purpose, surface properties of these two minerals and the effects of flotation reagents and various ions on flotation were examined.

Electrokinetic potential and contact angle measurements were conducted on pure colemanite and realgar crystals which were collected from Emet Colemanite deposits. Infrared spectroscopy studies were also carried out in order to determine the adsorption mechanisms of flotation reagents on the two minerals.

In the electrokinetic potential measurements, both colemanite and realgar did not show zpc between pH 8-12 and 6-12 respectively. Both minerals were charged negatively at the studied range.

In the presence of various flotation collectors and Na_2SiO_3 , infrared spectroscopy studies were performed on both minerals and characteristic adsorption bands were not obtained for realgar mineral, but obtained for colemanite mineral. It was determined that the adsorption mechanisms of studied flotation collectors on colemanite could be both physical and chemical.

The contact angle measurement, performed with dynamic captive bubble technique, were determined $32-34^\circ$ without collectors and as $45-47^\circ$ with collectors for colemanite while as $26-27^\circ$ without collectors and as $58-63^\circ$ with collectors for realgar.

In order to separate these two minerals, microflotation experiments were carried out according to predetermined surface properties.

It was determined during the microflotation experiments that sodium oleate was the best collector for colemanite with flotation recovery of 97.11 %.

R840 was determined as the best collector for realgar, nevertheless it was also determined a good collector for colemanite. KAX was therefore chosen as collector and produced 83.45 % flotation on recovery. The optimum flotation conditions were determined in the presence of KAX collector.

Microflotation experiments were also conducted on artificial samples with 0.5 % and 5 % realgar content by weight in a laboratory type of Denver flotation machine using the best conditions obtained for pure colemanite and realgar minerals. Another set of experiments were also performed on the natural sample collected from open pit with 32.45 % B_2O_3 and 1250 ppm As content.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarımın yönetimini kabul ederek, bana bu tezi hazırlama olanağı sağlayan, çalışmam süresince yapıcı eleştirileri ve destekleri ile çalışmalarına yön veren Sayın hocam Doç.Dr. Sabiha KOCA'ya, öneri ve fikirlerinden yararlandığım Sayın hocam Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a, Sayın hocam Doç. Dr. Hüseyin KOCA'ya, İ.T.Ü. Maden Fakültesinden Sayın hocam Prof. Dr. M. Sabri ÇELİK'e ve Sivas Cumhuriyet üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden Sayın hocam Doç Dr. Meftuni YEKELER'e teşekkür ederim.

Eti Bor A.Ş. Genel Müdürü Sn. Mehmet KAYA'ya, Emet Bor İşletme Müdürü Sn. İsmail MOĞOL'a, daha önceki İşletme Müdürleri Sn. Burhanettin DERELİ ve Sn. Ünal ALINCA'ya, İşletme Müdür yardımcıları Sn. A.Hulusi BALBAĞ ve Sn. Mehmet HANAY'a, Konsantratör Başmühendisi Sn. İbrahim KAYANDAN'a, Açık İşletme Başmühendisi Sn. Neyyir ARIBAŞ ve K.G.S. Başmühendisi Sn. Mehmet BOZKIR'a, Emet Bor İşletmesi Etüt Kontrol, Laboratuvar ve Torna tesviye atölyesi çalışanlarına, çalışmalarımda bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi Sn. Halil İPEK ve Sn. Güray YALÇIN'a ve beni sabırla destekleyen aileme teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ – 1

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kolemanit mineralinin katı konsantrasyonuna bağlı olarak pH değişimi	6
2.2. Stern elektriksel çift tabaka modeli	13
2.3. Temas açısı	22
2.4. Eğik yüzeyde ölçülen temas açısı	24
2.5. Temas açısı ölçümünde kullanılan metotlar	26
2.6. Aktarma tamburu	29
2.7. Kütüklü yıkayıcı	29
2.8. İki pervaneli dağıtıcı	30
3.1. Deneyleerde kullanılan kolemanit ve realgar kristalleri	42
3.2. Mikroelektroforez hücresi	46
3.3. Kolemanit ve realgar minerallerinin, saf sudaki, pH'a bağlı zeta potansiyel değişimleri	47
3.4. Kolemanit mineralinin, CaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	48
3.5. Realgar mineralinin, CaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	49
3.6. Kolemanit mineralinin, NaCl'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	49
3.7. Realgar mineralinin, NaCl'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	50
3.8. Kolemanit mineralinin, BaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	50
3.9. Realgar mineralinin, BaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	51
3.10. Kolemanit mineralinin, Na ₂ CO ₃ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	51
3.11. Realgar mineralinin, Na ₂ CO ₃ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	52

ŞEKİLLER DİZİNİ - 2

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.12. Kolemanit mineralinin, Na_2SiO_3 'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	52
3.13. Realgar mineralinin, Na_2SiO_3 'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	53
3.14. Kolemanit mineralinin, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	53
3.15. Realgar mineralinin, As_2O_3 'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	54
3.16. Kolemanit mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	55
3.17. Realgar mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	55
3.18. Kolemanit mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	56
3.19. Realgar mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	56
3.19. Kolemanit mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	57
3.20. Realgar mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	57
3.21. Kolemanit mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	57
3.22. Kolemanit mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	58
3.23. Realgar mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	58
3.24. Kolemanit mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	59

ŞEKİLLER DİZİNİ - 3

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.25. Realgar mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	59
3.26. Kolemanit mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	60
3.27. Realgar mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	60
3.28. Kolemanitin infrared spektrumu	62
3.29. KAX'ın infrared spektrumu	62
3.30. KEX'in infrared spektrumu	63
3.31. R825'in infrared spektrumu	63
3.32. R840'ın infrared spektrumu	64
3.33. Na-Oleat'ın infrared spektrumu	64
3.34. Armac-T'nin infrared spektrumu	65
3.35. Na ₂ SiO ₃ 'ün infrared spektrumu	65
3.36. pH = 9.37 de 10 ⁻¹ M KAX ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	66
3.37. pH = 9.24 de 10 ⁻¹ M KEX ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	66
3.38. pH = 9.42 de % 1'lik R825 ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	67
3.39. pH = 9.32 de % 1'lik R840 ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	67
3.40. PH = 9.36 da 10 ⁻¹ M Na-Oleat ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	68
3.41. PH = 8.40 da % 1'lik Armac-T ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	68
3.42. PH = 9.24 de 10 ⁻¹ M Na ₂ SiO ₃ ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu	69

ŞEKİLLER DİZİNİ - 4

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.43. Kolemanit ve realgar minerallerinin, saf sudaki pH'a göre temas açıları	70
3.44. Kolemanit mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	71
3.45. Kolemanit mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında PH'a göre temas açısı	71
3.46. Kolemanit mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	72
3.47. Kolemanit mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	72
3.48. Kolemanit mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	73
3.49. Kolemanit mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	73
3.50. Kolemanit mineralinin, Na ₂ SiO ₃ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	74
3.51. Realgar mineralinin, Na ₂ SiO ₃ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	74
3.52. Realgar mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında PH'a göre temas açısı	75
3.53. Realgar mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	75
3.54. Realgar mineralinini, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	76
3.55. Realgar mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	76
3.56. Realgar mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	77

ŞEKİLLER DİZİNİ – 5

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.57. Realgar mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	77
3.58. Deneyleerde kullanılan mikroflotasyon hücresi	78
3.59. Mikroflotasyon devresinin görünüşü	79
3.60. Flotasyonda kullanılan flowmetrenin kalibrasyon eğrisi	79
3.61. Kolemanit mineralinin flotasyon görünüşü	80
3.62. Kolemanit mineralinin değişik toplayıcılarda flotasyon verim değişimi .	81
3.63. Kolemanit'in değişik katı oranlarında flotasyon verim değişimi	82
3.64. Kolemanit'in değişik Na-Oleat miktarlarında flotasyon verim değişimi .	83
3.65. Kolemanit mineralinin değişik pH'larda flotasyon verim değişimi	84
3.66. Kolemanit mineralinin değişik $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ miktarlarında flotasyon verim değişimi	85
3.67. Kolemanit'in değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi	86
3.68. Kolemanit'in değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi	87
3.69. Realgar mineralinin flotasyon görünüşü	88
3.70. Realgar mineralinin değişik toplayıcılarda flotasyon verim değişimi	89
3.71. Realgar mineralinin değişik katı oranlarında flotasyon verim değişimi ...	90
3.72. Realgar'ın değişik KAX miktarlarında flotasyon verim değişimi	91
3.73. Realgar mineralinin değişik pH'larda flotasyon verim değişimi	92
3.74. Realgar'ın değişik gazyağı miktarlarında flotasyon verim değişimi	93
3.75. Realgar'ın değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi	94
3.76. Realgar'ın değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi	95

ÇİZELGELER DİZİNİ - 1

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kolemanit kristalinin kimyasal analizi	43
3.2. Realgar kristalinin kimyasal analizi	43
3.3. Kolemanit mineralinin boyut dağılım sonuçları	44
3.4. Realgar mineralinin boyut dağılım sonuçları	45
3.5. % 0.5 realgar içerikli numune ile yapılan kolemanit yüzdürme deneyi ...	97
3.6. % 0.5 realgar içerikli numune ile yapılan realgar yüzdürme deneyi	97
3.7. % 5 realgar içerikli numune ile yapılan kolemanit yüzdürme deneyi	98
3.8. % 5 realgar içerikli numune ile yapılan realgar yüzdürme deneyi	99
3.9. 1 kg/ton Na ₂ SiO ₃ varlığında kolemanit yüzdürme deneyi	101
3.10. 2 kg/ton Na ₂ SiO ₃ varlığında kolemanit yüzdürme deneyi	101
3.11. 1 kg/ton Na ₂ SiO ₃ varlığında realgar yüzdürme deneyi	102
3.12. 2 kg/ton Na ₂ SiO ₃ varlığında realgar yüzdürme deneyi	103
3.13. Bazı ksantatların adsorpsiyon bantları	106
4.1. Kolemanit mineralinin saf sudaki pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi ...	123
4.2. Realgar mineralinin saf sudaki pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	123
4.3. Kolemanit mineralinin CaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	124
4.4. Realgar mineralinin CaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	124
4.5. Kolemanit mineralinin NaCl'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	124
4.6. Realgar mineralinin NaCl'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	125
4.7. Kolemanit mineralinin BaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	125
4.8. Realgar mineralinin BaCl ₂ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	125

ÇİZELGELER DİZİNİ – 2

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.9. Kolemanit mineralinin Na_2CO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	126
4.10. Realgar mineralinin Na_2CO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	126
4.11. Kolemanit mineralinin Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	126
4.12. Realgar mineralinin Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	127
4.13. Kolemanit mineralinin $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	127
4.14. Realgar mineralinin As_2O_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	127
4.15. Kolemanit mineralinin KAX'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	128
4.16. Kolemanit mineralinin R840'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	128
4.17. Realgar mineralinin R840'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	128
4.18. Kolemanit mineralinin Na-Oleat'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	129
4.19. Realgar mineralinin Na-Oleat'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	129
4.20. Realgar mineralinin R825'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	129
4.21. Kolemanit mineralinin R840'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	130
4.22. Realgar mineralinin R840'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	130

ÇİZELGELER DİZİNİ – 3

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.23. Kolemanit mineralinin Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	130
4.24. Realgar mineralinin Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	131
4.25. Kolemanit mineralinin Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a Bağlı zeta potansiyel değişimi	131
4.26. Realgar mineralinin Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi	131
4.27. Kolemanit ve realgar minerallerinin saf sudaki pH'a göre temas açıları .	131
4.28. Kolemanit mineralinin KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	132
4.29. Kolemanit mineralinin KEX'ın değişik konsantrasyonlarında PH'a göre temas açısı	132
4.30. Kolemanit mineralinin R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	132
4.31. Kolemanit mineralinin R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	133
4.32. Kolemanit mineralinin Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	133
4.33. Kolemanit mineralinin Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	133
4.34. Kolemanit mineralinin Na ₂ SiO ₃ 'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	134
4.35. Realgar'ın, Na ₂ SiO ₃ 'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	134
4.36. Realgar'ın, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	134
4.37. Realgar'ın, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında PH'a göre temas açısı	135
4.38. Realgar'ın, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	135

ÇİZELGELER DİZİNİ – 4

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.39. Realgar'ın, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	
4.40. Realgar mineralinin Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	135
4.41. Realgar mineralinin Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a göre temas açısı	136
4.42. Kolemanit mineralinin değişik toplayıcılarda flotasyon verim değişimi .	136
4.43. Kolemanit'in değişik katı oranlarında flotasyon verim değişimi	136
4.44. Kolemanit'in değişik Na-Oleat miktarlarında flotasyon verim değişimi .	137
4.45. Kolemanit mineralinin değişik pH'larda flotasyon verim değişimi	137
4.46. Kolemanit mineralinin değişik BaCl ₂ .2H ₂ O miktarlarında flotasyon verim değişimi	137
4.47. Kolemanit'in değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi	138
4.48. Kolemanit'in değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi	138
4.49. Realgar mineralinin değişik toplayıcılarda flotasyon verim değişimi	138
4.50. Realgar mineralinin değişik katı oranlarında flotasyon verim değişimi ...	139
4.51. Realgar'ın değişik KAX miktarlarında flotasyon verim değişimi	139
4.52. Realgar mineralinin değişik pH'larda flotasyon verim değişimi	139
4.53. Realgar'ın değişik gazyağı miktarlarında flotasyon verim değişimi	140
4.54. Realgar'ın değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi	140
4.55. Realgar'ın değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi	140
4.54. Realgar'ın değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi	141
4.55. Realgar'ın değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi	141

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- ZPC : Sıfır Yük Noktası
IEP : Eş Yük Noktası
PDI : Potansiyel belirleyen İyonlar
SDS : Sodyum Dodesil Sülfat
 ζ : Elektrokinetik (Zeta) Potansiyeli
 ψ : Stern Potansiyeli
U : Tanenin Hareketliliği ($\mu \cdot \text{sn}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{volt}^{-1}$)
 η : Sıvının viskozitesi
 ν : Dalga sayısı (cm^{-1})
 θ : Temas Açısı (derece)
& : Yüzey Gerilimi
W : Adhezyon kuvveti

1. GİRİŞ

Çeşitli endüstri dallarının ana hammaddelerinden olan bor mineralleri Türk madencilik sektörünün en önemli ihracat maddelerindedir. Dünya bor rezervlerinin yaklaşık % 80'ine sahip olan Türkiye üretim bakımından ABD'den sonra ikinci sıradadır. Ülkemiz gerek kalite, gerekse miktar bakımından dünyanın en zengin yataklarına sahip olmasına rağmen bor ürünleri ile rafine bor bileşiklerinin üretimi, ticareti açısından olması gereken düzeyde değildir. Bütün bu nedenlerden dolayı bor mineralleri rezervinin en verimli şekilde değerlendirilmesi çok önemlidir.

Türkiye'de; özellikle deri sanayiinde % 30'luk arseniğin kullanılması, sedimanter arseniğin ekonomik olarak elde edilebileceği bir yerin olmaması ve tüketimin hemen hemen tamamının ithal edilmesi gibi nedenlerden dolayı Emet arsenikleri önemli olmaktadır. Ayrıca, kolemanit tüketicilerinin arseniği zararlı bileşen olarak görmeleri kil ve cevherden arseniğin ayrılması için yeterli nedendir.

Kolemanit, en önemli bor minerallerinden biridir. Kolemanit içerisindeki arsenikli bileşikler kullanımda çeşitli problemler yaratmaktadır. Kolemanitin endüstrideki genel kullanımında % 0.01-0.02 As_2O_3 kabul edilebilir bir oran olmasına rağmen, Borik Asit üretiminde, elektronik ve tıp sanayiinde kullanımında kabul edilebilir değer % 0.003 As_2O_3 içeriğinden fazla değildir. Bunların yanında arseniğin zehirli bir madde olması nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından da önemli olmaktadır (Seval, 1976; Rychnova, 1983).

Bor ve arsenikli bileşiklerin flotasyon ve elektrokinetik özellikleri hakkında çok fazla literatür bulunmamaktadır (Köse ve diğerleri, 1983 ve 1988; Yarar, 1971; Çelik ve diğerleri, 1993 ve 1994; Özkan ve diğerleri, 1993). Bu nedenle kolemanit ve arsenikli bileşiklerin yüzey özelliklerinin araştırılması ve ayrılma şartlarının belirlenmesi, yılda 550000 ton tuvenan kolemanit cevheri işleyen ve 100000 ton/yıl üretim kapasiteli borik asit tesisi kurma çalışmalarını sürdüren Eti Bor A.Ş. Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletmesi için faydalı olacaktır.

Emet bölgesi kolemanit yatakları yaklaşık % 0.1-5 arasında arsenikli bileşikler içermektedir. Bu arsenikli bileşikler, realgar ve orpiment mineralleri şeklinde bulunmaktadır (Köse ve diğerleri, 1983).

Bu çalışmada kolemanit ve arsenik bileşiği olan realgarın elektrokinetik özelliklerinin, potansiyel belirleyen iyonlarının (pdi) ve değişik flotasyon reaktiflerindeki elektrokinetik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra bu iki mineralin temas açısı ölçümleri, infrared spektroskopisi ile adsorpsiyon mekanizmaları ve flotasyon ile birbirlerinden ayrılma şartları araştırılmıştır. Doğal numuneler ile de flotasyon çalışmaları denenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Flotasyon uygulamasının asıl nedeni minerallerin seçimli olarak yüzdürülmeleridir. Yüzdürme işlemi öncesi, mineral çözelti ara yüzeyinde meydana gelen ve seçimliliğin yaratılmasının temelini oluşturan fizikokimyasal olaylar incelenmiş olup; bu bölümde kolemanit, realgar ve zenginleştirilmeleri, ara yüzeylerdeki fizikokimyasal olaylar, infrared spektroskopi ve temas açısı hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Kolemanit

Kolemanit bir bor mineralidir. Bor elementi periyodik sistemin 5. elementidir, kütle numarası 10 ve 11 olan iki izotopu vardır. Doğada element olarak bulunmaz. Alkali boratlar veya borik asit şeklinde maden yatağı oluşturur. Önemli fiziksel özellikleri şöyledir;

Atom Ağırlığı	:10.811
Yoğunluk (gr/cm ³)	
- Sıvı	: 2.08
- Amorf	: 2.30
- Kristal	: 2.46
Sertlik (Mohs)	: 7.33
Ergime Noktası (°C)	: 2190
Kaynama Noktası (°C)	: 3660

Bor'un kimyasal özellikleri yapısına ve tane boyutuna göre değişir. Amorf bor bir çok kimyasal madde ile kolayca reaksiyona girer. Kristal yapıdaki bor ise amorf bor'a göre daha zor reaksiyona girer. Bor, metaller ve metal oksitlerle boridleri, karbonla borkarpiti, azotla bornitriti, halojenürlerle borhalidleri oluşturur. Yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyonu sonucu borik asit, 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta oksijen ile reaksiyonu sonucu bor oksit oluşur (Boztepe, 1988).

Volkanik buharlardaki halojenürler halindeki bor yoğunlaşarak borik asite dönüşür. Borik asit göl sularına karıştığında, uygun şartlarda kalsiyum ve sodyum bikarbonat ile reaksiyona girerler. Meydana gelen bileşiğin çökmesi suretiyle primer boratlar oluşur. Inyoit, hidroborasit gibi primer minerallerin Ca^{+2} iyonu ile reaksiyona girmesi sonucunda ise sekonder borat olan kolemanit minerali oluşur (Helvacı and Firman, 1985).

Kolemanit mineralinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir;

Kimyasal Bileşimi	: $2CaO.3B_2O_3.5H_2O$
Kimyasal Yapısı	: % 50.9 B_2O_3 % 27.2 CaO % 21.9 H_2O
Kristal Yapısı	: Monoklinik
Kristal Biçimi	: Çoğunlukla eş boyutlu ve kısa prizmatik kristalli, masif, kompakt, taneli.
Sertlik	: 4 - 4.5
Dilini	: { 010 }
Renk ve Şeffaflık	: Renksiz, Beyaz; Şeffaf - yarı şeffaf.
Çizgi Rengi	: Beyaz
Ayrıcı özellikleri	: Kristal formu, mükemmel dilinimi, diğer boratlardan daha sert olması.
Bulunuşu	: Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur.

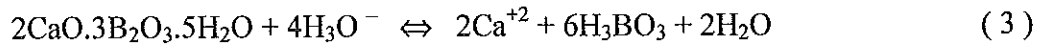
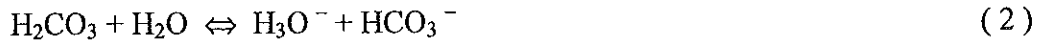
Kolemanit HCl ve H_2SO_4 'de H_3BO_3 teşekkülü ile çözülür. Değerli mineral olarak gözlenen kolemanit genelde ışınal bazende küresel doku göstermekte olup gang minerallerine nazaran daha iri boyuttadır (Boztepe, 1988).

Kolemanit cevher olarak çeşitli şekillerde bulunur. İriliği, kil içinde ince kristal toplulukları halinden yarım metre çapındaki nodül büyüklüğüne kadar değişir. En çok rastlanan şekilleri ışınal yapıli nodüller, masif granüler kolemanit, kil matriksinde

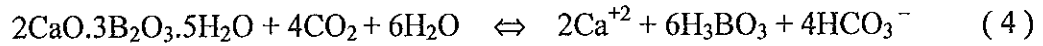
işinsal olarak dağılmış kristaller, nodülleri saran lifli tabakalardır. En yaygın şekiller ise nodüllerdir. Küçük nodüllerin küresel, daha iri nodüllerin oval olanlarına daha sık rastlanır. Kolemanitin, gang minerallerinin; kalsit, muskovit, realgar, orpiment ve kil mineralleri olduğu tespit edilmiştir (Helvacı, 1989).

Kolemanit mineralinin çözünürlüğü; Bor minerallerinin hemen hemen tümü sulu çözeltilerde pH = 9.3 civarında tampon özellik gösterirler. İlk pH'sı 3 ile 10 arasında bor minerali içeren çözeltilerin nihai pH'sının 9.3 civarında olduğu bulunmuştur (Yarar, 1978; Çelik ve diğerleri, 1993).

Kolemanit kristal yapısında Ca^{+2} içeren hidrate bir bor mineralidir. Atmosferdeki CO_2 ile reaksiyona girdiğinde aşağıdaki ürünler oluşur (Çelik ve diğerleri, 1993).

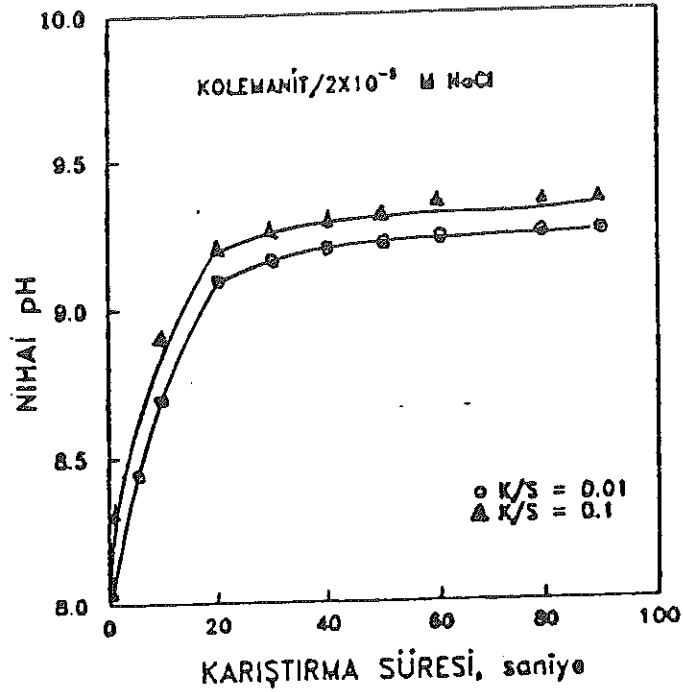


ve toplam reaksiyon:



Genel olarak bor mineralleri su içerisine konulduklarında pH=9.3'te tampon çözeltileri oluştururlar. Kolemanit minerali, Şekil 2.1 de görüldüğü üzere katı konsantrasyonuna bağlı olarak 30 saniye gibi kısa bir sürede denge pH'sına ulaşmaktadır (Çelik ve diğerleri, 1993; Çelik ve Hançer, 1993).

Kolemanit için, kalsiyum konsantrasyonundan gidilerek elde edilen çözünürlük değerleri 20 °C de 0.81 gr/lt dir (Çelik ve diğerleri, 1994). Kolemanitin çözünürlüğü teorik olarak yaklaşık 0.8 – 1.0 gr/lt olarak bilinmektedir (Özkan ve diğerleri, 1993).



Şekil 2.1. Kolemanit mineralinin katı konsantrasyonuna bağlı olarak pH değişimi

Kolemanitin kullanım alanları; Kullanım alanları çok geniş olup, sanayiinin hemen hemen bütün dallarında bir şekilde kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sanayilere bakarsak;

Fiberglass, cam, emaye ve kaplama sanayii: Normal bir cam fibreglassa dönüştürüldüğünde yüzey alanı artar. Boratlar bu aşamada akışkanlaştırıcılardan dolayı oluşacak çözünmeyi engellemek suretiyle, malzemenin dayanıklılığını sağlamak için katılırlar. Camlarda ise termal genişleme kapasitesini artırmak ve camı ısıya dayanıklı hale getirmek için cam hamuruna borat ilavesi yapılmaktadır. Seramik kaplamaları ve emaye yada porselen sırlarında ise boratlar bir akışkanlaştırıcı görevi yaparlar. Sır malzemesine üretim esnasında sağlanan özellikler düşük ergime sıcaklığı, düşük yüzey gerilimi ve düşük termal genişlemedir. Bunlar sır malzemesinin daha düşük sıcaklıklarda ve daha kolay ergimesini sağladıkları için üretim maliyetinde bir düşme sağlarlar. Boratların miktarı, silis ve alkaliler gibi bileşime giren diğer elemanların miktarına göre ayarlanır.

Sabun ve deterjan sanayii: Boratlar evlerde yada endüstride kullanılan sabun ve deterjanların yapısında yumuşatıcı bir katkı maddesi olarak, temizlik mamüllerine ise beyazlatıcı özelliği ve aktif bir oksijen kaynağı görevi yapması sebebi ile katılırlar.

Diğer kullanımlar: Ateşe dayanıklı malzeme, tarım, nükleer uygulamalar, metalurjik uygulamalar, tekstil, kozmetik, fotoğrafçılık, boya gibi kullanım alanları vardır.

2.2. Realgar

Realgar bir arsenik minerali olup, çoğunlukla diğer bir arsenik minerali olan orpiment ile beraber bulunurlar. Realgar (AsS) % 70.1 As ve % 29.9 S içerir. Orpiment (As_2S_3) ise % 61 As ve % 39 S içerir. Doğada en çok realgar, orpiment ve arsenopirit (FeAsS) olarak rastlanan arsenik genellikle kompleks bakır, kurşun, çinko, altın, gümüş, nikel ve antıman üretimleri sırasında bir yan ürün olarak elde edilmektedir. Genel olarak arsenik, demir sülfitleri, kil mineralleri ve organik madde halinde şeyl ve killer içinde bulunur. Kil ve tuf analizlerinde arseniğin MgO, TiO_2 , FeO_3 , P_2O_5 ve H_2O ile doğrudan ilgili olduğu ve montmorillonit killeri içinde adsorbe olduğu görülmüştür (Köse ve diğerleri, 1983).

Arseniğin kil ve tuf numuneleri içinde, kükürt ile bağlantılı olması, onun kükürt ile realgar ve orpiment gibi sülfidler halinde yakın ilgisi olduğunu göstermektedir. Realgar, genellikle kuvars, kalsit ve orpiment eşliğinde, sürekli biçimsiz kan kırmızısı renkte kütleler halinde görüldüğü gibi, arsenikli kernikovitle emprenye edilmiş killi şistler içerisinde küçük birikimler, ara killi ve damarcıklar halinde görünür. Realgar daha nadir olarak, kolemanit kristalleri, yumrular ve boşlukların tepesinde kristal agregatlar halinde bulunur. Bu realgar kristallerinin uzunlukları 2 cm'yi geçebilir. Aynı zamanda realgar sık sık çok ince kristaller halinde yalnızca kolemanit veya diğer borat kristalleri ile beraber bulunur. Realgar ve orpiment taşıyan kolemanit yumrularına çok sık rastlanır. Borat zonundaki killer, içinde bulundukları realgar ve orpiment yüzünden genellikle turuncu ve kırmızı renkli olabilir (Helvacı and Firman, 1985).

Realgar mineralinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir;

Kimyasal Bileşimi	: AsS
Kristal Sistemi	: Monoklinik
Kristal Biçimi	: Kısa prizmatik kristalli C eksenine yönünde dilime sahip, genellikle masif, kompakt ve ince taneli.
İkizlenme	: { 100 } üzerinde kontakt ikizleri olağan.
Sertlik	: 1.5 - 2
Özgül Ağırlık	: 3.56 - 3.59
Dilininim	: { 010 } belirgin.
Renk ve Şeffaflık	: Koyu kırmızı - portakal kırmızısı, şeffaf - yarı şeffaf.
Çizgi Rengi	: Turuncu - Kırmızı
Parlaklık	: Reçine parlaklığı.
Ayırıcı Özellikleri	: Tipik kırmızı rengi, düşük sertliği ve reçine parlaklığı ile karakteristiktir.
Bulunuşu	: Realgar, kurşun, gümüş ve altın içeren damarlarda orpiment ve diğer arsenik mineralleri ile birlikte bulunur. Volcano-sedimanter yataklarda da oluşabilir.

Orpiment mineralinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir;

Kimyasal Bileşimi	: As ₂ S ₃
Kristal Sistemi	: Monoklinik
Kristal Biçimi	: Kısa prizmatik, C eksenine yönünde uzunlamasına gelişmiş, genellikle yapraklanmalı, birbirine paralel dizilmiş kristal demetleri halindedir. Tanesel yada toz agregatlar halinde de bulunur.
İkizlenme	: { 100 } düzlemi üzerinde olağan.
Sertlik	: 1.5 - 2
Özgül Ağırlık	: 3.49 - 3.52
Dilininim	: { 010 } mükemmel.

- Renk ve Şeffaflık : Parlak sarı - turuncudan limon sarısına yada kahverengimsi sarıya kadar değişir. Şeffaf - yarı şeffaftır.
- Çizgi Rengi : Soluk sarı.
- Parlaklık : Sakızimsı, reçinemsı, dilinim yüzeyleri boyunca inci parlaklığında.
- Ayrımcı Özellikleri : Sarı rengi, mükemmel dilinimi, dilinim yüzeyleri boyunca gözlenen inci parlaklığı.
- Bulunuşu : Düşük sıcaklıklarda hidrotermal damarlarda ve sıcak su kaynaklarında oluşur. Genellikle realgar ve stibnit ile birlikte bulunur.

Arseniğin kullanım alanları; Arseniğin en çok kullanıldığı alanların başında tarım sektörü gelmekte ve bu sektördeki toplam kullanımın % 70'i de pamuk üretiminde gerçekleştirilmektedir. Bu sektörde arsenik, Monosodium Methane Arsenate (MSMA), Disodium Methane Arsenate (DSMA) ve Cacodylic Acid (Dimethyl Arsenic) olarak tüketilmektedir. Zararlı bitkilerin kurutulmasında, haşeratin öldürülmesinde, cam endüstrisinde, boyacılıkta, deri sanayiinde, ilaç yapımında, alaşım (bakır-kurşun) yapımında, elektronik sanayiinde, odun ilaçlanmasında arsenik yaygın olarak kullanılmaktadır.

Arsenik tüketiminin yaklaşık % 3'ü metal, geri kalanı ise çeşitli arsenik bileşimlerinin yapımında kullanılan Arsenik Anhidriti = Beyaz Arsenik (As_2O_3) olarak tüketilmektedir (Köse ve diğerleri, 1983).

2.3. Arayüzeylerde Elektriksel Özellikler, Elektriksel Çift Tabaka ve Zeta

Potansiyel

Katı tanesi su içine atıldığında, çeşitli fizikokimyasal nedenlere bağlı olarak yüzeyinde elektriksel bir tabaka oluşur. Bu nedenlerden en önemlileri; iyonlaşma, iyon adsorpsiyonu ve iyon çözünmesidir (Shaw, 1970; Fuerstenau, 1982).

İyonlaşma yoluyla yük oluşumunda; su gibi polar bir çözücü içerisinde maddeyi attığımızda iyonlarına ayrışır. Bu ayrışmanın büyüklüğü ortamın pH'sına göre değişir ve madde (+) veya (-) olarak yüklenir.

İyon adsorpsiyonunda ise; ters yüklü iyonların birbirlerine eşit olmayacak şekilde adsorpsiyonu ile net bir yüzey yükü ortaya çıkar, sulu ortamlarda bulunan yüzeylerde yükler (+) duruma oranla, daha çok (-) dir. Bu durum katyonların anyonlara nazaran sulu ortamda kalma eğilimlerinin daha fazla olmasındandır. İyonsal bileşikler yapılarında bulunan ters yüklü iyonların eşit olmayan çözünmeleri sonucu da bir yüzey yükü oluştururlar.

Mineral yüzeyi bu nedenlerden dolayı bir elektrik yükü kazandığında, ki bu durum polar ortam içerisinde mineral yüzeyi etrafındaki iyonların dağılımını da etkilemekte ve yüzeyle ters işaretli iyonlar mineral yüzeyine doğru çekilerek **dengeleyici iyonlar** (Counter ions), yüzeyle aynı elektrik yüklü iyonlar mineral yüzeyinden itilerek **eş yüklü iyonlar** (Co ions) olarak adlandırılırlar (Feurstenau, et al., 1984; De Bruyn and Agar, 1962).

Yüklü türler bir sulu sistemin parçaları olduğundan sistem elektrokimyasal bir sistemdir ve flotasyon pülpü de bir elektrokimyasal sistemdir. Çünkü flotasyon reaktifleri sulu ortamda iyonlaşma özelliği göstermektedirler. Bir katının flotasyon ortamındaki davranışını belirleyebilmek için katı-sıvı ara yüzeyinin herhangi bir toplayıcının yokluğunda fizikokimyasal özelliklerinin anlaşılması faydalıdır. Sulu bir fazın bileşimi katının çözünebilirliği ve çözünmüş türlerin kimyasal yapısıyla tespit edilebilir.

Sulu bir ortamda katının çözünmesi sonucu katıdan sıvıya doğru bazı iyonlar veya yüklenmiş parçacıklar hareket edecektir. Bu hareket, sulu faz katıdan çözünen iyonlarla doyum noktasına gelinceye kadar, yani ara yüzey boyunca denge durumuna erişinceye kadar devam edecektir. Sıvı-katı ara yüzeyi yarı geçirgen bir diyafram gibi düşünülebilir ve sadece elektrik yüklü türlerin karşılıklı olarak her iki faza geçmesine

izin verir. İyonların katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçişi, katı yüzeyinin belirli işaret ve değerlerde elektrik yükü kazanmasına sebep olur. Yüzey elektrik yükünü tayin eden ve değiştiren bu iyonlara **potansiyel belirleyen iyonlar** denir.

Genellikle minerali oluşturan iyonlar, hidrojen ve hidroksil iyonları, minerali oluşturan iyonlar ile çözünmeyen metal tuzları oluşturan toplayıcı iyonları ve ayrıca minerali oluşturan iyonlar ile kompleks iyonlar yapabilen iyonlar, potansiyeli belirleyen iyonlar olabilirler (Yarar, 1978; Le, 1981; Fuerstenau, 1982). Ortamın pH'ı oksit ve silikat minerallerinde doğrudan potansiyel iyonlarını oluşturur. Eğer bu üç mekanizmadan çözünme, yük kazanmayı sağlıyorsa katıyı oluşturan anyon yada katyonlar o katının potansiyel belirleyici iyonlarını oluşturur.

Su veya bir çözelti içine konulan katı madde yüzeyinin elektriksel bir yük kazanması potansiyeli tayin eden iyonlar dolayısıyla meydana gelir. Dengeleyici iyonların, yüzey civarında artan konsantrasyonları yüzeyden uzaklaştıkça azalarak çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir (Kruyt, 1952). Kimyasal dengeye erişildiğinde katı yüzeyindeki elektrik yükü dağılmış iyonların meydana getirdiği elektrik yükü ile dengelenmiş olacaktır. Yani mineral yüzey potansiyeli sıfıra inecektir. Böylece kondansatörün ters elektrik yüklü levhalarına benzeyen elektriksel olarak nötr fakat çözeltiye göre bir potansiyel farkı olan sistem oluşur ve buna **elektriksel çift tabaka** denir (Fuerstenau , et al., 1984).

Elektriksel çift tabaka teorisi dengeleyici ve eş iyonların dağılımlarını inceler. Ayrıca yüklü yüzeyin üzerinde oluşan elektriksel potansiyelin büyüklüğünü belirler. Bu özellik kolloidal sistemlerde flotasyon, flokülasyon, adsorpsiyon, stabilite, koagülasyon, elektrokinetik özellikler gibi olayların anlaşılabilirliği için gereklidir. Elektriksel çift tabakanın kalınlığı ve yapısı çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bunların en bilinenleri Helmholtz ve Perrin, Gouy-Chapman ve Stern elektriksel çift tabaka modelleridir. Bu üç modelden, en son geliştirilen Stern elektriksel çift tabaka modelidir.

2.3.1. Stern elektriksel çift tabaka modeli

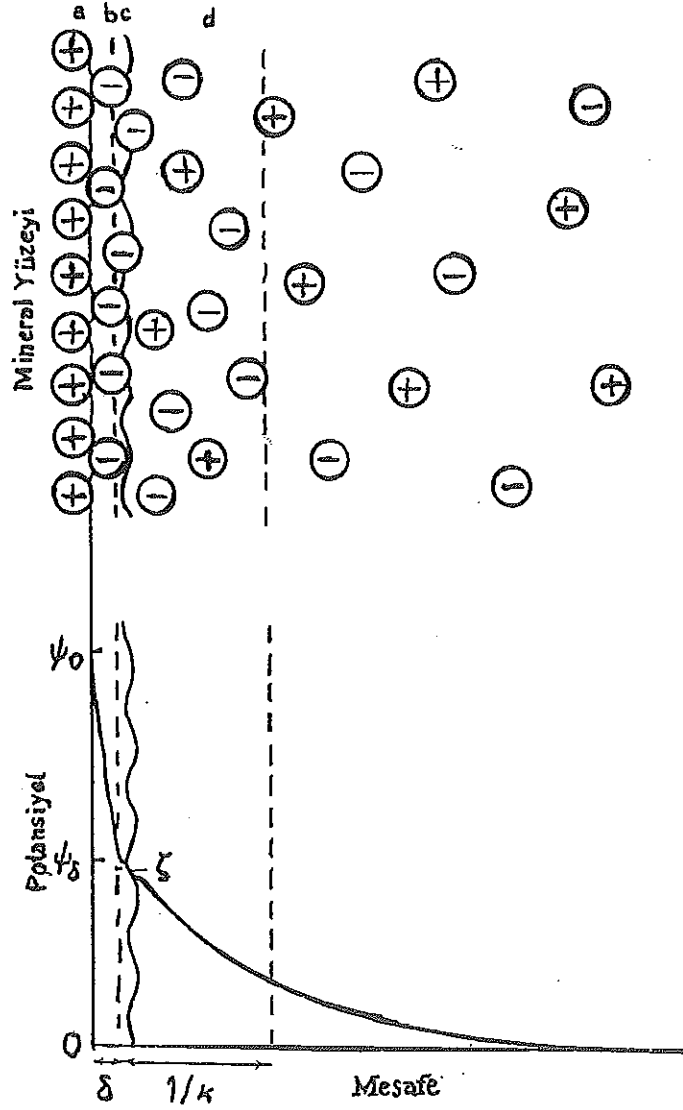
Helmholtz ve Gouy-Chapman modelini birleştiren elektriksel çift tabaka modeli 1924 yılında Stern tarafından izah edildi. Stern önerdiği elektriksel çift tabaka modelinde çift tabakanın çözelti tarafındaki kısmını ikiye ayırmıştır (Stern, 1924).

- 1- Yüklü yüzeye yakın mesafede adsorbe olmuş ve kuvvetli bir şekilde yüzeyde tutulan zıt yüklü iyon tabakası.
- 2- Gouy-Chapman'ın dağılmış iyonlar tabakası modelindeki gibi zıt iyonlardan oluşan dağılmış iyonlar tabakası.

Bu iki kısmı birbirinden ayıran ve katı yüzeyine, hemen hemen hidrasyona uğramış bir iyon yarıçapı kalınlığı mesafede Stern düzlemi adı verilen hayali bir düzlem düşünülür (Shaw, 1970). Burada bulunan zıt işaretli iyonlar, yüzey potansiyelini lineer olarak azaltırlar. Bunun dışında, dağılmış iyonları bulunduran bir tabaka daha mevcuttur. Burada potansiyel azalışı lineer olarak değil, göreceli olarak daha uzun mesafede azalarak sığır düşer, yani iyon konsantrasyonu yüzeyden uzaklaştıkça çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir (Şekil 2.2).

Stern aynı zamanda yüzeyde oluşan spesifik iyon adsorpsiyonunu da bu teori ile açıklamıştır. Hidrasyona uğramayan yada en azından yüzeye yakın tarafları hidrasyona uğramayan iyonlar elektrostatik veya Van der Waals kuvvetlerinin yada hidrofobik ilişkinin de etkisiyle merkezleri Stern tabakasında olacak şekilde yüzeye adsorbe olurlar. Bu iyonlar elektriksel çift tabakanın çözelti kısmındaki sabit olan birinci kısmını oluştururken bu iyonları diğer zıt yüklü ve hareketli iyonlardan ayıran bir başka tabakanın varlığı düşünülmüştür. Bu tabaka Stern tabakasına çok yakın olan ve sabit durmayan kayma yüzeyi olarak adlandırılır. İşte yüzey potansiyeli, Stern tabakasına kadar lineer olarak Stern potansiyeline düşer ve daha sonra azalan konsantrasyonla

beraber potansiyel de sıfıra kadar azalır. Spesifik iyon adsorpsiyonu bazen yüzeydeki elektrik yükünün değişimine bile neden olabilir (Shaw, 1970).



Şekil 2.2. Stern elektriksel çift tabaka modeli

a- Yüzey yükü b- Stern tabakası c- Kayma yüzeyi

d- Dağılmış iyonlar tabakası

Çok değerlikli veya yüzey aktif zıt iyonların spesifik adsorpsiyonu ile Stern tabakası üzerindeki elektrik yükünün yüzeyden farklı olabileceği görülmüş, yani yüzey potansiyeli ve Stern potansiyeli zıt yüklere sahiptir. Yüzey aktif eş yüklü iyonların spesifik adsorpsiyonu ile de Stern potansiyeli, yüzey potansiyeli ile aynı işarete sahip fakat daha büyük olabileceği belirlenmiştir (Grahame, 1947; Shaw, 1970). Spesifik iyon adsorpsiyonunun olmadığı durumlarda ise mineral yüzeyinde ve Stern tabakasında yükler ve potansiyeller eşittir.

2.3.2. Sıfır yük noktası, zeta potansiyeli (elektrokinetik potansiyel) ve zeta potansiyelin ölçülmesi

Mineral yüzeyindeki potansiyelin doğrudan ölçülmesi çok zordur, ancak mineral tanesinin çözelti içerisindeki elektrokinetik davranışlarından şekil 2.2 de görülen kayma yüzeyi üzerindeki potansiyel ölçülebilir. İşte elektriksel çift tabakanın çözelti kısmında; mineral tarafındaki sabit tabaka ile diğer hareketli dağılmış iyonlar tabakasını ayıran kayma yüzeyi üzerindeki potansiyele **Elektrokinetik Potansiyel** veya **Zeta Potansiyeli** denir (Shaw, 1970; Leja, 1983; Mackenzie, 1971; Kruyt, 1952; Fuerstenau, et al., 1984; De Bruyn and Agar, 1962; Hunter, 1981; Atak, 1990). Potansiyeli belirleyen iyonların belirli bir kritik konsantrasyonunda veya aktivitesinde mineral yüzey yükü sıfır olur ve buna **Sıfır Yük Noktası** denir. Sıfır yük noktası o mineralin potansiyeli belirleyen iyonunun çözeltideki kritik konsantrasyonu ile belirlenir (Leja, 1983).

Bazı yazarlar kayma yüzeyini Stern tabakasıyla üst üste göstermelerine karşın gerçekte yapılan ölçümler kayma düzleminin Stern tabakası ile aynı noktada çakışmayıp, onun çözelti tarafında bilinmeyen bir mesafede kaldığını göstermiştir. Ancak bu mesafenin genelde çok küçük olduğu ve zeta potansiyelinin (ζ), Stern tabakası üzerindeki Stern potansiyelinden (Ψ), çok küçük miktar daha az olduğu kabul edilir (Atalay, 1986; Shaw, 1970)

Zeta Potansiyel, elektriksel çift tabakanın kontrol altında tutulabilen ve deneysel olarak ölçülebilen bir büyüklüğüdür. Özellikle koloidal sistemlerde flokülasyon,

koagülasyon ve stabilite, flotasyonda reaktiflerin adsorpsiyonu ve hava kabarcıklarının mineral tanelerine yapışması olaylarının açıklanması ve zeta potansiyeline göre korelasyonları her zaman yapılmaktadır. Kolloidal sistemlerde stabiliteyi sağlayabilmek için Somasundaran'a (1980) göre parçacıklar en az $\pm 15-20$ mV zeta potansiyeline sahip olmalıdırlar ve aynı tip elektrik yükünü taşımalıdırlar. Le (1981) ve Yarar'a (1979) göre de stabilite için zeta potansiyeli en az ± 30 mV olmalıdır. Bundan küçük değerlerde koagülasyon olduğu aynı yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Maksimum flotasyonun, zeta potansiyelinin sıfır olduğu noktada yani zpc noktasında olduğu da çeşitli yazarlar tarafından açıklanmıştır (De Bruyn and Agar, 1962; Fuerstenau, 1984; Klassen and Makrousov, 1963; Kaya, 1991).

Yüklü bir yüzey üzerine bir elektrik alanı uygulandığında, elektriksel çift tabakanın her iki kısmında da bir kuvvet oluşur. Yüklü yüzey ve buna bağlı olan kısımlar elektrik alanına paralel hareket etme eğiliminde iken elektriksel çift tabakanın hareketli kısmındaki iyonlar ise buna zıt yönde net bir yer değiştirme gösterirler, bu esnada çözeltinin kendisi de iyonlarla beraber hareket ederek bir akışa neden olurlar. Bunun tersi olarak da eğer elektriksel çift tabakanın yüklü yüzey ve dağılmış iyonlar tabakası birbirine bağlı olarak hareket ettirilirse bir elektrik alanı oluşur. Burada mineral tanelerinin hareketi veya oluşan elektrik alanı dört elektrokinetik olayı meydana getirir (Shaw, 1970). Bunlar Elektroforez, Elektroosmoz, Akma Potansiyeli (Streaming Potential) ve Çökme Potansiyeli (Sedimentation Potential) dir.

Zeta potansiyelinin ölçülmesinde en çok kullanılan yöntem elektroforez yöntemidir. Bu yöntemde mineral süspansiyonu veya kolloid madde bir elektroliz cihazında elektrolit olarak kullanılır. Cihaza elektrik akımı verildiği zaman süspansiyondaki taneler yüklerine göre çözelti içindeki elektrik alanında hareket ederler. Hareketin hızı ve yönünden yararlanarak elektrokinetik potansiyel (zeta potansiyeli) ve yüzey elektrik yükünün işaretini belirlemek mümkündür (Atak, 1990; Manser, 1973; Yarar, 1978 ve 1979).

Mineral tanelerinin elektroforetik hareketliliği makroelektroforez veya mikroelektroforez adı verilen iki yöntem ile bulunabilir. Makroelektroforez yönteminde U şeklinde bir tüpten oluşan hücreler kullanılır. Bunların en gelişmişleri Tiselius hücreleridir. Hücrelerin alt kısımlarına elektroforetik hareketliliği ölçülecek çözelti, onun üzerine de U tüpünün her iki ucuna çözelti ile aynı iletkenliğe sahip saf bir sıvı ilave edilir. Bu sıvı içine her iki uca birer platin elektrod daldırılır ve elektrodlara bir potansiyel farkı uyguladığında saf sıvı-çözelti sınırlarının, çözeltideki taneciklerin hareketine göre anoda veya katoda hareket ettiği görülür. Bu yöntemle kolloid taneciklerin yük işaretleri belirlenir ve hareketin hızından zeta potansiyeli de hesaplanabilir (Üneri, 1968).

Mineral taneleri kararlı bir süspansiyon halinde ve mikroskop altında görülebilecek durumda ise parçacıkların elektroforetik hareketliliği doğrudan doğruya mikroelektroforez cihazı ile ölçülebilir. Mikroelektroforez cihazı bir mikroskobun görüş alanına yerleştirilmiş yatay durumdaki ince yassı bir elektroforez hücresinden ibarettir. Hücrenin her iki ucuna platin elektrodlar yerleştirilmiştir. Bu elektrodlar aracılığı ile sisteme belirli bir potansiyel uygulandığında hücredeki kolloidal taneler yüzeylerindeki net elektrik yükünün tersi işareti taşıyan elektrod yönünde hareket ederler. Hareketin hızı mikroskobun okülerinde bulunan retikül ve alete bağlı kronometre yardımı ile belirlenirler. Sisteme potansiyel uygulandığında yüklü tanecikler hareket ederken genellikle belli bir yüzey yüküne sahip olan cam tüp hücreye bağlı olarak, sıvı da hareket eder. Buna da **Elektroozmoz** denir. Tüp civarındaki sıvı akışı hücre tamamen kapalı olduğundan ters yönde bir akış ile dengelenir. Ters yöndeki akış hızı tüpün merkezinde maksimumdur ve tüpün içinde parabolik bir değişim gösterir. Bu parabol üzerinde öyle bir yer vardır ki her iki yöne doğru olan sıvı akışı birbirini dengeleyerek elektroozmozun etkisini yok ederek akış hızını sıfır yapar. İşte bu noktaya **Stationary Level** yada **Hareketsiz Seviye** denir. Hücrenin yapısına göre bu seviye değişmektedir. Silindirik bir hücre için bu seviye hücre duvarından itibaren hücre iç çapının % 14.6'sı kadar mesafede iken, dikdörtgen kesitli bir hücre için genişliğin % 20.4'ü kadar mesafedir. İşte tüp içerisinde gözlenen taneciğin ölçülen hızının elektroozmozdan etkilenmemesi için tüm ölçümlerin bu seviyede yapılması gereklidir (Shaw, 1970).

Ölçülen elektroforetik hareketlilikten yararlanarak minerallerin zeta potansiyelinin hesaplanmasında Helmholtz-Smoluchawski eşitliğinden yararlanır.

$$U = v/E = \frac{D \zeta}{4 \Pi \eta}$$

$$E = V/L$$

U = Tanenin hareketliliği (μ . Sn⁻¹. Cm. volt⁻¹)

v = Tanenin hareket hızı (μ /sn)

V = Uygulanan gerilim (volt)

L = Elektrotlar arası etkin mesafe (cm)

E = Uygulanan elektrik alanı (volt/cm)

D = Suyun dielektrik katsayısı

ζ = Zeta potansiyeli

η = Sıvının viskozitesi

25 °C'de yukarıdaki denklemdeki gerekli katsayı düzeltmeleri yapılırsa;

$$\zeta = 12.83 \times U \text{ (milivolt)}$$

şeklini alır (Atalay, 1986; Fuerstenau, et al.,1984; Castellan, 1971; Mari, et al., 1980; Rank Brothers Katoloğu).

2.4. Infrared Spektroskopi

Infrared spektroskopi katı yüzeylerindeki gaz ve sıvı adsorpsiyonunun incelenmesinde yaygın olarak kullanılır. İnfrared spektroskopi, maddenin infrared ışınlarını adsorplaması esasına dayanır. Moleküllerin atomları arasındaki simetriklik ve bağın kuvveti bir bütün olarak o molekülün infrared spektrumunun hangi frekansta olduğunu belirler. Bu her molekül için karakteristiktir (Hilton and Snell, 1966; Nakamoto, 1976).

İnfrared ışınlarının dalga boyları 1000–300000 nm (m μ) arasında olmasına rağmen infrared spektroskopisinde, genellikle dalga boyları 2500-25000 nm arasında olan ışınlardan yararlanır. Bu aralığa yakın infrared ve infrared bölgesi denir. İnfrared spektroskopisinde ışınlar dalga boyları ile değil daha çok dalga sayılarıyla verilir. Dalga sayısı $\nu = 1/\lambda$ (cm) dir. Buna göre yukarıdaki dalga boyları aralığı;

$$\nu = 1/2500 \cdot 10^{-7} = 4000 \text{ cm}^{-1}$$

$$\nu = 1/25000 \cdot 10^{-7} = 400 \text{ cm}^{-1}$$

dir. Dalga boyları 400 cm^{-1} den daha küçük ışınların enerjileri moleküllerin rotasyon (dönme) enerjileri seviyesinde olduklarından, havadaki moleküller tarafından bile kolaylıkla absorbe edilirler. İnfrared spektroskopi kantitatif analizlerden çok kalitatif analizlerde kullanılır. Her maddenin kendine özgü spektrumu olduğundan kalitatif analiz kolaylıkla yapılır (Gündüz, 1993).

Katı yüzeyindeki adsorpsiyonun infrared spektroskopi ile incelenmesinde saf katı malzemenin spektrumuna göre adsorpsiyon işleminden sonraki spektrumda bazı yeni piklerin oluşması veya piklerin hiç değişmeden olduğu gibi kalması yada bazı piklerin tamamen yok olması adsorpsiyonun tipi hakkında bilgi verir (Atalay, 1986; Hair, 1967; White, 1964).

Bir katı yada sıvının sınır yüzeyindeki konsantrasyonunun değişmesi olayına **Adsorpsiyon** denir. Yüzeyde konsantrasyonu artmış olan maddeye **Adsorplanmış madde**, adsorplayan maddeye **Adsorplayıcı madde** yada **Adsorban** denir (Üneri, 1968; Berkem ve Baykut, 1975; Kayıkçı, 1988).

İki çeşit adsorpsiyon vardır. Bunların birincisi fiziksel adsorpsiyondur. Bu adsorpsiyonda adsorban ile adsorplanan madde arasındaki bağın Van der Waals tipi olduğu kabul edilir. Ancak Van der Waals kuvvetlerinden başka fiziksel adsorpsiyonu

elektrostatik çekim ve hidrofobik ilişkiden doğan kuvvetler de neden olabilirler (Leja, 1983; Wilde and Dexter, 1973; Somasundaran, 1980; Stestry, et al, 1978; Dexter and Osborne, 1973).

Fiziksel adsorpsiyonun düşük ısıda olması karakteristiktir (2-5 kcal/mol). Adsorbe olan madde ile yüzey arasında herhangi bir elektron alışverişi yoktur ve adsorpsiyon tersinirdir (Klassen and Mokrousov, 1963). Fiziksel adsorpsiyonun hızı yüksektir ve adsorpsiyon tek veya çok tabakalı olabilir. Bunlara bağlı olarak fiziksel adsorpsiyonda infrared spektrum ya çok az veya hiç değişim göstermez.

İkinci tip adsorpsiyon ise kimyasal adsorpsiyondur. Fiziksel adsorpsiyonun tersine yüksek adsorpsiyon ısısı söz konusudur (15-20 kcal/mol). Kimyasal adsorpsiyon atomik kuvvetlerden dolayı oluşmaktadır. Adsorban ve adsorbe olan madde arasında elektron alışverişi olduğunda yüzeyde yeni bir madde oluşur ve bu reaksiyon tersinir değildir. Kimyasal adsorpsiyon yüksek selektivite gösterir, sadece tek tabakalıdır ve adsorpsiyon hızı yavaştır (Klassen and Mokrousov, 1963; Akyüz, 1982; Barrow, 1973; Nakanishi and Solaman, 1977; Wedler, 1929; Satterfield, 1980; Gül ve Boybay, 1983; Hall, 1983; Peck, 1963).

Kimyasal adsorpsiyon olduğunda infrared spektrumu tamamen değişir. Bazı pikler kaybolurken, bazı yeni pikler oluşabilir. Mineral yüzeyinin potansiyelini değiştirmesine karşın her zaman infrared spektrumunda bir değişikliğe yol açmaz (Leja, 1983). Ancak adsorpsiyonun varlığı mineralin zeta potansiyelinin değişmesi nedeni ile sabittir (Shaw, 1970).

IR Aktif Maddeler; N_2 , O_2 , Cl_2 gibi homonükleer moleküller hariç, bütün maddeler infrared veya titreşim spektrumu verirler. İnfrared spektrumu veren maddelere **IR aktif maddeler** denir. Bunlar yük dağılımı asimetrik olan dipol moleküllerdir.

İnfrared Cihazı; Başlıca beş esas kısımdan oluşur. Işın Kaynağı, IR Monokromatorları, Dedektörler, IR Numune Kapları, Işın Demeti Kesicileri ve Işın Demeti Şiddetini Ayarlayıcılar gibi kısımlardan oluşur. (Gündüz, 1993).

2.4.1. Infrared spektroskopi ölçümleri

Katıların spektrumu, katı halde veya çözelti haline getirilerek alınır. Madde katı haldeyken, dimerleşme ve moleküller arası hidrojen bağları verebilir. Çözelti halindeyken ise çözücü molekülleriyle çeşitli şekillerde etkileşebilir. Katı ve çözelti halindeyken bu söylenenler yoksa iki halin spektrumları birbirinin aynıdır. Bu nedenle bir maddenin katı ve çözelti hallerinin spektrumlarının alınması, yapısı hakkında daha yararlı bilgiler verebilir.

Bir maddenin katı halinin spektrumu genellikle nujol (sıvı parafin) veya heksaklorobütadien veya potasyum bromür içinde alınır. Bu maksatla madde iyice toz edilir. Işın yansımaları ve dağılmasını önlemek amacıyla maddenin parçacıklarının boyutları kullanılan ışınların dalga boyundan daha küçük olmalıdır. (Gündüz, 1993).

Maddenin gerçek spektrumunu ortaya çıkarmak için, alınan spektrumundan bu spektrumda kullanılan yardımcı maddenin (nujol gibi) spektrumu çıkarılır.

Yardımcı madde olarak kullanılan KBr'ün iyi olan yönleri başlıca şöyledir;

- KBr IR alanında absorpsiyon yapmaz.
- KBr ile yapılan numune diskleri uzun süre muhafaza edilebilir.
- Maddenin konsantrasyonu istendiği gibi ayarlanabilir.

Ancak, KBr'ün iyi olmayan yönleri de vardır. Bunları da başlıca şöyle özetlemek mümkündür;

- Disk yapma esnasında maddenin simetri özellikleri değişebilir.
- Koordinasyon yönünden doymamış komplekslerin koordinasyonu bromür tarafından doyurulabilir.
- Zayıf ligandlı komplekslerde ligandın yerini bromür alabilir.
- KBr nem kapıcı olduğundan, çok dikkat ister. Eser oranda absorbe edilen su, OH bölgesinde pik verir ve spektrumu karıştırır.

2.5. Temas Açısı

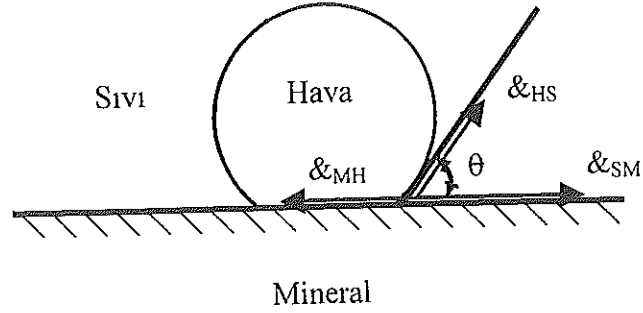
Flotasyon, cevher hazırlama tekniklerinin en önemlilerinden olup, kullanım alanı giderek artan bir yöntemdir. Bu yöntem, ekonomik olmayan düşük tenörlü ve kompleks cevherlerin işlenmesine izin verir.

Köpük flotasyonunda, değişik mineral parçacıklarının fizikokimyasal yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yararlanır. Reaktiflerle muamele edildikten sonra mineral ve flotasyon pülpi arasındaki yüzey özelliklerindeki farklılıklar ortaya çıkar. Flotasyonun olabilmesi için hava kabarcığı, taneciğe yapışabilmeli ve onu su yüzeyine kaldırmalıdır. Bu işlem nispeten ince taneciklere uygulanabilir, tanecik ve kabarcık arasındaki yapışma tanecik ağırlığından az ise kabarcık yükünü bırakır ve taneciği düşürür. Hava kabarcıkları mineral taneciğine, mineral yüzeyindeki suyun yerini alabilirlerse yapışabilirler. Bu da mineralin bir dereceye kadar hidrofobik olmasını gerektirir. Su içerisinde mineral yüzeyinin flotasyon reaktifleri ile ilişkileri o yüzeyi etkileyen güçlere bağlıdır. Tanecik ve hava kabarcığını ayırmaya çalışan güçler Şekil 2.3 de gösterilmiştir. Gerilme güçleri mineral yüzeyi ile kabarcık yüzeyi arasında bir açının gelişimine yol açar. Katı yüzeyi ile hava-su ara yüzeyi arasındaki açıya temas açısı denir. Temas açısı, mineral-su ara yüzeyi ile hava-su ara yüzeyi arasında ölçülebilen bir değerdir (Wills, 1997).

Katı-kabarcık (hava) ara yüzeyini ayırmak için gerekli güce **Adhezyon (W)** denir ve bu, katı-hava ara yüzeyini ayırmak ve ayrı ayrı hava-su ile katı-su ara yüzeylerini oluşturan iş miktarına eşittir.

Flotasyon sistemlerinde sıvı-katı ara yüzeyleri geniş olarak incelenmiştir. Flotasyon durumunda, katı-hava ara yüzeyi meydana geldiği halde, katı-hava ara yüzeyi, sıvı-katı ara yüzeyi kadar geniş incelenmemiştir. Sıvı-katı-hava gibi üç ara yüzeyin dengede olduğu durumdaki termodinamik durum Young eşitliği ile izah edilir. İki faz, bir yüzey boyunca birbirine değerler. Üç faz ise bir doğru boyunca değme durumundadırlar (Şekil 2.3) (Atak, 1990).

- γ_{HS} : Hava-su ara yüzey gerilimi
 γ_{SM} : Su mineral ara yüzey gerilimi
 γ_{MH} : Mineral-hava ara yüzey gerilimi



Şekil 2.3. Temas açısı

Üç faz dengede olduğu zaman yüzey gerilimleri toplamı sifıra eşit olmalıdır.

$$\gamma_{HS} + \gamma_{SM} + \gamma_{MH} = 0$$

Üç faz genellikle katı,sıvı ve gazdır. Fakat flotasyon sistemlerinde doğrudan doğruya mineral, su ve hava fazından bahsedilebilir. Yüzey dengesi şöyle yazılabilir:

$$\gamma_{HS} \cdot \cos \theta = \gamma_{MH} - \gamma_{SM}$$

θ açısı, yüzey gerilimleri cinsinden hesaplanırsa:

$$\cos \theta = \gamma_{MH} - \gamma_{SM} / \gamma_{HS}$$

Denklemine **Young Eşitliği** denir. Bundan faydalanılarak, $\gamma_{MH} > \gamma_{SM}$ ise, temas açısının 90° den küçük olacağı, $\gamma_{MH} < \gamma_{SM}$ ise 90° den büyük olacağı söylenebilir.

Temas durumunun dengede olabilmesi için :

$$\gamma_{MH} - \gamma_{SM} \leq \gamma_{HS} \quad (I)$$

olmalıdır.

Ancak (I) şartında belirli bir θ değeri bulunabilir. Young denklemi, üç faz dengede olduğu zaman uygulanabilir. Üç faz dengede olmadığı zaman belirli bir θ açısı

bulunamaz. Böylece, su-hava ara yüzeyindeki gerilim (γ_{HS}), mineral-hava ve su-mineral ara yüzeyi gerilimleri farkından ($\gamma_{MH} - \gamma_{SM}$) küçük olduğu zaman, su mineral yüzeyini tamamen ıslatır ve hava fazı mineral fazından ayrılır. Temas açısının değeri sıfır olur.

$$\gamma_{MH} - \gamma_{SM} > \gamma_{HS} \quad (II)$$

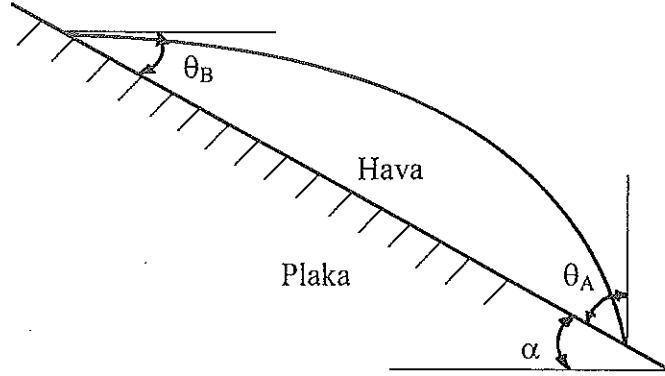
(I) ve (II) bağıntıları flotasyon için çok önemlidir. (I) şartı mineralin yüzebilme durumunu gösterirken, (II) bastırılma durumuna tekabül eder.

Minerallerin pek çoğu kollektör mevcut bulunmadığı zaman tamamen ıslanırlar. Islanan bir mineralin, belirli bir değerde bir temas açısı kazanması, ($\gamma_{MH}-\gamma_{SM}$)'nin azalması ile mümkün olur. Young eşitliği, üç ara yüzeyde yüzey gerilimlerinin değişimi hakkında hiçbir bilgi vermemektedir. Bu bilgi Gibbs Adsorpsiyon Denklemi'nin üç ara yüzeye uygulanması ile elde edilebilir. Bir mineral parçası yüzmeye başladığı anda, mineral-hava ara yüzeyinde kollektörün adsorpsiyon yoğunluğunun, mineral-sıvı ara yüzeyindekinden daha fazla olduğu söylenebilir (Atak, 1990).

2.5.1. Temas açısının ölçülmesi

Kollektör adı verilen organik maddeler suya ilave edildiğinde; kabarcık, yüzeyi hemen terk edecek yerde, yüzeye yapışmaktadır. Temas açısı her iki tarafta aynı olmayabilir. Yüzeylerin düzgün olmayışı, eğik duruşu, gözenekli oluşu, sürtünme buna sebep olmaktadır. Bu durumda iki istikamette okunacak temas açısının ortalaması alınır (Şekil 2.4).

Kollektör konsantrasyonu arttıkça temas açısı büyür, fakat belirli bir konsantrasyondan sonra temas açısında büyüme olmaz. Temas açısı 20° den küçük olduğu zaman, hesaplama zor olur, hesap ve ölçmede hata yapılabilir. Bu durumda küçük temas açısı, sistemde az miktarda enerji değişimine karşılık gelir, kabarcık kolayca yüzeyden ayrılabilir (Atak, 1990).



Şekil 2.4. Eğik yüzeyde ölçülen temas açısı

Küçük temas açılarının ölçülme güçlüğü yüzünden, temas açısını ölçme yerine, cilalı mineral yüzeyine kabarcığın yapışabilme veya yapışamama durumu tespit edilir. Mesela flotasyon sisteminde iki değişkene bağlı olarak değiştirilen şartlarda, köpüğün mineral yüzeyine yapışma durumu incelenir. Yapışma varsa flotasyon mümkün, yoksa mümkün değildir (Atak, 1990).

Katıların veya minerallerin yüzdürülebilme karakterleri birçok deneysel ve ampirik tekniklerle nicel olarak tahmin edilebilir. Nicel parametre kritik ıslanma yüzey gerilimidir (γ_c) ve bu değer veya bu değerden az yüzey gerilimlerinde sıvı, katı madde veya mineral yüzeyine tamamıyla yayılmak suretiyle ıslatır. Bu nedenle γ_c değeri 72 din/cm den büyük mineraller "hidrofilik", 72 din/cm den az olanlar ise "doğal hidrofob" olarak adlandırılırlar (Yekeler ve Yarar, 1994).

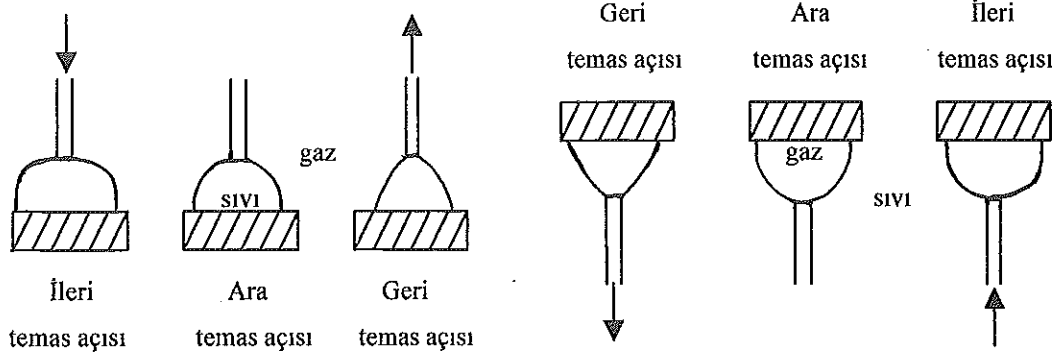
Temas açısının ölçülmesi için üç çeşit teknik kullanılır (Drelich and Miller, 1995). Bunlar;

- 1- Statik sessile-drop tekniği
- 2- Statik captive - bubble tekniği
- 3- Dinamik captive bubble tekniğidir.

1- Statik sessile-drop ve statik captive bubble teknikleri NRL Goniometer ile kullanılır. Sessile-drop tekniğinde incelenecek katı numune, temas açısı deneylerinde kısmen sıvı ile doldurulan havası kontrollü Rame-Hart odasına yerleştirilir. İçinde katı numune olan hücre fazlar arasında denge oluşabilmesi için 0.5-1 saat kapalı tutulur. Katı bir yüzeye, mikro şırınga ile bir sıvı damlası alınır ve iğne damla ile temas halinde kalır. İğne ile damlanın şeklinin bozulmaması için ölçümlerde dikkatli olunur. Şekil 2.5-a da görüldüğü gibi küçük bir hacim sıvının eklenmesi veya çıkarılması ile, iletim veya geri dönüşüm elde edebilmek için sıvı tanesinin üç fazlı temas hattı yapılır ve damlanın her iki tarafında 30-35 sn sonra ileri ve geri temas açıları ölçülür. Bu temas açıları tane boyutunu değiştirmek için ölçülür.

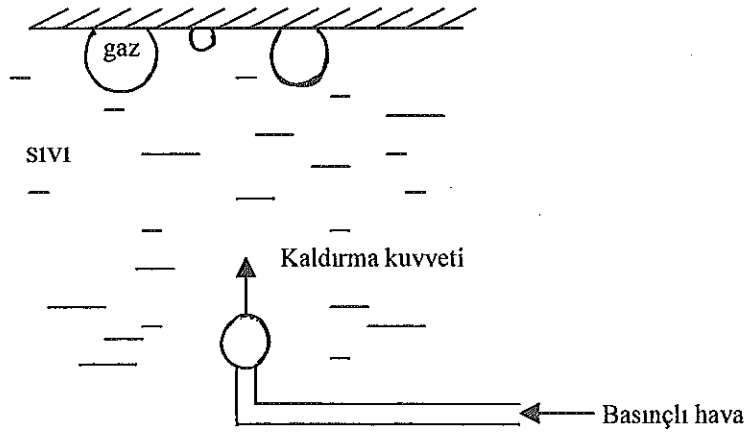
2- Statik captive-bubble tekniğinde, katı numune iki destek üzerinde dikdörtgen şeklinde cam bir odaya konulur. Su ile doldurulur. U şekilli iğnenin tepesine, mikro şırınga kullanılarak bir hava kabarcığı yapılır. Gaz kabarcığı katı yüzeyine yapışır. Şekil 2.5-b de görüldüğü gibi, küçük bir hacim havanın eklenmesi veya çıkarılması ile, iletim veya geri dönüşüm elde edebilmek için gaz kabarcığının üç fazlı temas hattı yapılır ve sıvı fazda olduğu gibi temas açıları 30-45 sn sonra gaz tanesinin her iki tarafında NRL Goniometer ile ölçülür. Bu yöntem kabarcık boyutunun etkisini belirlemek için kullanılır. Bütün ölçümler boyunca iğne hava kabarcığı ile temas halinde kalır ve temas açısı ölçümlerini etkilememesi için iğnenin, kabarcığın şeklini bozmasına izin verilmez.

3- Üçüncü yöntem dinamik captive-bubble yöntemidir ve kabarcık boyutunun temas açısı üzerindeki etkisinin araştırılmasında kullanılır. Dinamik captive-bubble tekniği statik captive-bubble tekniğinden, hava kabarcığı yapışmasının katı yüzeyde oluşması ile ayrılır. Sıvının içerisindeki değişik boyuttaki hava kabarcıkları katı yüzeyi altında şırınga ile yapılır ve iğneden ayrılmasına izin verilir. Serbest kalan kabarcıklar katı yüzeyinde yüzer, taşıma ve yapışma olayı sonucunda tutulur. Hava kabarcığı katı yüzeyine yapıştıktan sonra, temas açısı ve kabarcık çapı NRL goniometer ile ölçülür. Statik tekniğin tersine, dinamik teknikle temas açısı her zaman tek olarak belirlenemez (şekil 2.5-c).



a. Statik sessile drop tekniği

b. Statik captive bubble tekniği



c. Dinamik captive bubble tekniği

Şekil 2.5. Temas açısı ölçümünde kullanılan metotlar

Literatürde, kolemanit mineralinde yüzey yapıcı yokluğunda 22-24° temas açısı ölçülmüş ve bu, en fazla kollektör eklendiğinde 45° ye çıkmıştır. Bu yüzden, boraks ilavesinin fonksiyonu olarak amin ile temas açısı 40-45° dir, oysa SDS (Sodyum Dodesil sülfat) ile 22° ye kadar keskin bir düşüş sergilemiş ve bu en düşük temas açısı kollektör yokluğunda elde edilmiştir (Nalaskowski, et al., 1998).

Diğer bir grup araştırmacı ise, doymuş bir kolemanit çözeltisinin temas açılarını değişik SDS (Sodyum Dodesil Sülfat) konsantrasyonlarında ve değişik pH değerlerinde düz, temiz dilinimli kolemanit yüzeyinde, sessile-drop tekniği kullanılarak rame-hart goniometer ile ölçmüştür. Kolemanit yüzeyindeki temas açısı ölçümleri kolemanit yüzeyindeki su temas açısının, hidrofobluk derecesindeki gelişmeyi gösteren toplayıcı konsantrasyonundaki artış ile arttığını, pH artışına bağlı olarak da temas açısının azaldığını tespit etmişlerdir. Her iki durumda da, ilerletimli ve geri dönümlü temas açısı değerleri arasında, adsorbe olmuş yüzey yapıcı tabakanın heterojenliği yüzünden, hafif bir fark vardır ama temas açısı kesikliği üç dereceyi geçmemektedir. Ölçülen temas açısı değerleri SDS (Sodyum Dodesil Sülfat) varlığında şaşırtıcı derecede düşüktür ve 5-19° arasında değiştiği bulunmuştur. Daha geniş hidrofobik karşılıkların yokluğu kolemanit yüzeyinde ölçülen nispeten küçük su temas açıları ile açıklanır. Su temas açısı ve hidrofobluk olarak ölçülen tane hidrofobluğu arasındaki ilişkiyi gösteren çok sayıda çalışma vardır. Genelde minerallerin daha iyi yüzebilmesi için daha yüksek temas açıları gereklidir (Nalaskowski, et al., 1998).

2.6. Kolemanitin Zenginleştirilmesi

Kıymetli bor minerallerini oluşturan kolemanit, üleksit, tinkal, pandermit ve kernit gibi minerallerin zenginleştirilmesindeki amaç, kendilerine eşlik eden kalker, jips, marn, volkanik tuf, ağırlıklı olarak kil, mika ve organik madde gibi kıymetsiz gang minerallerinden ayırmaktır.

Bor cevherlerinin zenginleştirilmesinde uygulanan yöntemler kıymetli bor minerallerinin ve kıymetsiz yan taşlarının yapısal özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Zenginleştirme işlemlerinde, mineralin fiziksel, fizikokimyasal ve kimyasal özelliklerinden yararlanılmaktadır. Değerli ve değersiz mineralin birbirinden ayrılması bu mineraller arasındaki özellik farklarına dayanılarak gerçekleştirilmektedir. Sertlik, gevşeklik, yapı ve kırılış şekli, renk ve parlaklık, özgül ağırlık, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik, fluoresans, radyoaktivite, yüzey ve ara yüzey özellikleri, ısı özellikleri ve farklı çözünürlük olarak tariflenen bu özellikler iki veya

daha fazla sayıdaki minerallerin birbirlerinden hangi yöntemlerle başarı ile ayrılabilceğini belirlemektedir. Ancak seçilen yöntemin maliyeti ile elde edilecek konsantr ürünün saflık derecesi ve getireceği kar arasında bir dengenin bulunması da çok önemlidir (Kayta, 1991).

Bu anlatılan mineral özelliklerinin ışığı altında kolemanitin zenginleştirilmesinde aşağıdaki yöntemler uygulanır.

2.6.1. Elle ayıklama ile zenginleştirme

Bu yöntemde kolemanit ile kendine eşlik eden gang minerallerinin renk, parlaklık ve kristallerinin yapısal özellikleri arasında farklılarından yararlanılmaktadır. İri boyutlarda uygulanan bu yöntem ile serbest olan gang mineralleri uzaklaştırılmakta ve kolemanit serbest iri parça halinde, nihai ürün olarak elde edilmektedir (Kayta, 1991).

2.6.2. Boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

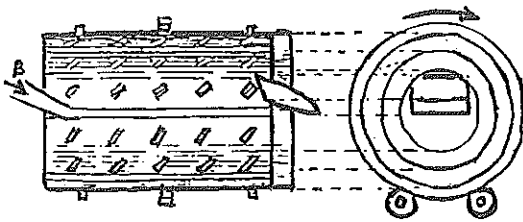
Boyuta göre küçültme işlemleri sırasında cevheri oluşturan mineraller, dayanıklılık, farklı kırılış şekli, dilinim, su ve ısı ile dağılma gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı büyüklük ve şekilde kırılabilmektedir. Bazen değerli olan mineral iri kalırken değersiz mineral fazla ufalanabilir bazen de bunun tam tersi olur. Her iki durumda da boyuta göre sınıflandırma ile değerli mineral belirli ölçüde zenginleştirilebilir (Kayta, 1991).

2.6.3. Mekanik dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma ile zenginleştirme

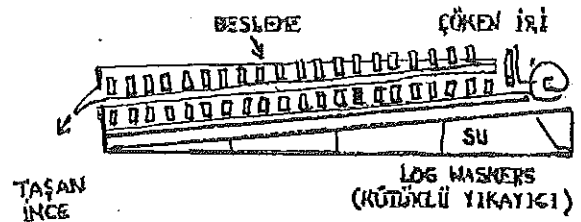
Kolemanit cevherine eşlik eden gang minerallerinden killen en önemli safsızlıkları oluşturmaktadırlar. Genellikle miktarca büyük oranlarda bulunan bu kil minerallerinin su alıp şişme ve su içinde dağılma özelliklerinden yararlanılmaktadır.

Kolemanit cevherinin, mekanik dağıtma sonucu pülp içinde dağılan ince boyutlu killer, boyuta göre sınıflandırılarak iri boyutlu kolemanit minerallerinden kolaylıkla ayrılabilirler.

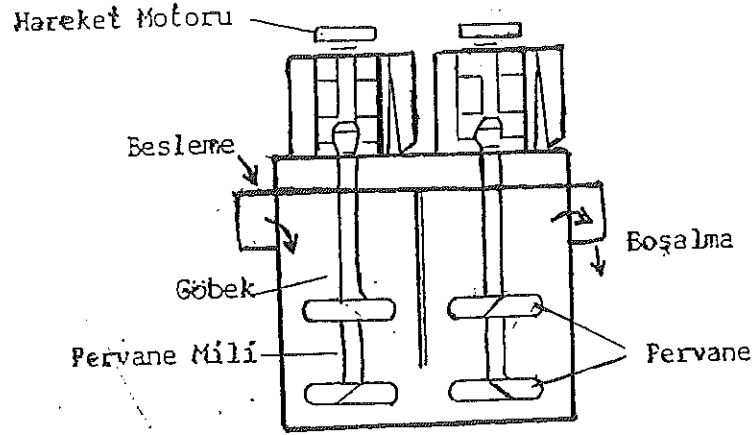
Mekanik dağıtma işleminde aktarma tamburu, Kütüklü yıkayıcı (Log-Washers) ve Pervaneli dağıtıcı (Scrubber) cihazları kullanılmaktadır. Aktarma tamburları silindirik veya silindirokonik gövdeli olup gövdelerinin içi yüzeyi malzemeyi kaldıracı ve su ile daha fazla teması sağlayacak plakalarla kaplıdır (Şekil 2.6). Kütüklü Yıkayıcılar ortalama 700 cm boyunda, 100 cm eninde ve 50 cm derinliğinde, 15°-20° eğimle yerleştirilmiş bir yatak ve bu yatak üzerine yerleştirilmiş, karıştırma işleminin yapan kütükten ibarettir. Dönen (15-25 d/d) kütüğün keçeçleri arasına sıkışan kolemanit cevheri içindeki kil, su içinde dağılarak artık kenarından taşma ile uzaklaşır. Bu cihazda hem dağıtma hem yıkama işlemi aynı anda yapılmaktadır (Şekil 2.7). Pervaneli dağıtıcı yüzeyleri killerle kaplanmış taneler içeren cevherlerden killeri uzaklaştırmak amacı ile kullanılmaktadır. Pervaneli Dağıtıcı bir tank içindeki mil üzerine takılmış, kanatları birbirine göre ters olan karıştırıcı pervanelerden oluşur (Şekil 2.8). Yüksek devirde dönen pervaneler parçalar arası sürtünme ve darbe ile dağılmayı sağlarlar. Beslenen cevherler 4-5 mm boyutu altında ve % 65-70 katı içeren pülp halinde olmaktadır. Dağıtmaya uğramış ve tanktan dışarıya atılan kolemanit cevherinin mutlaka yıkama ve boyuta göre ayırmaya tabi tutulması gereklidir (Kaytaç, 1991).



Şekil 2.6. Aktarma Tamburu



Şekil 2.7. Kütüklü Yıkayıcı (Log-Washer)



Şekil 2.8. İki Pervaneli Dağıtıcı (Scrubber)

Mekanik dağıtma işlemi ile yapılan bir araştırmada; % 60 katı oranında 15 dakika süre ile % 36.72 B_2O_3 tenörlü bir ön konsantre % 90.90 verimle elde edilebileceği ve giren malzemenin % 43.23'ünün % 4.71 B_2O_3 tenöründe atılabileceği görülmüştür. (Kaytaç, 1991).

2.6.4. Gravite yöntemi ile zenginleştirme

Ağır ortam ve benzeri metotları kapsar. Böyle bir metodun başarılı olabilmesi için aşağıda verilen konsantrasyon kriteri (k)'nin 2.5 yada daha büyük olması gerekmektedir.

$$K = (d_A - d) / (d_B - d)$$

d_A = Ağır Mineralin Özgül Ağırlığı

d_B = Hafif Mineralin Özgül Ağırlığı

d = Akışkan Ortamın Özgül Ağırlığı

Kolemanit cevherlerinde gang minerali olarak bulunan kalsitin özgül ağırlığı 2.7 gr/cm^3 , kilin özgül ağırlığı 2.0 gr/cm^3 , volkanik tüflerin özgül ağırlığı ise 1.95 gr/cm^3 olarak alınabilmektedir.

Su ortamında kolemanit - kil, kolemanit - kalsit ve kolemanit - volkanik tuf ayrılmasında konsantrasyon kriteri aşağıdaki değerleri almaktadır.

Kolemanit - Kil için	K=1.27	
Kolemanit - Kalsit için	K=1.21	
Kolemanit - Tuf için	K=1.40	olmaktadır.

K Konsantrasyon kriteri değerlerine göre değerli mineral kolemanitin gang mineralleri kil, tuf ve kalsitten ayrılabilmesinin $1.5 > K > 1.25$ şartlarında gerçekleşmesi ancak ağır ortam ve jig ile kabul olacak, çok ince boyutlara kadar inilemeyecektir. Nitekim 1.75 g/cm^3 özgül ağırlığında olan bir ağır ortam kullanılması halinde K değeri;

Kolemanit - Kil için	K=1.86	
Kolemanit - Kalsit için	K=1.46	
Kolemanit - Tuf için	K=2.60	olmaktadır.

Bu değerler kil ve tuf için ancak ağır ortam siklonlarının kullanılarak, ince boyutlara kadar ayırım yapılabileceğini, kolemanit-kalsit ayırmasının ise çok güç olacağını göstermektedir.

Bigadiç $-3+0.2 \text{ mm}$ boyutlu ve % 29.51 B_2O_3 tenörlü bor artığı numuneleri ile yapılan deneylerde % 46.40 B_2O_3 tenörlü konsantre % 78.90 verim ile elde edilmiştir (Kayta, 1991).

2.6.5. Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme

Minerallerin iletkenlik farkına dayanan ve mineral tanelerinin kuru olarak zenginleştirilmesi için uygulanan yöntem Elektrostatik Zenginleştirme veya Yüksek Gerilim Zenginleştirme adı verilmektedir. Esas olarak elektrostatik kuvvetlere dayanan bu yöntemde mineralin yüksek gerilim altında statik bir elektrik yükü kazanıp bu yükü bir süre kaybetmeme özelliğinden yararlanılmaktadır. Dünya literatüründe, kolemanit minerali ile yan taşları kalsit, jips, tuf, marn, kil ve biotit minerallerinin

elektrostatik ayırma yöntemi ile birbirinden ayrılmasını konu edinen bir araştırmaya rastlanılmamıştır.

Değerli mineral kolemanitin elektrostatik özelliklerinin manyetik olmayan yalıtkan mineraller grubundan anhidrit, muskovit, kalsit, kuvars ve jips normal sıcaklıklarda aynı olduğu, ancak ısıtıldıklarında sıcaklık artışı ile farklı iletken özellik kazanacakları ön deneyler ile saptanmıştır. Nitekim normal oda sıcaklığı koşullarında yapılan elektrostatik ayırma deneylerinde çok az ayırma olurken numunenin ısıtılması neticesi sıcaklık artınca, iletkenlik farkları da artmakta ve kolemanit mineralleri, değersiz gang minerallerinden daha kolaylıkla ayrılabilirler. Ancak kalsitin de aynı şekilde iletkenliği bir ölçüde arttığından elde edilen konsantrde B_2O_3 tenörünün belirli bir seviyeden daha yukarılara çıkarılmasının mümkün olmadığı da görülmüştür.

Emet artık göletinden alınan kolemanit numunesi ile yapılan elektrostatik ayırma deneyinde; Numune $(-3+1.68)$ mm, $(-1.68+0.707)$ mm, $(-0.707+0.297)$ mm, $(-0.297+0.063)$ mm ve -0.063 mm boyutlarına, yaş eleme ile ayrılarak çalışılmıştır. Bu boyut gruplarında 15000 Volt gerilim, 50 °C numune sıcaklığı, tüp ve iğne uçlu elektrotların beraber kullanılması halinde, 5 d/d tambur devri ve 8 kg/h besleme hızı şartlarında çalışılmıştır (Kaytaz, 1991).

2.6.6. Isıl işlemler ve boyuta göre ayırma ile zenginleştirme

Bazı mineraller ani ısıtma ve soğutmaya tabi tutulduklarında yada belirli ısı derecesine getirildiklerinde, kristal sularını veya uçucu bileşenlerini kaybederek dağılma ve ufalanma özelliği gösterirler. Bu olaya **Dekrepitasyon** adı verilmektedir. 1967 yılında ABD’de alınan bir patent ile kolemanit mineralinin öğütülerek akışkan bir yatakta 350 °C sıcaklık ve gaz akımı altında ısıtıldığında suyunu kaybederek ufalandığı, dekrepitasyon ürünlerinin siklonlardan geçirilerek tutulduğu ifade edilmektedir. Bu metotla % 80 B_2O_3 verimine ulaşıldığı da bildirilmektedir. Dekrepitasyon metodunun uygulamasında önemli olan hususun, mineralin sürüklenmeyecek şekilde kümelenmesini önleyecek ısılarda çalışılması gereği de bilinmektedir. Ayrıca bu metot

ile zenginleştirmede bazı mineraller buhar halinde uçurulabilirler (Sönmez ve Savaş, 1994).

Kolemanit cevheri ısı işlemlere tabi tutulduğunda belirli ısı derecesinde kristal suyunu kaybederek dekrepite olmakta, bu işlem sonucu ufalanarak ince boyutlara inmektedirler. Kolemanite eşlik eden değersiz gang mineralleri kalsit, jips, kil, tuf ve mikalar daha yüksek sıcaklıklarda dekompoze olmakta, düşük sıcaklıklarda ufalanmadan boyutlarını muhafaza etmektedirler. Kolemanit cevherinin belirli sıcaklık derecesinde ısıtılarak dekrepite edilmesi ve bu işlemleri izleyerek boyuta göre ayrılması sonucu, kristal suyunu kaybederek ince boyutlara ufalanmış olan kolemanit cevheri konsantre olurken, daha yüksek sıcaklıklarda bozduğu için orijinal tane boyutlarını muhafaza eden jips, kalsit, kil, tuf gibi gang mineralleri ise bu boyuta göre ayırma sonucu iri boyutlarda kalarak kolemanit mineralinden ayrı atık malzemesini meydana getireceklerdir (Kaytaç, 1991).

Bigadiç artık barajı, % 18 B₂O₃ içerikli kolemanit artıklarının ısı işlem ve boyuta göre ayırma ile zenginleştirilmesi sonucu % 57.80 B₂O₃ tenörlü kolemanit konsantresi % 22.10 verim ile elde edilmiştir. Arsenik miktarı ise % 0.63'den % 0.18'e düşmüştür (Kaytaç, 1991).

Emet artık barajı, % 24-25 B₂O₃ içerikli kolemanit artıkları ile yapılan dekrepitasyon deneyleri kolemanit mineralinin 380 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kristal suyunu kaybedip ufalanma özelliği göstermesi ve gang minerallerinin ufalanmaması ısı işlem sonucunda seçimli bir konsantre alınmasını olanağı kılmaktadır. Deneyler sonucu optimum koşulların 400 °C , 20 dakika veya 500 °C , 15 dakika olabileceği görülmüştür. 400 °C ve 20 dakika ile yapılan dekrepitasyon deneyinde % 34.09 B₂O₃ tenör ve % 95.72 B₂O₃ verimi ile bir konsantre elde edilirken giren malzemenin % 21.33'ünü % 4.76 B₂O₃ tenör ve % 4.28 verim ile atılabileceği görülmüştür. Aynı koşullarda şlamı atılmış malzeme (-4.0+0.045) mm ile yapılan dekrepitasyon deneyinde ise % 43.85 B₂O₃ tenör, % 98.40 verim ve giren malzemeye göre % 83.45 verim ile bir konsantre elde edilmiştir (Sönmez ve Savaş, 1994).

2.6.7. Manyetik ayırma ile zenginleştirme

Kolemanit cevherinin içerdiği gang minerallerinin arasında demir içeriği yüksek biotit ve klorit gibi paramanyetik özellik gösteren minerallerin yapılan bir araştırmaya göre manyetik duyarlılıklarının $6.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ ile $8.7 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ arasında olduğu saptanmıştır. Kil ve marn boyut küçültme işlemlerinden sonra kilinden arındırılmakta ve bunu izleyerek Pemroll yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı kullanılarak demir içerikli biotit ve kloritin manyetik ürün olarak ayrılmasıyla geriye kalan manyetik olmayan ürün içinde kolemanit cevheri konsantre edilebilmektedir (Kaytaç, 1991).

Emet artık barajından alınan kolemanit numunesinden 2 saat suda bekletme sonucu -0.045 mm deki şlam atılarak $(-4.0+0.045) \text{ mm}$ boyut grubunda % 33.20 B_2O_3 tenörlü bir ön konsantre elde edilmiş ve bu ön konsantre kurutularak yapılan manyetik ayırma deneyi sonucu % 38.68 B_2O_3 tenör, % 82.18 verim ve giren malzemeye göre % 69.76 verim ile bir konsantre elde edilmiştir. Değişik fraksiyonlarda yapılan deneylerde % 39.63 B_2O_3 tenöre kadar konsantre elde edilebilmiştir. Manyetik ayırma deneyleri sonucu demir oldukça azalmakta iken realgarın manyetik olmamasından dolayı arsenik azalmamaktadır (Sönmez ve Savaş, 1994).

2.6.8. Ultrasonik hareket ile zenginleştirme

Ultrasonik banyo, içerisinde bulunan suya mikro boyutta titreşimler gönderebilen bir cihazdır. Bu işleme, suda bekletme ve mekanik dağıtma işlemlerine tabi tutulduğu halde kolemanit cevherinden hala ayrılmamış sert killeri biraz daha ufalayıp eleme işlemi ile kolemanit cevherinden ayrılmaktadır. % 24.27 B_2O_3 tenörlü kolemanit artığının mekanik dağıtma işlemi sonrası şlamı (-0.045 mm) atılmıştır. Şlamı atılmış malzeme ultrasonik banyo işlemine tabi tutulmuş ve sürenin etkisini görmek amacıyla 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 dakika süreler için ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. (Sönmez ve Savaş, 1994).

2.6.9. Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme

Kolemanitin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi konusunun araştırılmaya başlanması 1950'lili yıllara dayanmaktadır. Ancak 1935'de Kuzin, 1937'de Andreeva ve Kuzin, 1939'da Harris ve Malozemoff, 1940 yılında ise Knickboker'in boraks mineralinin temizlenmesinde özel kollektör karışımları oleik asit ve acintol gibi kollektör reaktifler ve iki değerlikli çinko ve baryum tuzlarını canlandırıcı reaktifler olarak kullandıkları veya bor mineralinin doğrudan yüzdürülmesi yerine, asitle muamele edip meydana gelen borik asiti kolaylıkla yüzdürdükleri bilinmektedir (Köse ve diğerleri, 1983).

Yarar'ın 1979 yılında yapmış olduğu bir araştırmada Cyanamid firması yetkilileri ile yapılan bilgi alışverişi sonucu, % 30 katı içeren bir mineral karışımının, Sodyum Silikat ile 10 dakika karıştırıldıktan sonra % 10 katı ihtiva edecek şekilde seyreltildiği, şlamın atıldığı, iri boyutlu cevherin uygun bir boyuta öğütüldüğü, cevher sülfürik asit ile muamele edilerek pH'nın ayarlandığı 2 lb/ton R801, 1 lb/ton R825 ve 1 lb/ton fuel-oil kullanılarak 10 dakika kıvam ve 2 dakika flotasyon zamanı verilerek yüzdürüldüğü belirtilmektedir (Yarar, 1979).

1963 yılında Rusya'da Klassen ve arkadaşları, kolemanit gibi suda az çözünen bir bor minerali olan Hidroborasitin flotasyonunu incelemişlerdir. Bu araştırmada gang minerali jips'in nişasta ile bastırıldığı, Hidroborasitin ise canlandırıldığı anyonik bir kollektör reaktif kullanılarak da Hidroborasitin % 18.20 B₂O₃ tenör ve % 92.20 B₂O₃ verimi ile yüzdürüldüğü ifade edilmektedir (Klassen, et al., 1963).

Diğer bir çalışmada, Nekal adlı bir reaktifin Kerosen ve Nişasta karışımı ile birlikte kullanıldığı, % 34 B₂O₃ tenör ve % 81 verimle bir Hidroborasit konsantresinin elde edildiği bildirilmektedir (Köse ve diğerleri, 1983).

Yarar'ın 1971 yılında yaptığı araştırmalar sonucu ise 1 kg/ton naftanik asit ve 1.2 kg/ton Kerosen veya 0.5 kg/ton R825 ve 0.085 kg/ton naftanik asit veya 0.5 kg/ton

naftanik asit, 0.29 kg/ton sülfanat ve 0.9 kg/ton kerosen emülsiyonları kullanılarak pH 9-10 da -35 mesh altına öğütülen % 36 B₂O₃ tenörlü kolemanit cevherinden, % 93 verim ile % 45-47 B₂O₃ tenörlü konsantreler elde edilmiştir (Yarar, 1971).

1988 yılında İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama Ana Bilim dalınca yapılan bir araştırmada % 36.20 B₂O₃ tenörlü bir ön konsantreden 2500 gr/ton miktarında R801+R825 karışımı kollektör ile 4 dakika süre ve pH=10 koşullarında % 44.40 B₂O₃ tenörlü bir konsantre % 85.13 verimle elde edilmiştir (Boztepe, 1988).

2.7. Realgarm Zenginleştirilmesi

Arsenik, 30'dan çok mineralin bileşeni olarak görülebilir. Başlıca kaynakları arsenopirit, arsenik sülfid, nikel ve kobalt arsenikler ve birçok sülfür-sinitlerdir. Bu mineraller nadiren yalnızca arsenik için çıkarılırlar. Arseniğin en bilinen mineralleri realgar ve orpimenttir (Weiss, 1985).

Arsenik zenginleştirilmesi iki amaç için yapılabilmektedir. Ya arsenik konsantresi üretimi amaçlanmakta yada birlikte bulunduğu bor minerallerinde zararlı bileşik olarak görüldüğünden, bu minerallerden uzaklaştırılmak maksadıyla zenginleştirilebilmektedir. Yapılan çalışmalar genellikle bor minerallerinden uzaklaştırma amacını taşımaktadır. Çünkü bor cevherlerinden elde edilen ürünler bir sonraki endüstri alanında kullanılırken içerdikleri arsenik miktarının çok düşük değerlerde olması istenmektedir. Ocaktan üretilen tüvenan cevherlerde oldukça yüksek arsenik olabilmektedir (4000-5000 ppm). Günümüzde gelişen çevre bilincinden dolayı ürünlerdeki arsenik miktarı daha da önem kazanmaktadır (Köse ve diğerleri, 1983).

Arsenik pratikte çeşitli cevherlerden mekaniksel, katı ekstraksiyon ve flotasyon yöntemleri ile ayrılabilmesine rağmen, kolemanit cevheri içerisinde çok çok ince tane boyutlarında dağıldığı için kalsinasyon en iyi yöntem olarak görülmektedir. Demir, kobalt, volfram vb. cevherlerden arsenik ayrılmasında mekaniksel ayırma, katı ekstraksiyon ve flotasyon metotları kullanılmaktadır. Arsenik minerallerinin çok ince

boyutlarda dağıldığı cevherlerde flotasyon ve kalsinasyon yöntemleri uygulanabilmektedir (Çakaloz, 1969 ve 1971).

2.7.1. Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme

Doğada en çok realgar (AsS), orpiment (As_2S_3) ve Arsenopirit (FeAsS) olarak rastlanan arsenik genellikle kompleks bakır, kurşun, çinko, altın, gümüş, nikel ve antıman üretimleri sırasında bir yan ürün olarak elde edilmektedir. Arsenik minerallerinin, arsenik değerleri için çıkarılanları azdır. Bunlar diğer minerallerden sık sık flotasyon yöntemi ile ayrılırlar. Realgar doğal bir hidrokarbon kollektör olarak kullanıldığında kolayca yüzen ancak flotasyon için ağır bir metal tuzu ile canlandırılmayı ve dextrin ile bastırılmayı gerektirir. Arsenopirit, bakır sülfat veya amonyum tiyosiyanat tarafından ksantatlar ile canlandırılır ve pH= 9.5-10.5 iken en iyi flotasyona uğrar pülpün havalandırılması özellikle serbest sülfid iyonu varlığında, arsenopirit flotasyonunda etkilidir. Arsenopirit siyanat iyonu ile bastırılır (Weiss, 1985).

Sovyetler Birliğinde % 11 As içeren Lukhum arsenik cevherleri (Realgar, Orpiment) 1964 yılına kadar elle ayıklamanın dışında hiçbir zenginleştirme işlemine sokulmadan doğrudan metalurji fabrikalarına gönderilerek kalsine edilmiş ve beyaz arsenik üretilmiştir. Ancak 1964'ten sonra ocaktan çıkarılan cevherler, flotasyon tesisinde zenginleştirilip, zengin arsenik konsantresi (% 40 As) halinde kalsinasyona verilmeye başlanmıştır (Köse ve diğerleri, 1983).

Yapılan araştırmalarda elde edilen verilere göre realgar ve orpiment minerallerinin flotasyonunda pH en az 9 olmalıdır. Bu minerallerin flotasyonunda toplayıcı artıkları (Sikloheksanal: $C_6H_{11}OH$)'dan yararlanıldığından bahsedilmektedir. Glem Botskii ise, realgarın ağır metal iyonlarıyla aktive edildikten sonra ksantatlarla kolayca yüzdürülebileceğini, orpiment flotasyonunun realgar ve arsenopirite göre daha zor olduğundan bahsetmekte, Shale Tar (Bir çeşit katran)'ın orpiment için kuvvetli bir toplayıcı olduğunu belirtmektedir (Köse ve diğerleri, 1983).

Yarar tarafından yapılan bir araştırmada ise realgarın yzdrlmesinde amyacı ve kerosen kullanılarak olumlu neticeler alındığından bahsedilmektedir. akaloz ise arsen minerallerinin yzdrlmesinde kollektör olarak sodyum izopropil ksantat, borik asit, amyacı ve gazyağı denemiş ve 2 lt kapasiteli tek hücreli flotasyon cihazında -113 + 200 mm boyutunda 20 dakika süre ile flotasyon deneyi yapmıştır. Deney sonucunda % 0.5 As_2O_3 girişli cevherden % 96 verimle % 0.25 As_2O_3 rn elde etmiştir. Yüzdürme reaktifleri miktarlarının değiştirilmesiyle sonucun etkilenmediği grlmştir (akaloz, 1969).

MTA tarafından 1983 yılında, Emet bölgesinden alınan tuvenan cevher numuneleri ile pH=9-9.5'da KEX, kerosen, Flotol B 130 ve Na_2SiO_3 reaktifleri kullanılarak yapılan deneyler neticesinde arsenik minerallerinin kolemanit, kalsit ve kil mineralleri içerisinde kripto ve mikro oluşumlar halinde bulunduğunu, bu nedenle cevher bünyesinde bulunan arseniğin tamamen temizlenmesi için cevherin çok ince tane boyutuna kadar oğtlmesi gerektiğini tespit etmişlerdir (Köse ve diğerleri, 1983).

Deneylerin sonunda;

- Cevherin % 90'ının - 43 mikron tane boyutuna oğtlp, şlam (-20 mikron) kil atılmasını takiben yapılan flotasyon çalışmaları sonucunda % 54.10 As içerikli konsantreyi, % 82.50 As verimi ile elde etmişlerdir. Artıktaki As tenörü ise % 0.2 olmuştur.

Yine MTA tarafından 1988 yılında Emet bölgesinden alınan tuvenan cevher numuneleri ile kolemanit ve arsenik zenginleştirmeye yönelik yapılan çalışmalar'da gazyağı, amyacı ve flotol B kullanarak;

- Arsen minerallerinin ancak şlam atıldıktan sonra flotasyon yöntemi ile zenginleştirilebileceğini,

- Gazyağı, bir petrolyum sülfanat ile emlsife edildikten sonra kollektör olarak kullanıldığında hem daha etkin olacağını hem de toplayıcı miktarının azalacağını tespit etmişlerdir.

- % 0.64 As tenörlü bir numuneden, bu deneyler sonucunda % 26.59 As tenörlü % 47 verimle bir arsenik konsantresi elde etmişlerdir (Köse ve diğerleri, 1988).

ABD'de, arsenik minerallerinin bor cevherlerinden flotasyon yöntemi ile ayrılması ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışma, realgar gibi arsenik materyalinin üleksit, kolemanit, tinkal gibi bor cevherlerinin sıcak sularından bir flotasyon reaktifi olarak veya olmaksızın uzaklaştırılmasını sağlayan bir prosestir. Çalışmaya göre As_4S_4 veya As_2S_2 şeklindeki en önemli arsenik minerali olan realgar, tinkal gibi eriyebilen bir boraks cevherinde en azından 75 °C sıcak sulu ortamda köpük flotasyonu ile ayrılmış, aynı zamanda atıkta arsenik mineralleri içeren flotasyona uğramış kısımdan ayrılmıştır. Deneyler doğal pH'ta yapılmıştır. Bu tek aşamalı bir flotasyon işlemi ile mevcut arseniğin % 80-98 uzaklaştırmayı mümkün kılmıştır. Bu işlem 75-100 °C de gerçekleşir. Bu işlemde sulu çamur, flotasyon reaktifi ile kıvamlandırılır. Reaktifler alkil ksantat veya kerosendir. Bu işlemde mineral realgardır. Cevher tinkal, üleksit veya kolemanittir. PH en azından 9 iken flotasyon gerçekleşir. Bu deneylerde 8200 ppm As_2O_3 içeriği 151 ppm As_2O_3 düşürülebilmektedir (US Borax and Chemical Corp., 1974).

Yine bir çalışmada yaklaşık 10 mg/dm³ kadar düşük konsantrasyonlardaki arsenik çözeltisinden arseniğin etkin bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için ferrik hidroksitin yardımcı çöktürücü, anyonik bir yüzey aktif kimyasal olan sodyum dodesil sülfatın toplayıcı olarak ve azot mikro köpüklerin kullanıldığı; pH'ın etkisi, sodyum dodesil sülfat ve Fe^{+3} ün miktarları, gaz akış hızı ile NO_3^{-1} , SO_4^{-3} ve PO_4^{-3} ve Al^{+3} gibi dış anyonların ilavesinin, flotasyon yoluyla arsenik ayırımına etkisi test edilmiştir. PH değerinin 4-5 aralığında olmasıyla etkin arsenik ayırımının % 99.50 oranında gerçekleşebileceği saptanmıştır. Optimal uygulama koşulları ise 35 ppm sodyum dodesil sülfat, 80 ppm Fe^{+3} , 40 cm³/dak. Gaz akışı, 500 dev/dak karıştırma hızı ve 50 dakika ferrik hidroksit flok oluşumu zamanı olmuştur (Peng, 1994).

2.7.2. Kalsinasyon yöntemi ile zenginleştirme

Cevherde bulunan arsenikli bileşikler yapı içinde çok ince boyutlarda dağılmış veya kenetlenmişse, zenginleştirmede kalsinasyon metodu tercih edilmektedir. Kalsinasyon için de akışkan yataklı kalsinasyon yöntemi tercih edilmektedir. Akışkan yataklı kalsinasyon cihazlarının diğer kalsinasyon cihazlarına üstünlüğü, kalsinasyon bölgesindeki ince taneli maddelerin homojen bir karışma rejiminde kalsine edilebilmesi ve istenilen sıcaklığın bütün kalsinasyon bölgesinde sabit tutulabilmesidir (Çakaloz, 1969 ve 1971; Çakaloz ve diğerleri, 1985).

Düşük tenörlü sülfürlü arsenik cevherleri zenginleştirildikten sonra elde edilen ürün kalsinasyona tabi tutulmaktadır. Buradan elde edilen ürün, endüstride gerekli tüm arsenikli preparatların hazırlanmasında kullanılan arsenik anhidrit (As_2O_3) veya bir başka bir deyişle beyaz arseniktir. Arsenik başlıca, diğer metallerin eritmesi sırasında baca tozlarından elde edilir, baca gazlarında bazen % 30 As_2O_3 bulunur ve pazarlanabilir bir ürün olarak % 90-95'lik As_2O_3 elde edilebilir (Weiss, 1985).

Diğer metallerin ergitilmesi sırasında elektro çökticilerde toplanan arsenik baca gazları, bir reverber fırınında az bir miktar pirit ve düşük tenörlü galenle kavrulur. Kavurma fırınında arsenik oksit içeren gazlar soğutulur. Ham beyaz arsenik olan ve yoğunlaşan katı % 90-95 saflıktadır (Çakaloz, 1969 ve 1971).

T. Çakaloz'un Emet bölgesinden aldığı numuneler ile yaptığı bir çalışmada; Bir pilot tesiste, 400 °C yatak sıcaklığında, yarı indirgen atmosfer altında geliştirilen deneylerden, cevherde bulunan arseniğin % 95.50 kadarının giderilebildiği anlaşılmaktadır. Bu iş için kalsinasyon süresi 75 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu metodla elde edilen sonuçların, flotasyon, siklon ayrılması (partikül mekaniği) ve katı ekstraksiyon metotları ile elde edilen sonuçlardan daha ekonomik olduğu görülmüştür. Deney esnasında etken olan parametreler; kalsinasyon sıcaklığı, tane iriliği, kalsinasyon süresi ve gaz kompozisyonudur. Deneyler sonucunda optimum şartlar tespit edilmeye çalışılmıştır (Çakaloz, 1969 ve 1971; Çakaloz ve diğerleri, 1985).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme ve Yöntem

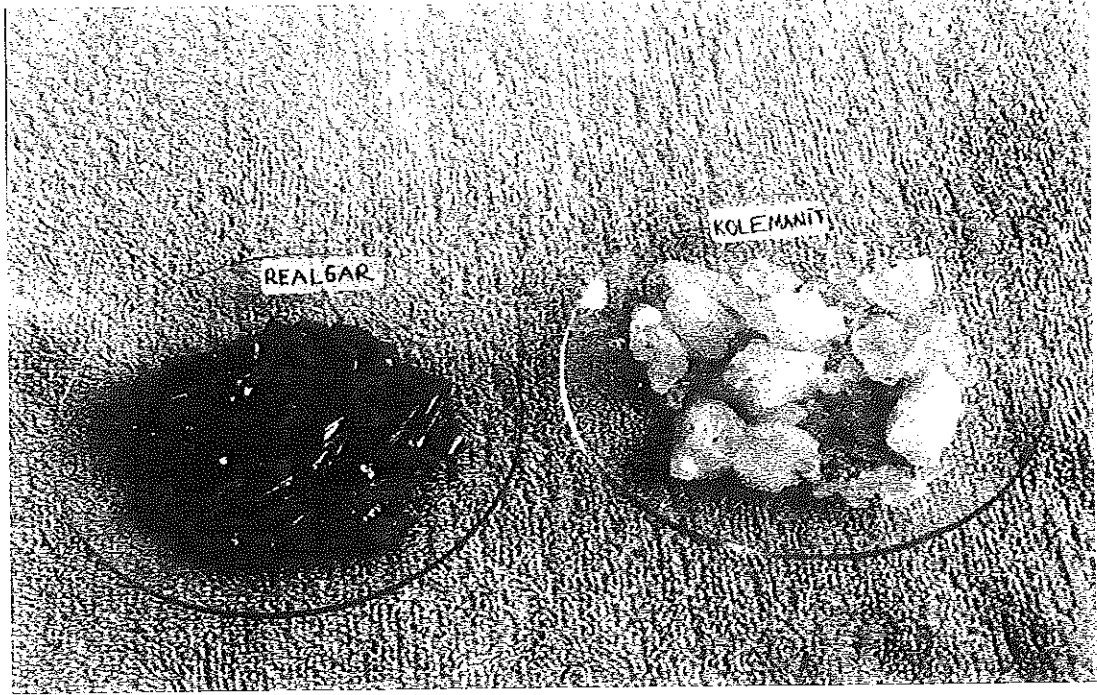
Bu çalışmada, Emet kolemanit cevherinin içinde çok ince boyutlarda dağılmış arsenik minerallerinin, kolemanit cevherinden flotasyon yöntemiyle ayrılabilirliğinin tespiti için, kolemanit ve realgar minerallerinin yüzey özellikleri ve flotasyon davranışları belirlenmeye çalışılmıştır.

Cevher yatağında arsenik minerali olarak realgar ve orpiment mineralleri mevcuttur. Realgar minerali, kristal ve ince toz halinde bulunurken, orpiment minerali, realgar mineralinin güneş ve hava ile teması sonucu oluşmakta ve toz halde bulunmaktadır.

Kolemanit ile arseniğin ayrılabilirliğini araştırmak için öncelikle yüzey özelliklerinin tespiti gereklidir. Yüzey özelliklerinin tespiti için mineralin mümkün olduğunca saf olması gerekmektedir. Yüzey özelliklerinin tespitinde; cevher yatağında doğal olarak oluşmuş % 95'in üzerinde saflığa sahip, çok temiz kolemanit kristalleri ve kolemanit kristallerinin üzerinde saçak şeklinde, nadir oluşmuş realgar kristalleri kullanılmıştır (Şekil 3.1). Kolemanit ve realgar kristallerinin kimyasal analizleri çizelge 3.1 ve 3.2 de verilmiştir.

Elle toplanan temiz kolemanit ve realgar mineralleri agat havanda öğütülerek deneyler için numuneler hazırlanmıştır. Öğütülen kolemanit ve realgar minerallerinin boyut dağılımları çizelge 3.3 ve 3.4 de verilmiştir. Elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde - 0.038 mm boyutlu taneler kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar, elektrokinetik (zeta) potansiyel ölçümleri, temas açısı ölçümleri, infrared spektroskopisi ve flotasyon çalışmaları olmak üzere dört bölüme ayrılmıştır.



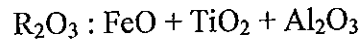
Şekil 3.1. Deneyleerde kullanılan kolemanit ve realgar kristalleri

Elektrokinetik potansiyel, temas açısı ve infrared spektroskopî çalışmalarıında flotasyon reaktiflerin etkilerini belirlemek için ksantatlar (KEX, KAX), sülfonatlar (R825, R840), anyonik toplayıcı (Na-oleat) ve katyonik toplayıcı (Armac-T) kullanılmıştır. Ayrıca bazı iyonların mineral yüzeyleri üzerindeki etkilerini araştırmak için $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, As_2O_3 , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , NaCl , BaCl_2 ve CaCl_2 tuzları ile de deneyler yapılmıştır.

PH ayarlamalarında HCl ve NaOH kullanılmıştır. Aksi belirtilmedikçe deneylerde damıtık su kullanılmıştır. Kimyasal analizlerde B_2O_3 tayini için HCl yöntemi, arsenik tayini için başlangıcı değiştirilmiş Gutzeit metodu kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kolemanit kristalinin kimyasal analizi

Madde	Miktar (%)
B ₂ O ₃	50.26
CaO	27.74
H ₂ O	21.66
SiO ₂	0.09
Na ₂ O	0.27
K ₂ O	0.15
MgO	0.25
R ₂ O ₃	0.08



Çizelge 3.2. Realgar kristalinin kimyasal analizi

Madde	Miktar (%)
As	46.69
SO ₄	52.04

Çizelge 3.3. Kolemanit mineralinin boyut dağılım sonuçları

Boyut (μm)	Kümülatif Elek Altı %	Kümülatif Elek Üstü %
+188	--	0.10
-188 +162	99.90	0.20
- 162+140	99.80	0.30
-140 +121	99.70	0.40
-121 +104	99.60	0.50
-104 +89.8	99.50	2.20
-89.8 +77.5	97.80	6.60
-77.5 +66.8	93.40	11.90
-66.8 +57.7	88.10	16.10
-57.7 +49.8	83.90	19.00
-49.8 +43.0	81.00	21.80
-43.0 +37.0	78.20	25.20
-37.0 +32.0	74.80	29.30
-32.0 +27.5	70.70	33.60
-27.5 +23.8	66.40	38.10
-23.8 +20.5	61.90	42.60
-20.5 +17.7	57.40	46.60
-17.7 +15.3	53.40	50.40
-15.3 +13.2	49.60	54.40
-13.2 +11.4	45.60	58.60
-11.4 +9.82	41.40	62.90
-9.82 +8.47	37.10	67.20
-8.47 +7.30	32.80	71.20
-7.30 +6.30	28.80	75.30
-6.30 +5.43	24.70	79.50
-5.43 +4.68	20.50	83.30
-4.68 +4.05	16.70	86.70
-4.05 +3.48	13.30	89.40
-3.48 +3.02	10.60	91.70
-3.02 +2.60	8.30	93.70
-2.60 +2.23	6.30	95.40
-2.23	4.60	--

Çizelge 3.4. Realgar mineralinin boyut dağılım sonuçları

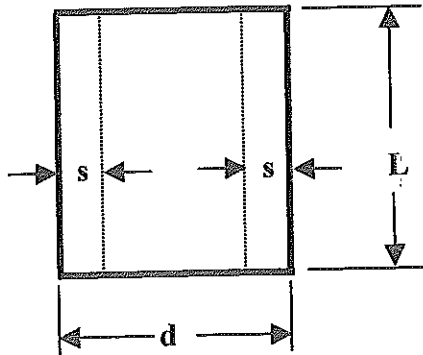
Boyut (μm)	Kümülatif Elek Altı %	Kümülatif Elek Üstü %
+188	--	1.10
-188 +162	98.90	2.30
-162 +140	97.70	3.50
-140 +121	96.50	4.70
-121 +104	95.30	6.00
-104 +89.8	94.00	8.60
-89.8 +77.5	91.40	13.60
-77.5 +66.8	86.40	19.20
-66.8 +57.7	80.80	23.50
-57.7 +49.8	76.50	26.30
-49.8 +43.0	73.70	28.90
-43.0 +37.0	71.10	32.00
-37.0 +32.0	68.00	36.00
-32.0 +27.5	64.00	40.30
-27.5 +23.8	59.70	45.10
-23.8 +20.5	54.90	42.60
-20.5 +17.7	50.00	50.00
-17.7 +15.3	45.60	59.00
-15.3 +13.2	41.00	64.30
-13.2 +11.4	35.70	70.00
-11.4 +9.82	30.00	75.70
-9.82 +8.47	24.30	80.60
-8.47 +7.30	19.40	84.70
-7.30 +6.30	15.30	88.30
-6.30 +5.43	11.70	91.50
-5.43 +4.68	8.50	94.30
-4.68 +4.05	5.70	94.70
-4.05 +3.48	5.30	98.20
-3.48 +3.02	1.80	99.00
-3.02 +2.60	1.00	99.50
-2.60 +2.23	0.50	99.70
-2.23	0.30	--

3.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Kolemanit ve arsenik bileşeni Realgarın elektrokinetik özelliklerini, potansiyel belirleyen iyonlarını (Pdi) ve değişik flotasyon reaktiflerindeki elektrokinetik özelliklerini belirlemek için zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Emet kolemanit yatağından el ile toplanan olabildiğince temiz kolemanit ve realgar kristal numuneleri agat havanda öğütülerek numuneler elde edilmiştir. Numuneler, oksidasyon ve rutubetten korunmak için, ağızları kapalı olarak plastik kaplarda saklanmıştır.

Elektrokinetik potansiyel ölçümleri mikro-elektroforez yöntemi ile Rank Brothers elektroforez cihazında yapılmıştır. Cihazın kalibrasyonu daha önceki araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Koca, 1992; Gence, 1991). Mineral taneciklerinin hareket hızını ölçebilmek için elektroosmoz'un olmadığı noktaları (stationary levels) belirlemek gerekir. Bu da hücrenin yüksekliğine ve genişliğine bağlı olarak değişir ve Komagata eşitliğiyle belirlenir (Rank Brothers Kataloğu; Özdağ, 1987).

$$\frac{s}{d} = 0.500 \left(0.0833 + \frac{32}{\pi^5} \frac{d}{L} \right)^{1/2}$$



d = Hücrenin kalınlığı

L = Hücrenin yüksekliği

s = Elektroosmozun olmadığı noktalar

Şekil 3.2. Mikroelektroforez hücresi

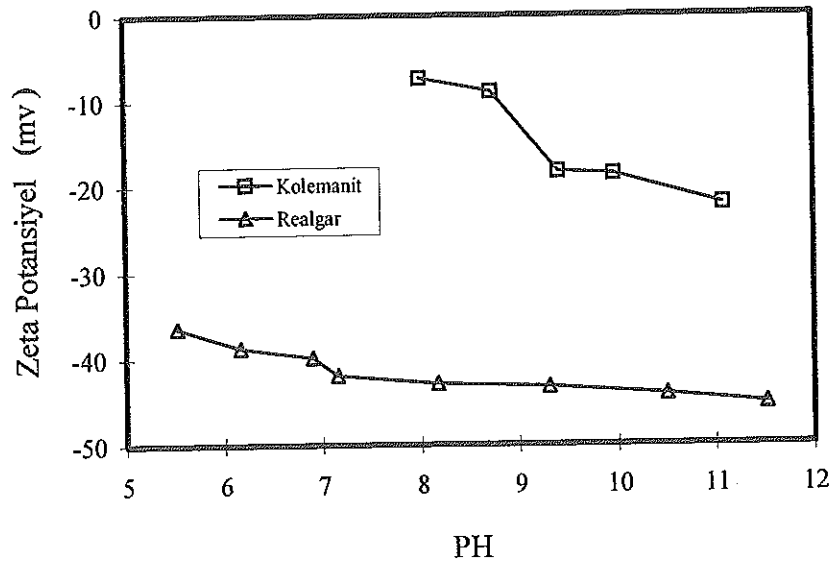
Elektrokinetik Potansiyel = 12.83 x U (Millivolt)

Ölçümler sırasında hücre tankındaki su sürekli 25 °C olarak tutulmuştur.

Elektroforez cihazında 20 adet tane sayılmış ve bunların ortalama değerleri alınarak elektrokinetik potansiyelleri hesaplanmıştır. Bu şekilde kolemanit ve realgar tanelerinin hareket hızları değişik pH değerlerinde ve çeşitli reaktiflerle, bu reaktiflerinin değişik konsantrasyonlarında ölçölerek zeta potansiyelleri hesaplanmıştır.

3.2.1. Kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline pH'n etkisi

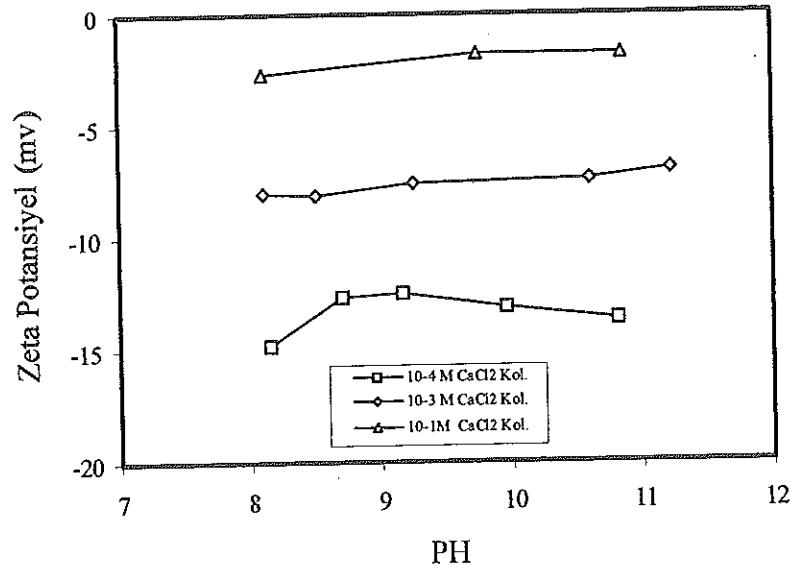
Kolemanit ve realgar minerallerinin pH'a bağlı zeta potansiyel değişimleri saf suda ölçölümüş olup, şekil 3.3 de verilmiştir. Kolemanit mineralinin pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi çizelge 4.1 de, realgar mineralinin pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi çizelge 4.2 de verilmiştir. Her iki mineral bütün pH değerlerinde negatif yüzey elektrik yükü göstermişlerdir.



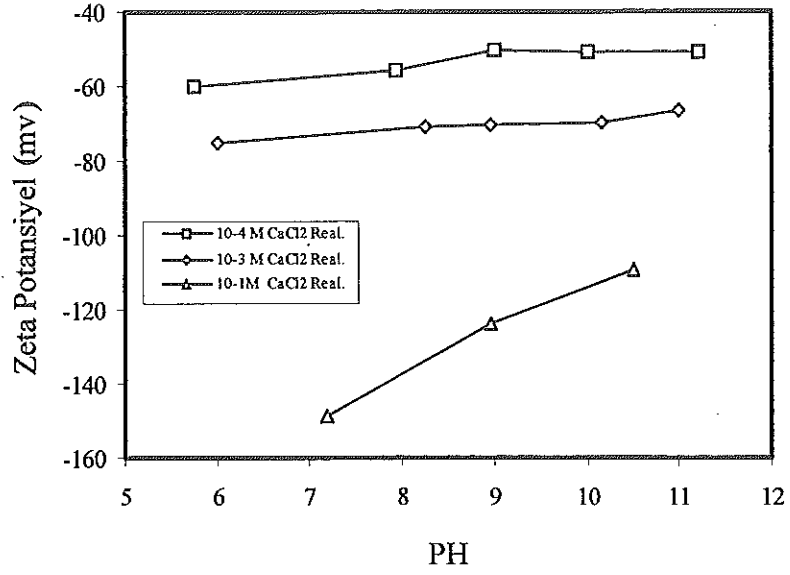
şekil 3.3. Kolemanit ve realgar minerallerinin, saf sudaki pH'a bağlı zeta potansiyel değişimleri

3.2.2. Çeşitli iyonların kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline etkisi

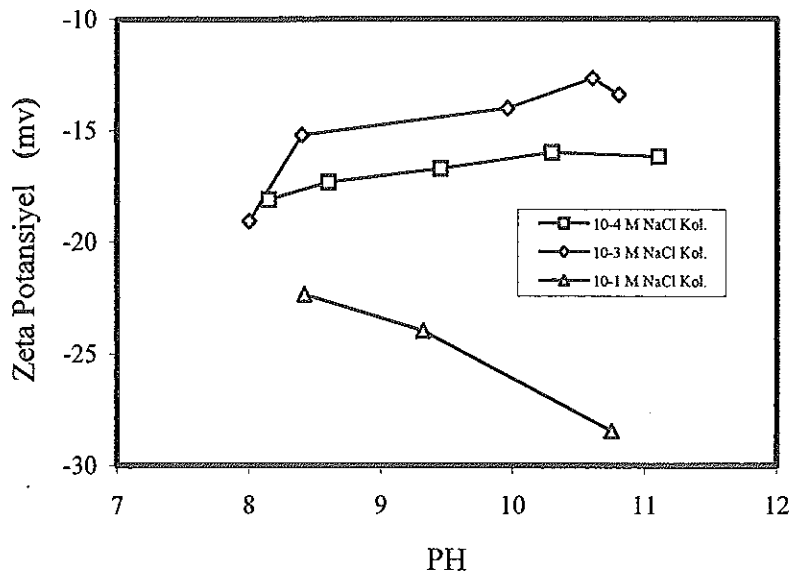
CaCl_2 , NaCl , BaCl_2 , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve As_2O_3 'ün kolemanit ve realgar minerallerinin zeta potansiyeline etkisi değişik pH'larda ve değişik konsantrasyonlarda incelenmiştir. Sonuçlar şekil 3.4 – 3.15 ve çizelge 4.3 – 4.14 de verilmiştir.



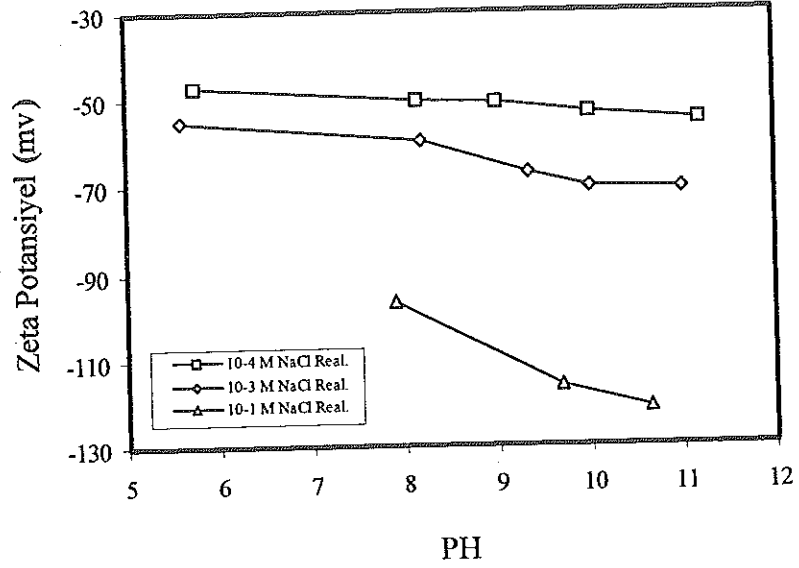
Şekil 3.4. Kolemanit mineralinin, CaCl_2 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



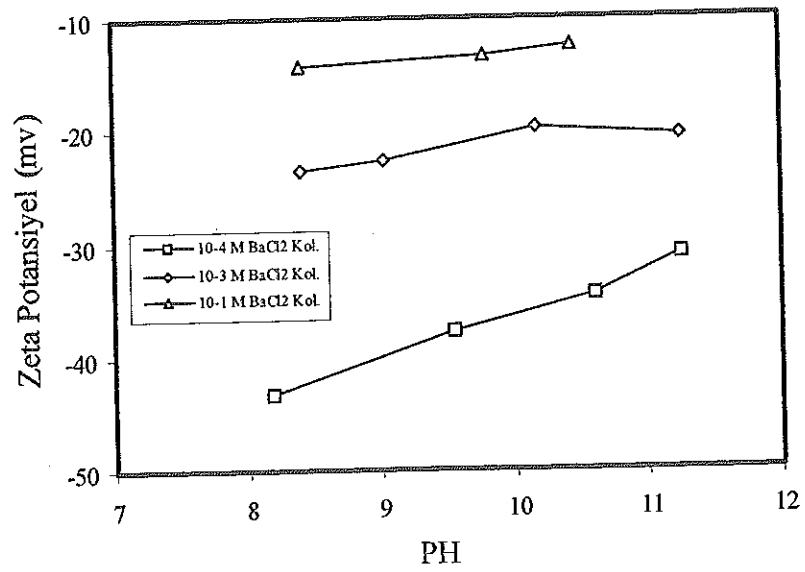
Şekil 3.5. Realgar mineralinin, CaCl₂'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



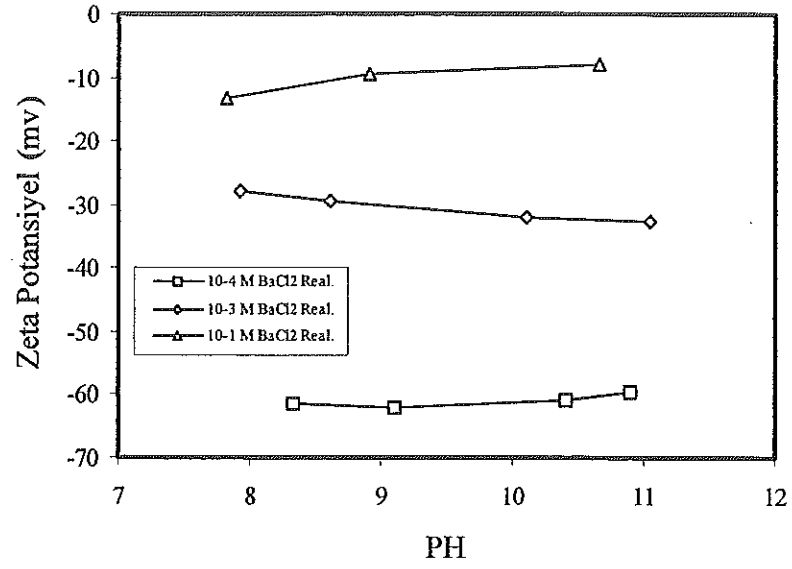
Şekil 3.6. Kolemanit mineralinin, NaCl'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



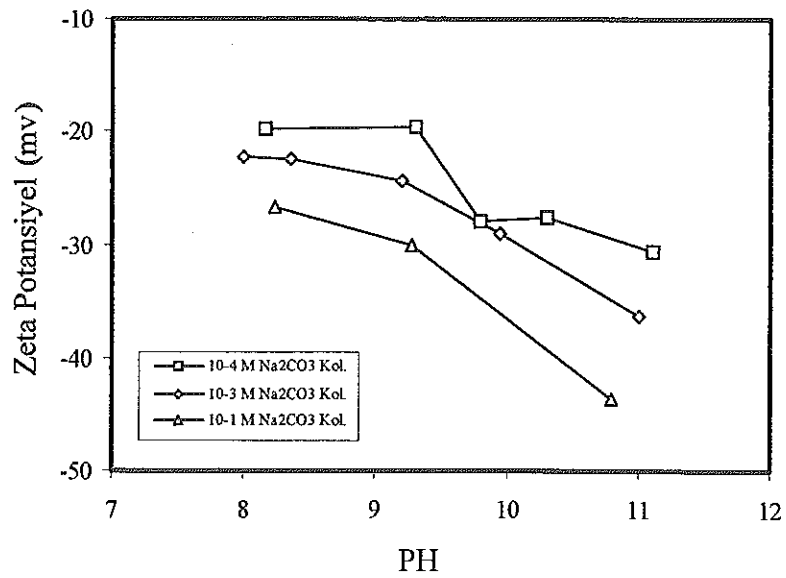
Şekil 3.7. Realgar mineralinin, NaCl'ün değişik konsantrasyonlarında PH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



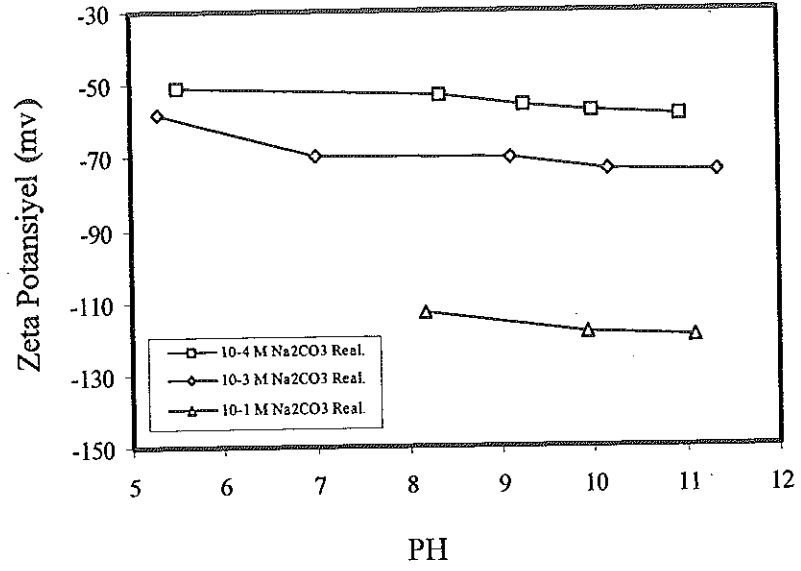
Şekil 3.8. K Colemanit mineralinin, BaCl₂'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



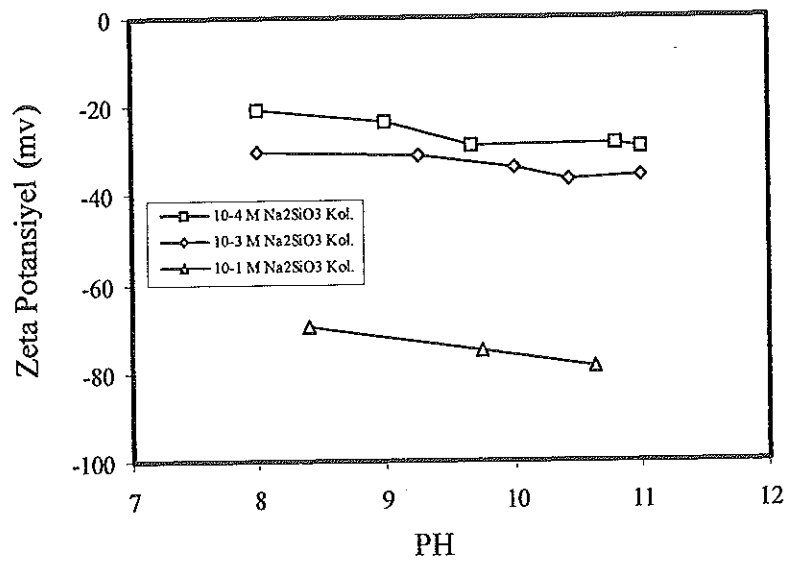
Şekil 3.9. Realgar mineralinin, BaCl₂'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



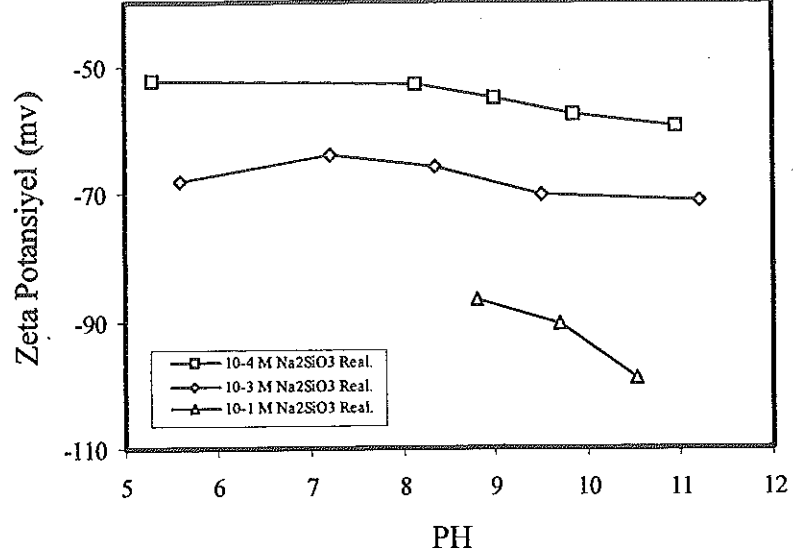
Şekil 3.10. K Colemanit mineralinin, Na₂CO₃'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



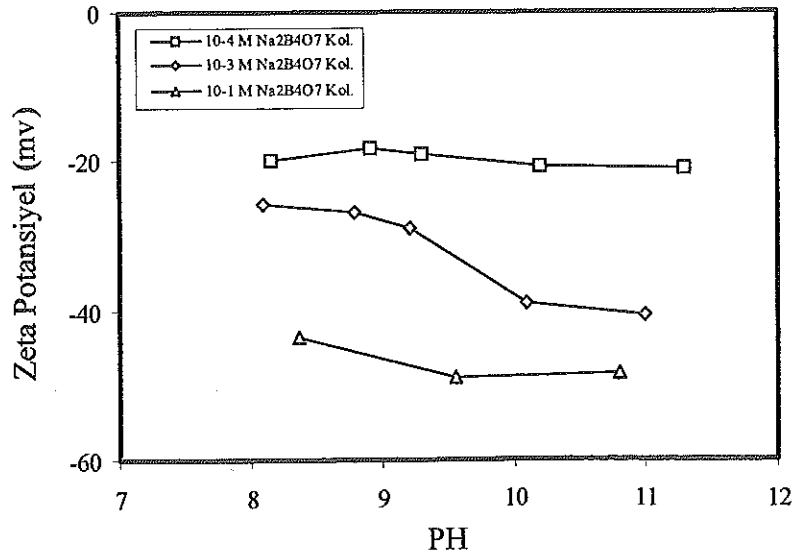
Şekil 3.11. Realgar mineralinin, Na₂CO₃'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



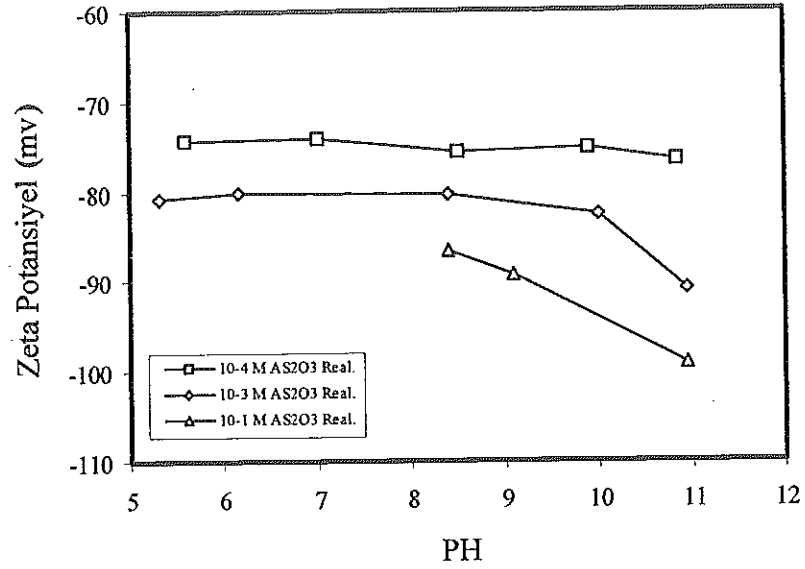
Şekil 3.12. K Colemanit mineralinin, Na₂SiO₃'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



Şekil 3.13. Realgar mineralinin, Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



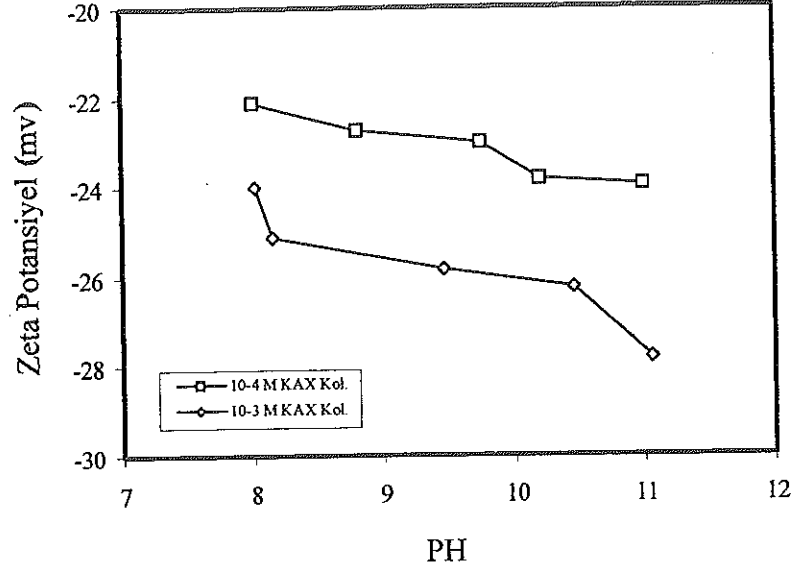
Şekil 3.14. Kolemanit mineralinin, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



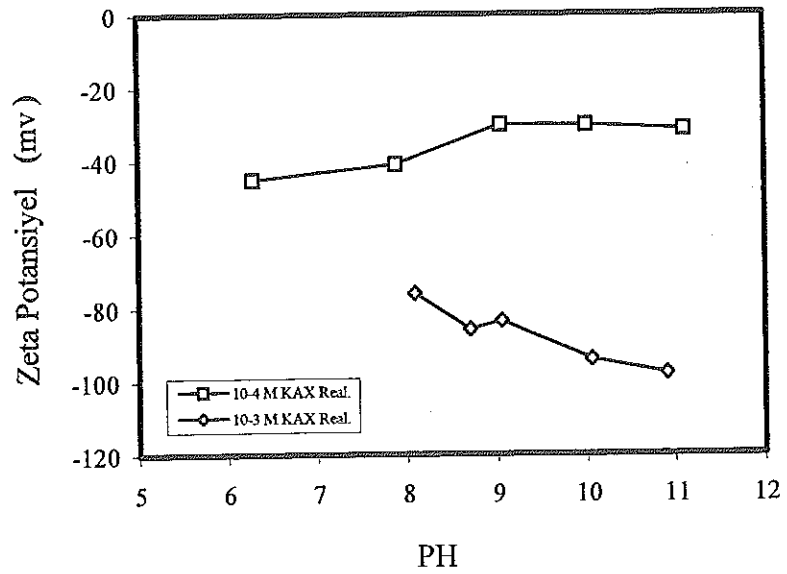
Şekil 3.15. Realgar mineralinin, As_2O_3 'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

3.2.3. Flotasyon reaktiflerinin, kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline etkisi

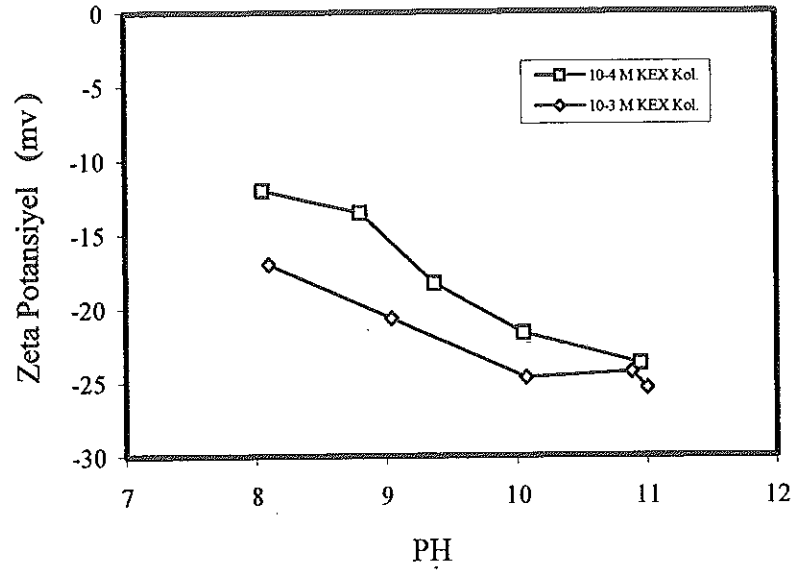
KAX, KEX, R825, R840, Na-Oleat ve Armac-T toplayıcılarının kolemanit ve realgar minerallerinin zeta potansiyeline etkisi değişik pH'larda ve değişik konsantrasyonlarda incelenmiştir. Sonuçlar şekil 3.16 – 3.27 ve çizelge 4.15 – 4.26 da verilmiştir.



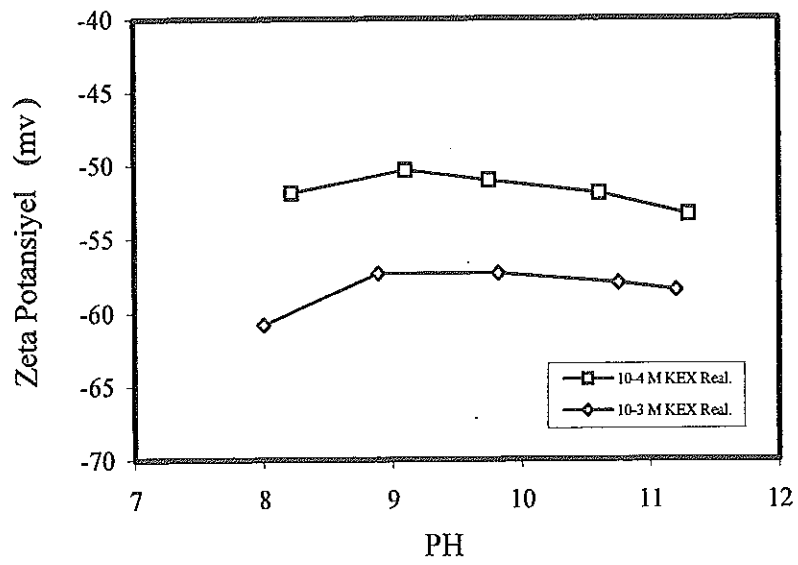
Şekil 3.16. Kolemanit mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



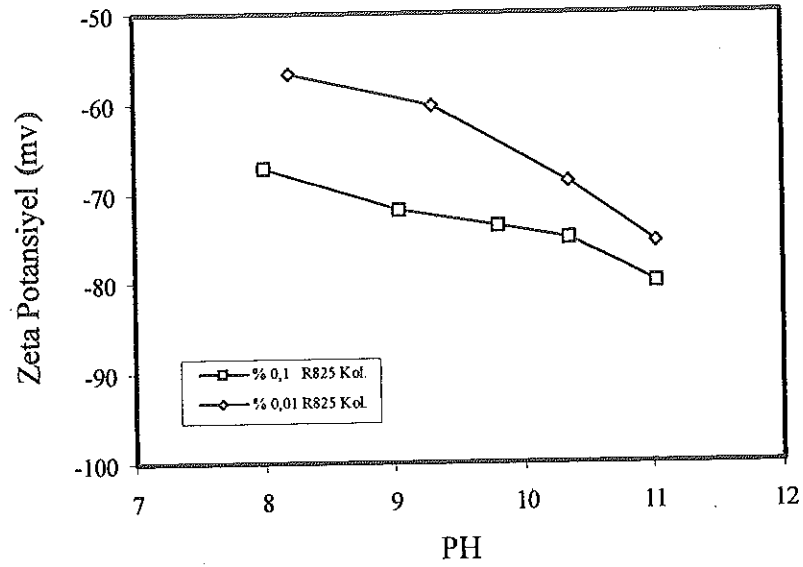
Şekil 3.17. Realgar mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



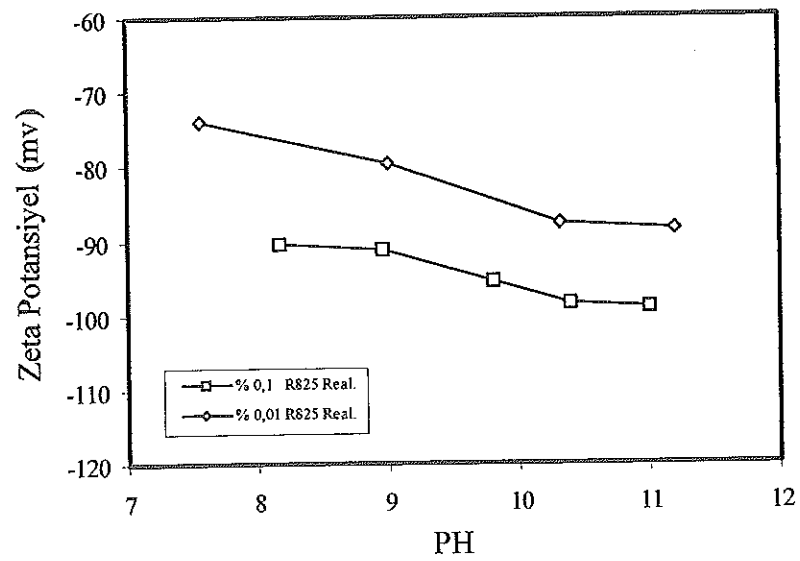
Şekil 3.18. Kolemanit mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



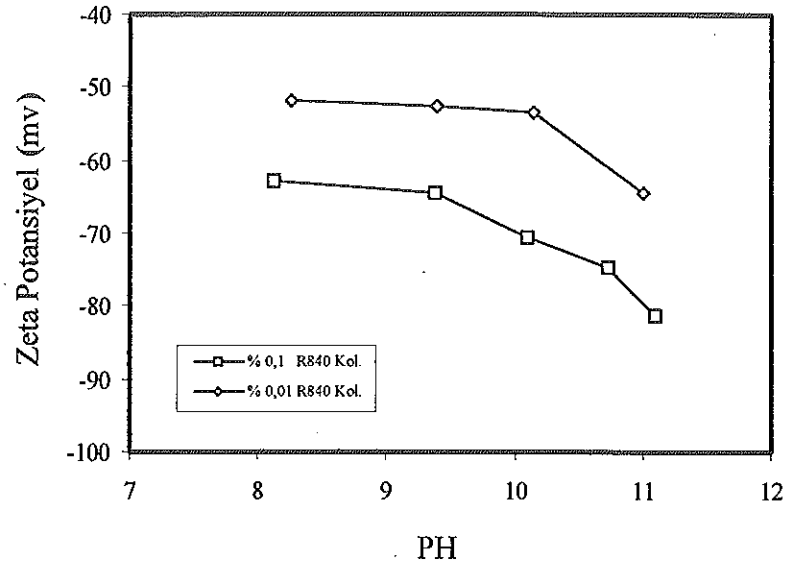
Şekil 3.19. Realgar mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



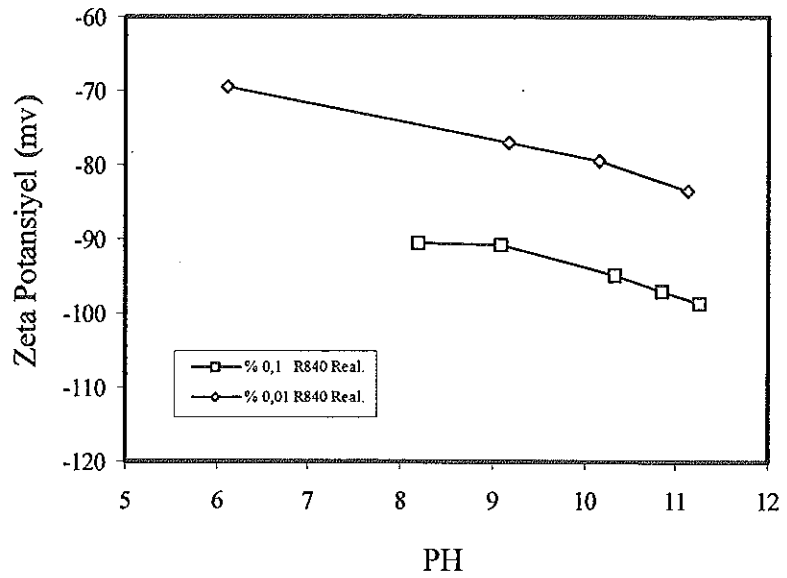
Şekil 3.20. Kolemanit mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



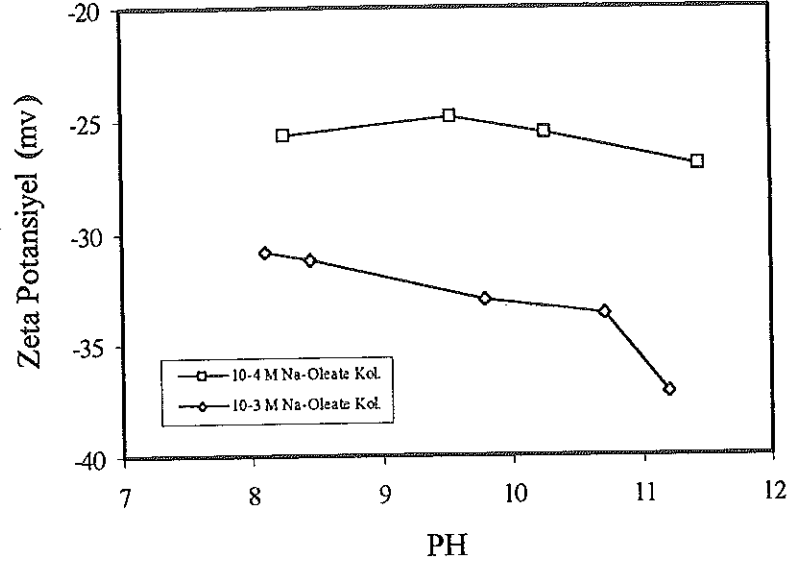
Şekil 3.21. Realgar mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



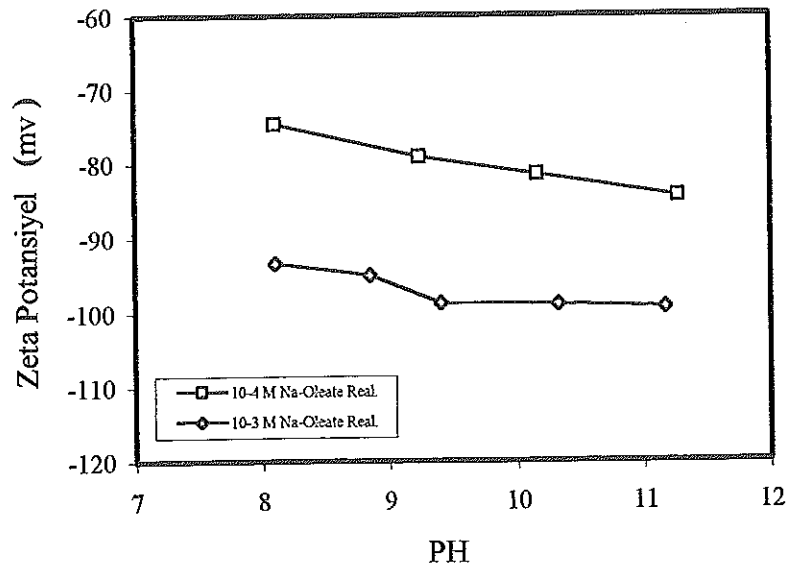
Şekil 3.22. Kolemanit mineralinin, R840'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



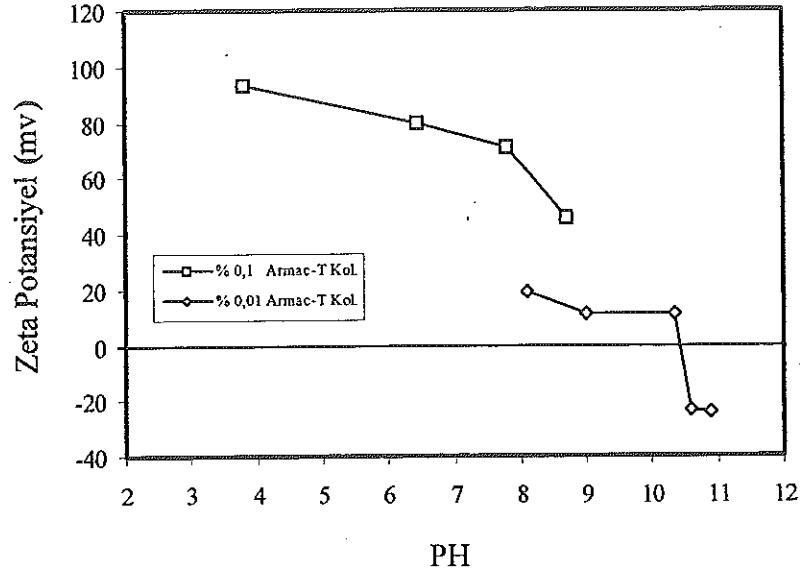
Şekil 3.23. Realgar mineralinin, R840'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



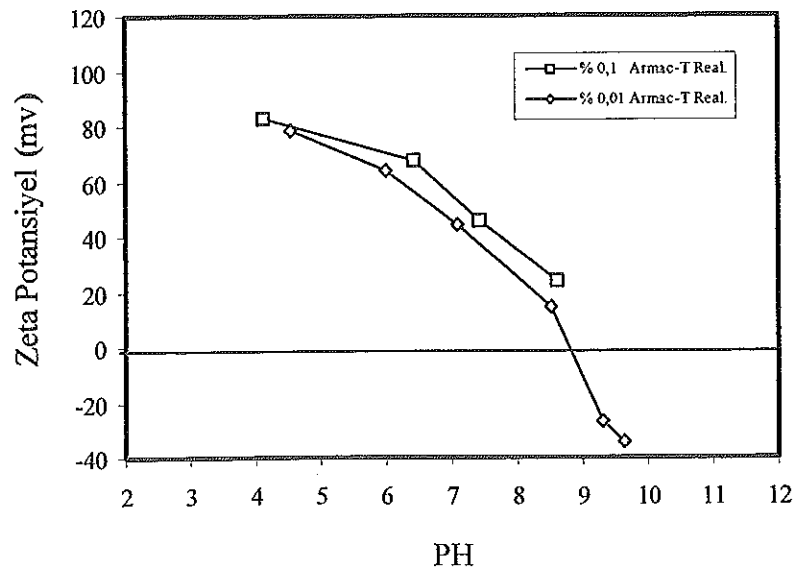
Şekil 3.24. Kolemanit mineralinin, Na- Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



Şekil 3.25. Realgar mineralinin, Na- Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



Şekil 3.26. Kolemanit mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi



Şekil 3.27. Realgar mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

3.3. İnfrared Spektroskopi Çalışmaları

İnfrared spektroskopi çalışmalarında el ile toplanmış temiz kolemanit ve realgar numuneleri kullanılmıştır. Bu çalışmalarda da elektrokinetik potansiyel ölçümleri için yapılan numune hazırlama işlemleri aynen uygulanarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler flotasyon reaktifleri ile istenen konsantrasyonda pH ayarlamaları yapılarak 3 saat süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra santrifüj ile katı-sıvı ayrımı yapılmıştır. Katı 40 °C altında bir sıcaklıkta 12 saat süre ile kurutulmuştur.

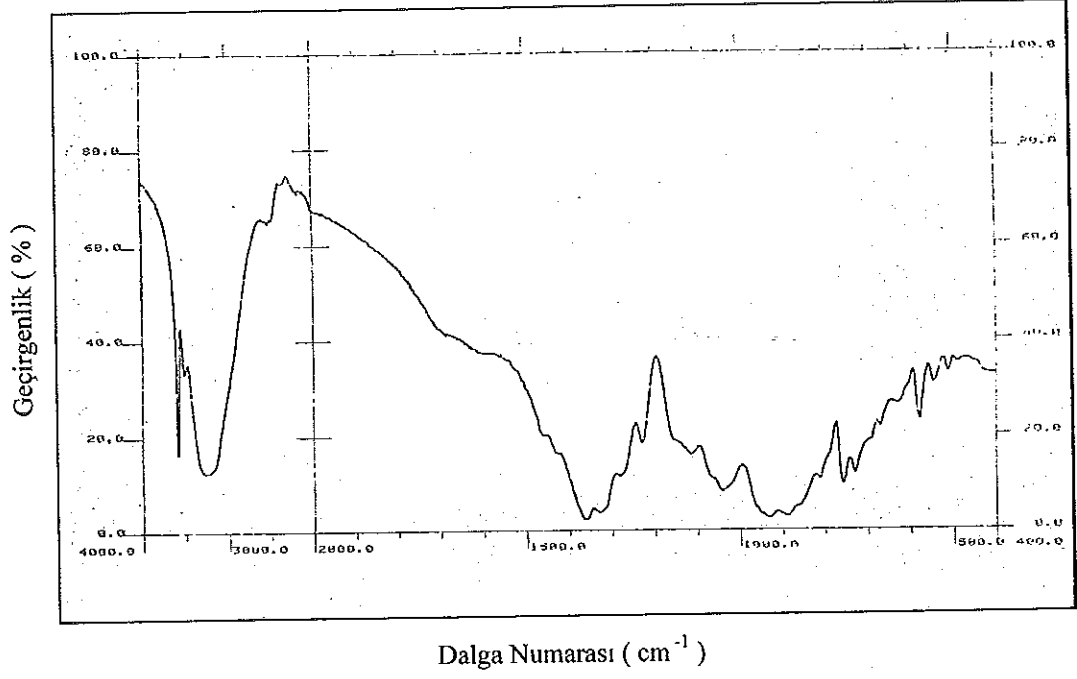
Kurutulan numunedan yaklaşık 0.02 gram alınarak 0.2 gram potasyum bromür (KBr) ile karıştırılmıştır. Karışım homojen bir hale gelen kadar agat havanda öğütülmüş ve bu karışımda basınç altında transperan peletler yapılmıştır. Pelet yapılırken çok yüksek basınçlarda daha iyi pelet olacağı düşüncesine kapılmamalıdır. Çünkü, gereğinden fazla olan basınç pelete yıldız şeklinde çatlamalara yol açar. Peletin yapıldığı kısmın havası alınır, içinde hava kabarcıkları da kalmaz. Pelet yapma zamanı gereksiz yere uzatılırsa, spektrumda sudan ileri gelen absorpsiyon pikleri meydana gelir.

Bu peletler spektroskopi cihazına yerleştirilerek ayarlamalar yapılmış ve spektrumlar otomatik olarak cihaz tarafından çizilmiştir (Silverstein, et al., 1974). İnfrared spektroskopi çalışmalarında Shimadzu IR-435 modeli cihaz kullanılmıştır.

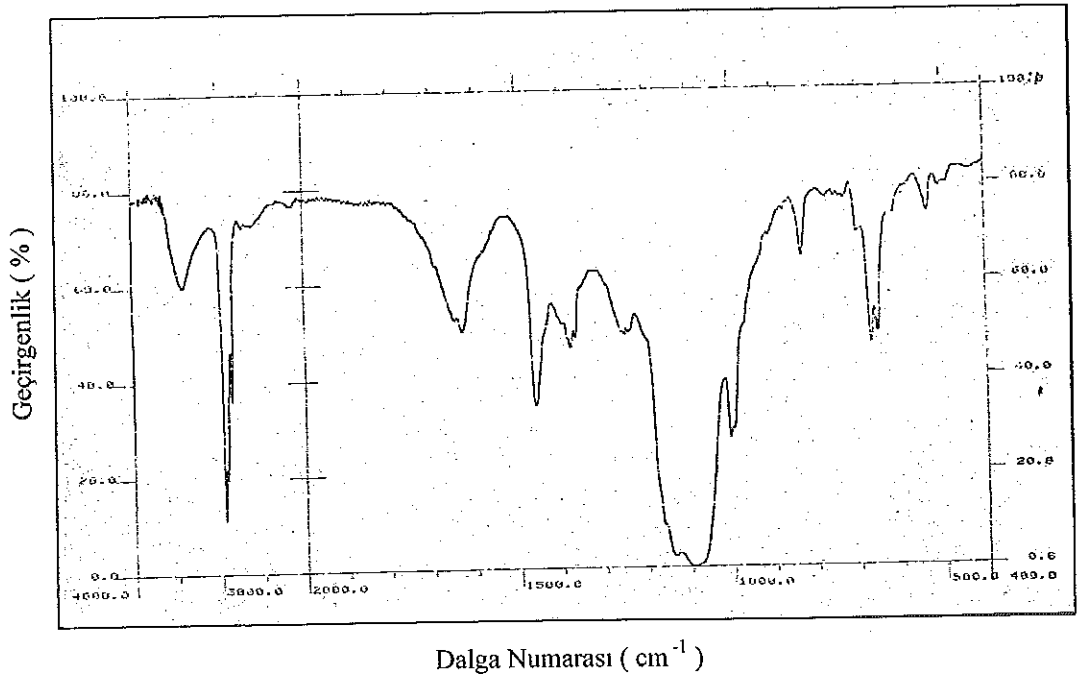
Yapılan infrared spektrofotometre ölçümlerinde kolemanit için bütün flotasyon toplayıcıları ile adsorpsiyon bantları tespit edilirken realgar için karakteristik bantlar tespit edilememiştir.

3.3.1. İnfrared spektroskopi çalışmalarının sonuçları

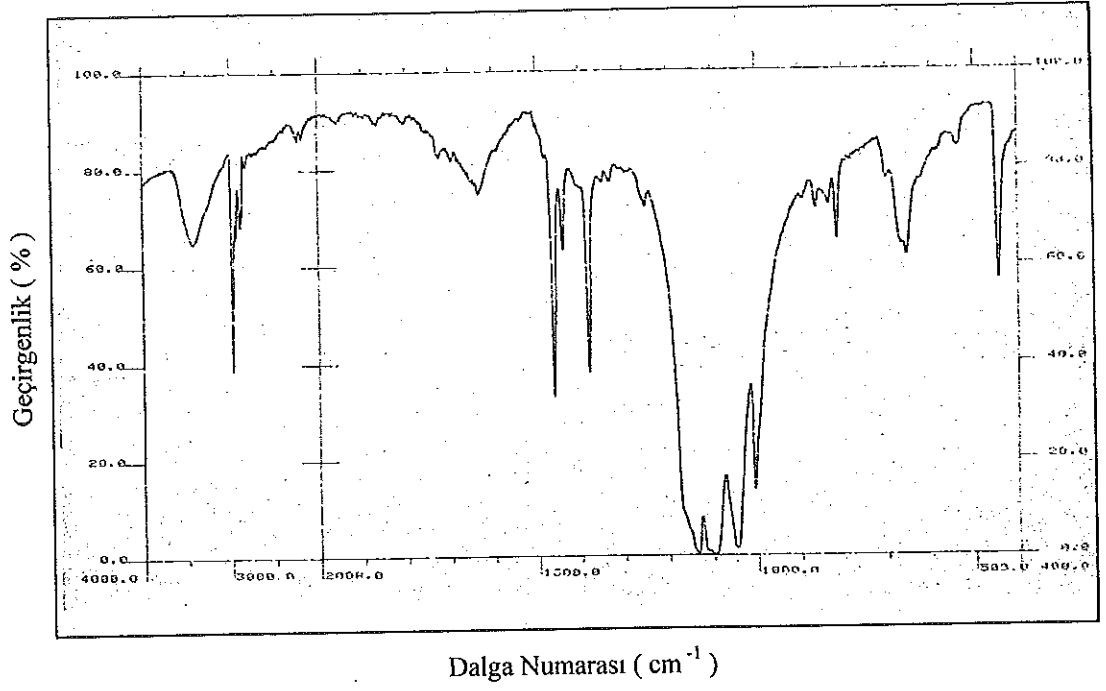
Yapılan infrared spektroskopi çalışmalarının sonuçları şekil 3.28 – 3.42 de verilmiştir.



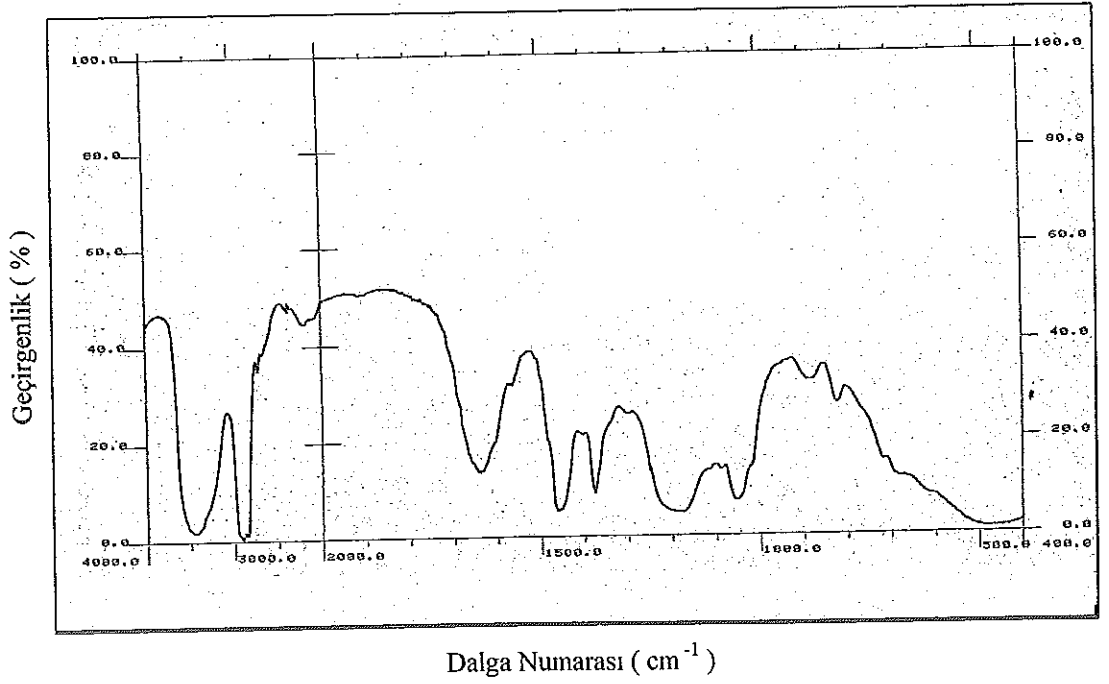
Şekil 3.28. Kolemanit mineralinin infrared spektrumu



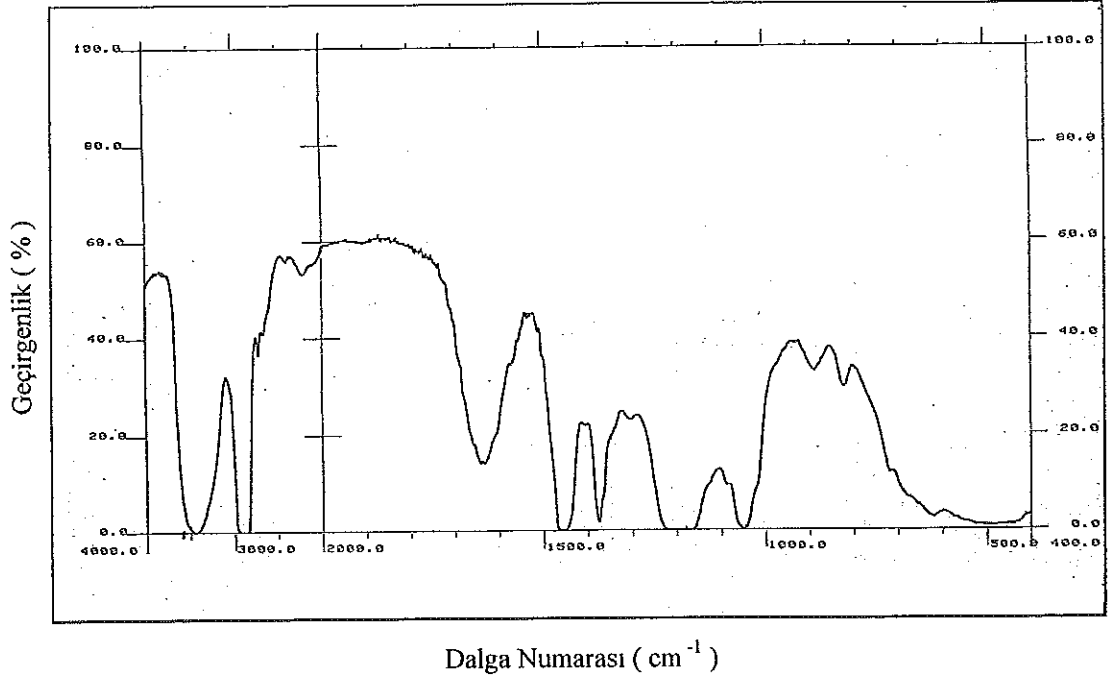
Şekil 3.29. KAX'in infrared spektrumu



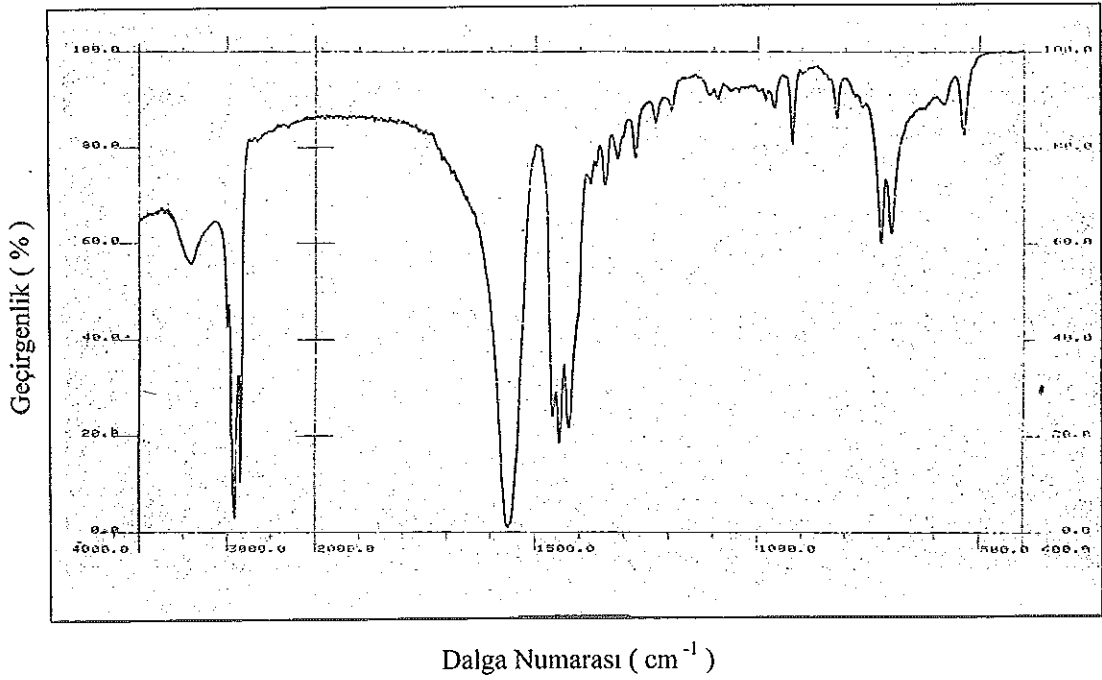
Şekil 3.30. KEX'in infrared spektrumu



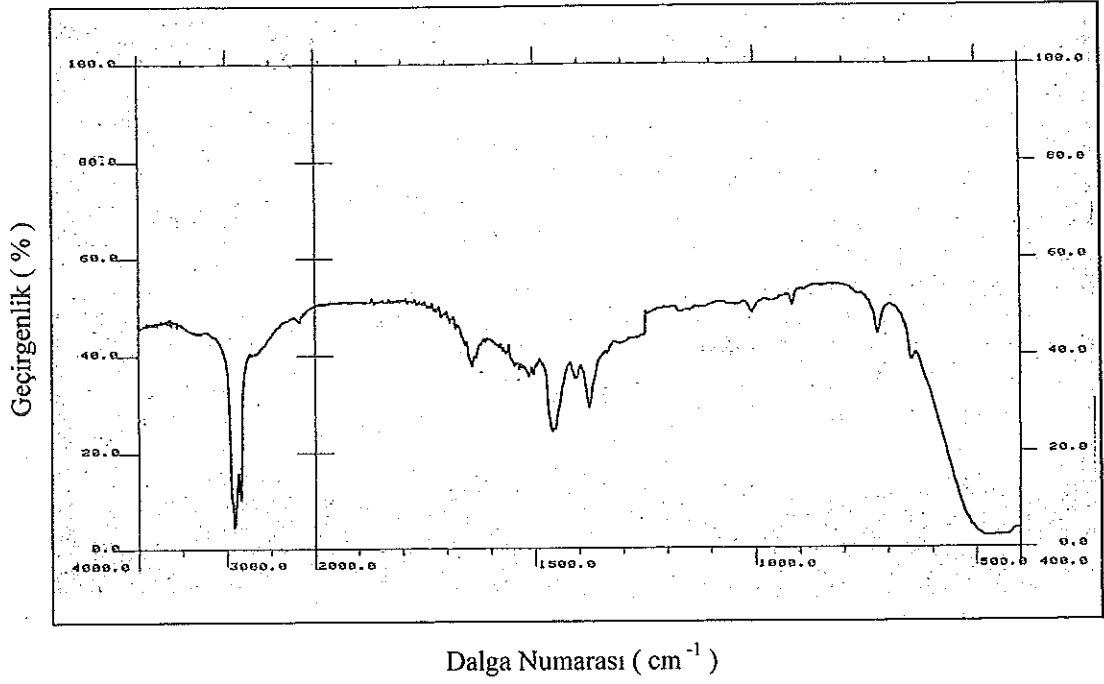
Şekil 3.31. R825'in infrared spektrumu



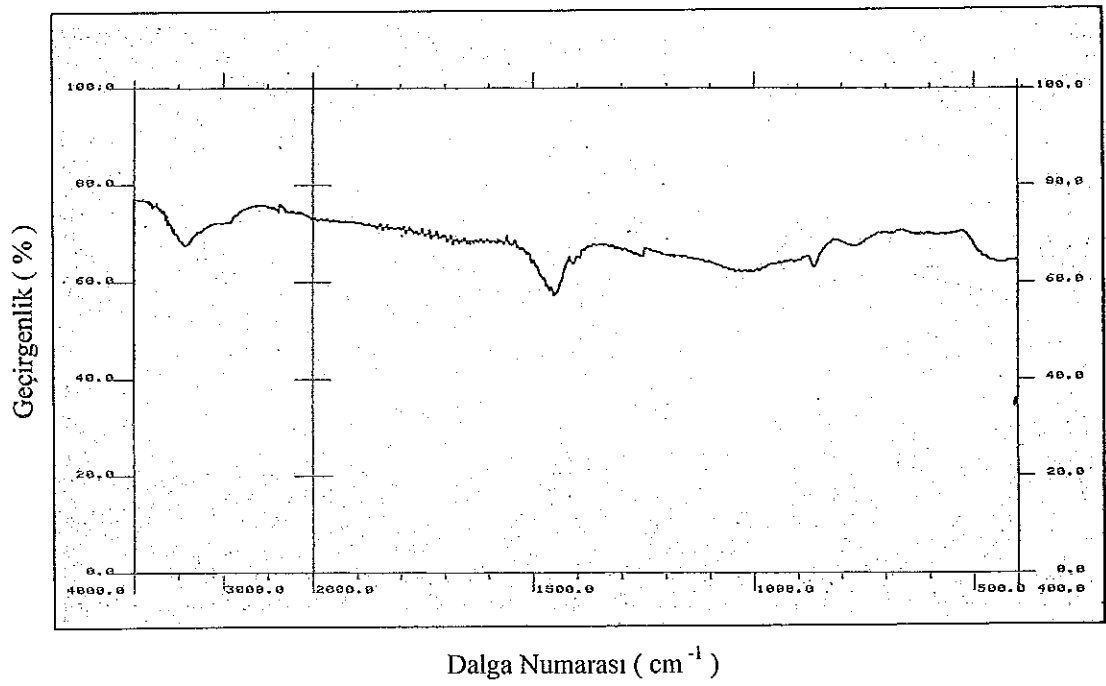
Şekil .32. R840'ın infrared spektrumu



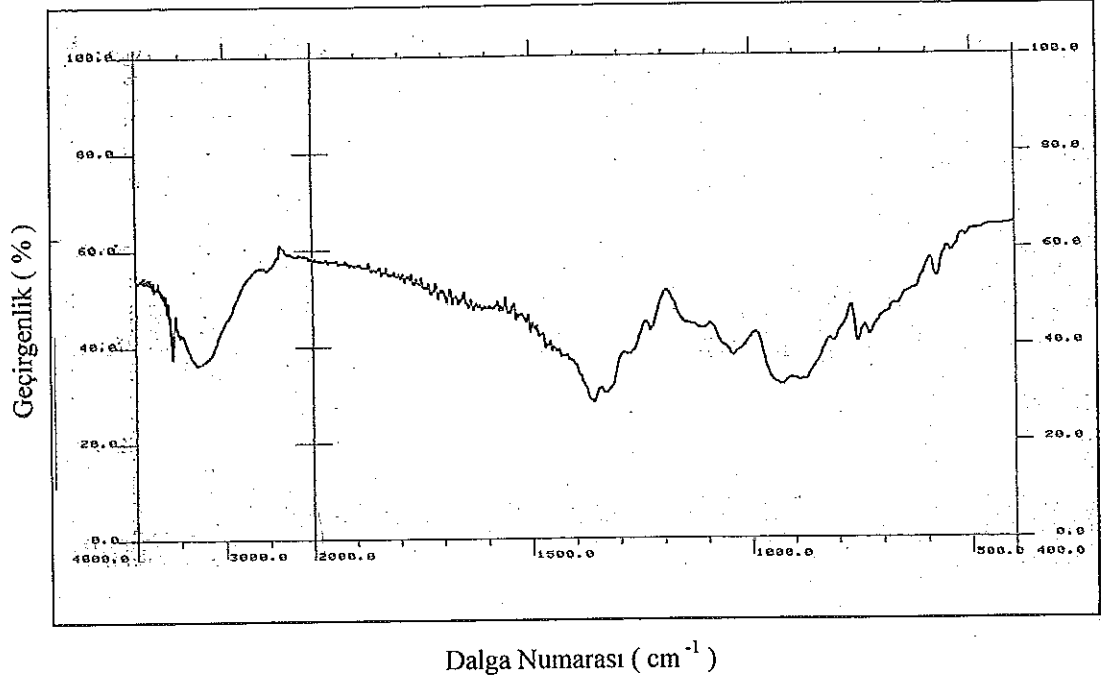
Şekil 3.33. Na-Oleat'ın infrared spektrumu



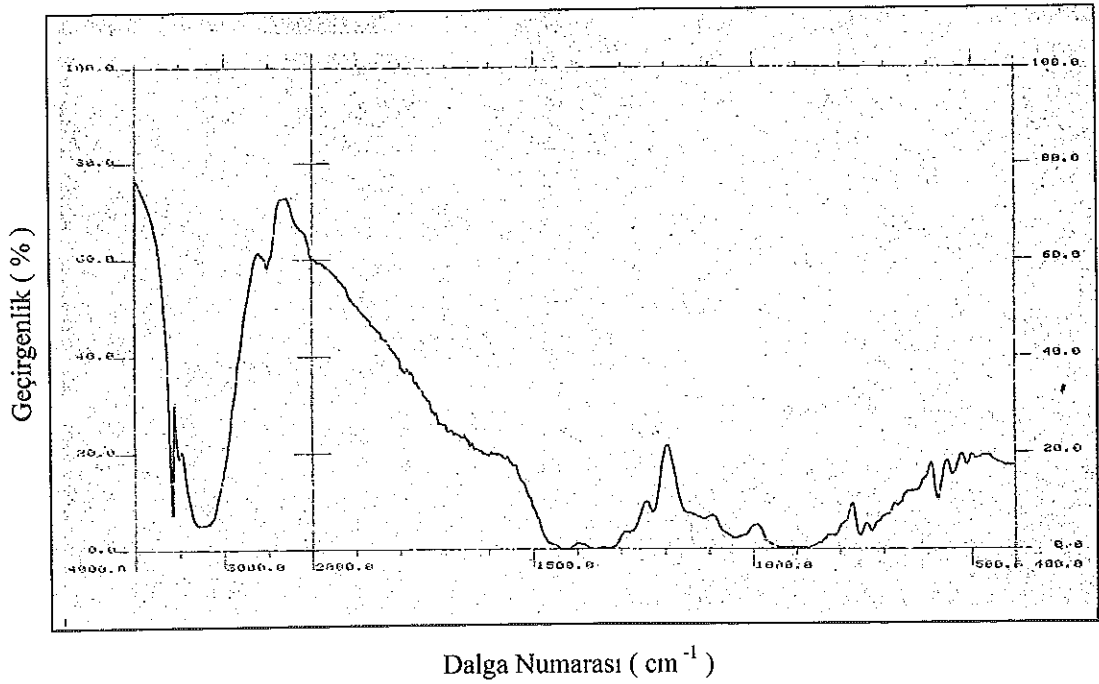
Şekil 3.34. Armac-T'nin infrared spektrumu



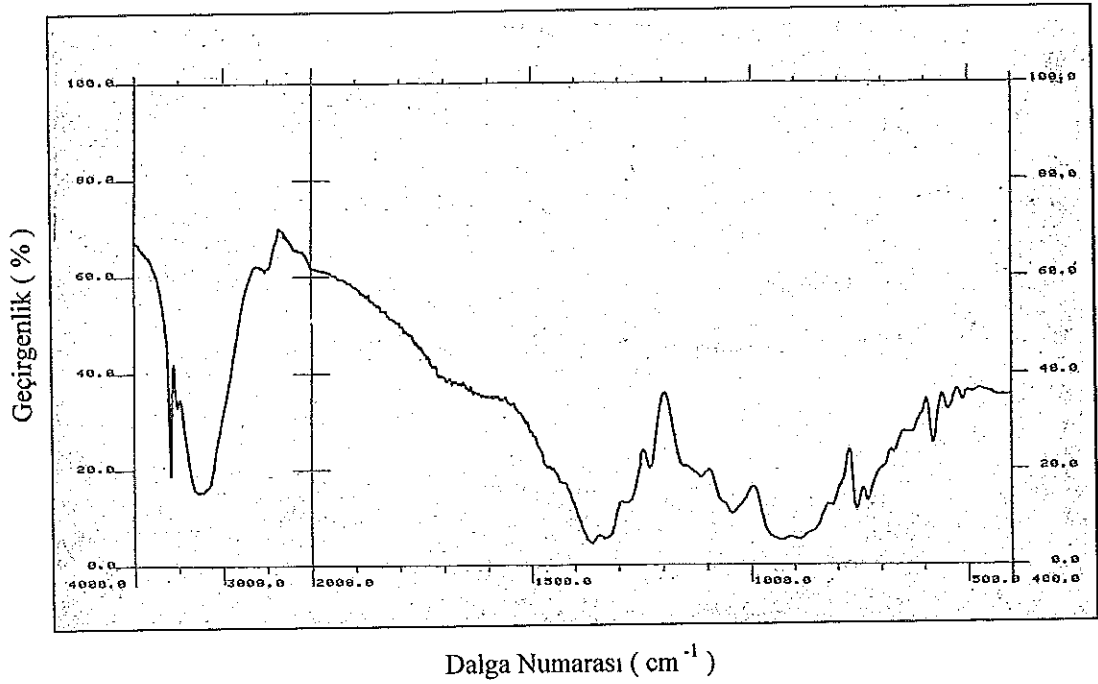
Şekil 3.35. Na_2SiO_3 'ün infrared spektrumu



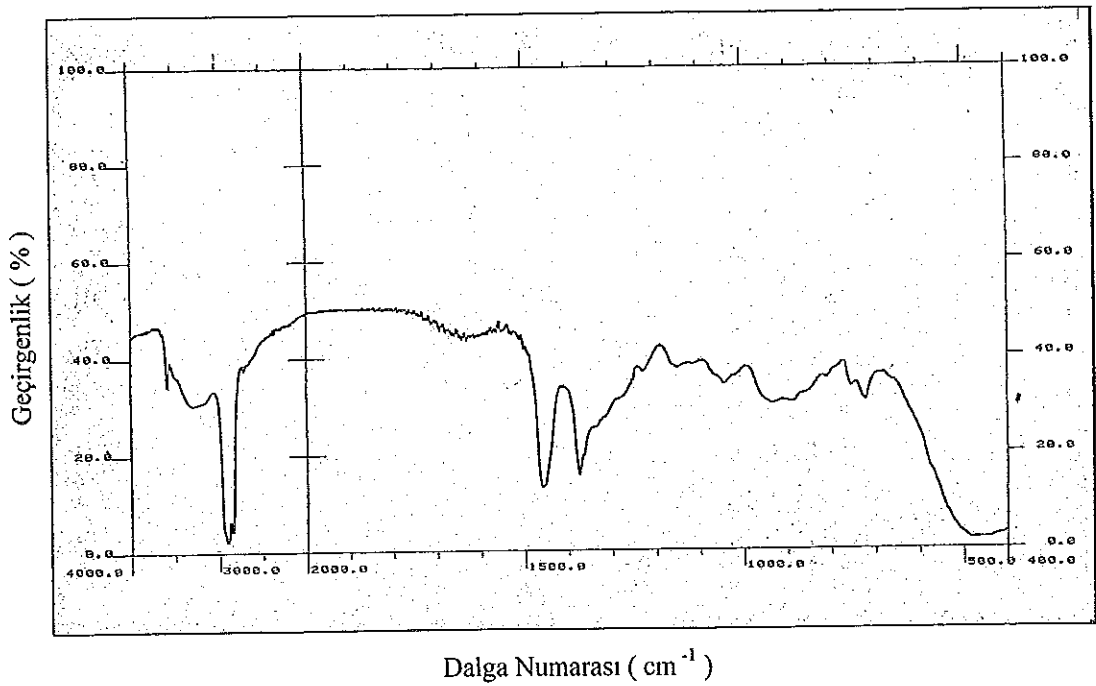
Şekil 3.36. pH=9.37 de 10^{-1} M KAX ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu



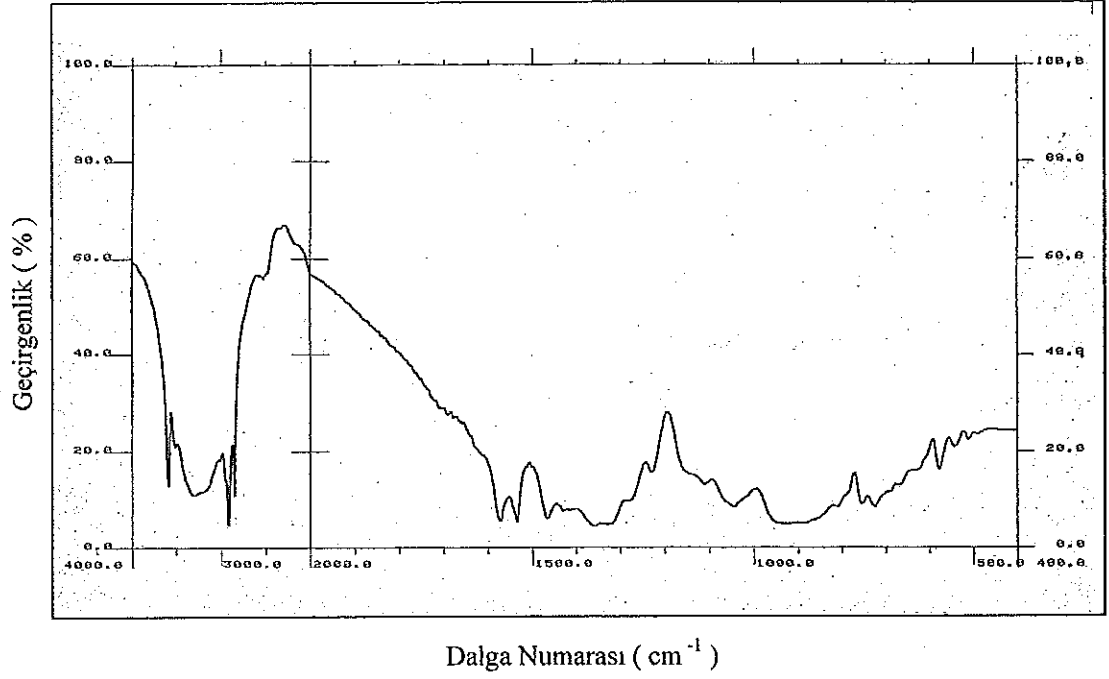
Şekil 3.37. pH=9.24 de 10^{-1} M KEX ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu



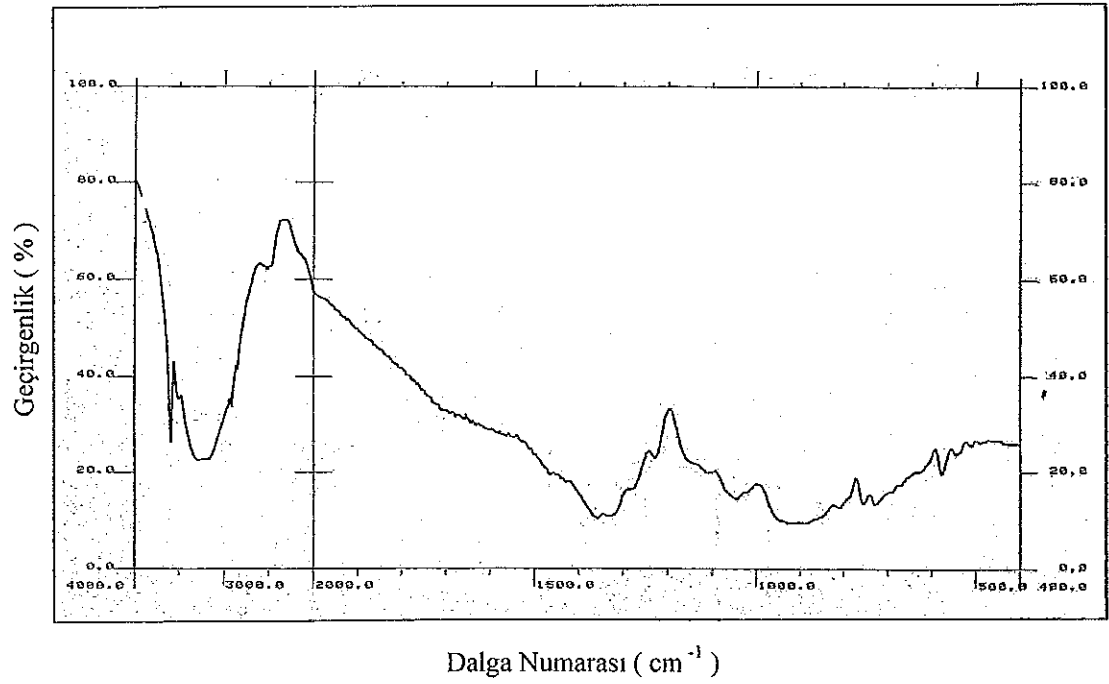
Şekil 3.38. pH=9.42 de % 1'lik R825 ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu



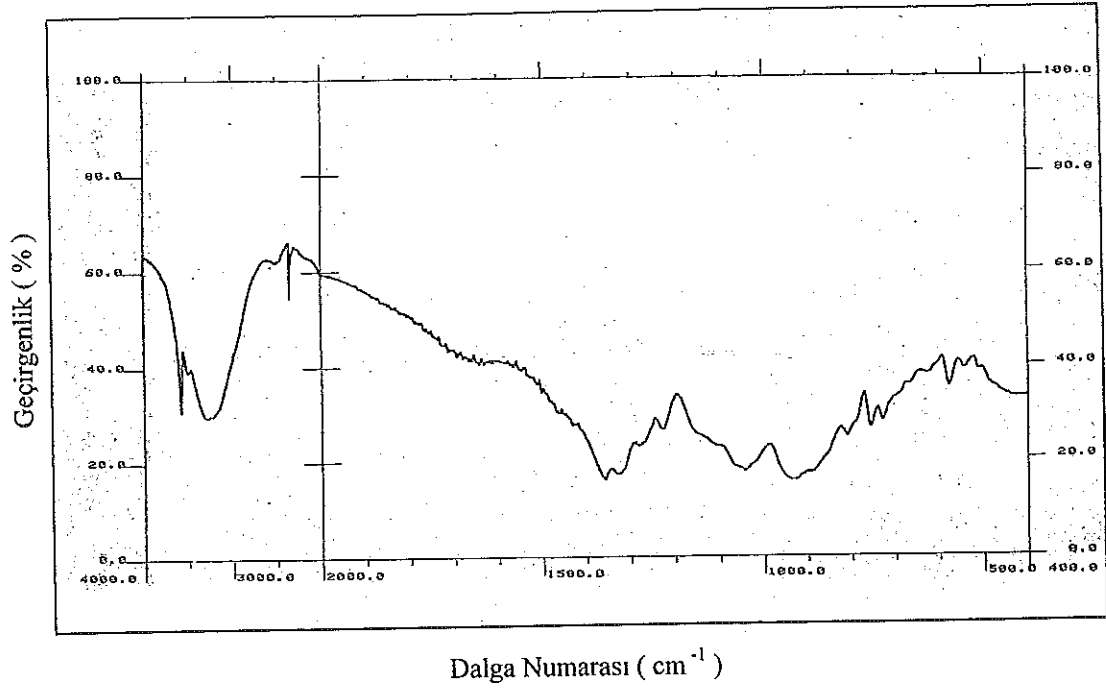
Şekil 3.39. pH=9.32 de % 1'lik R840 ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu



Şekil 3.40. pH=9.36 da 10^{-1} M Na-Oleat ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu



Şekil 3.41. pH=8.40 da % 1'lik Armac-T ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu



Şekil 3.42. pH=9.34 de 10^{-1} M Na_2SiO_3 ile karıştırılmış kolemanitin infrared spektrumu

3.4. Temas Açısı Ölçümleri

Temas açısı ölçümlerinde el ile toplanmış temiz kolemanit ve realgar kristalleri kullanılmıştır (Şekil 3.1). Temas açılarının ölçülmesi için dinamik captive bubble yöntemi uygulanmıştır. Toplanan kristallerin, geniş çalışma yüzeyi sağlamak amacıyla en iri olanları seçilerek parlak yüzeyler elde edilmiştir.

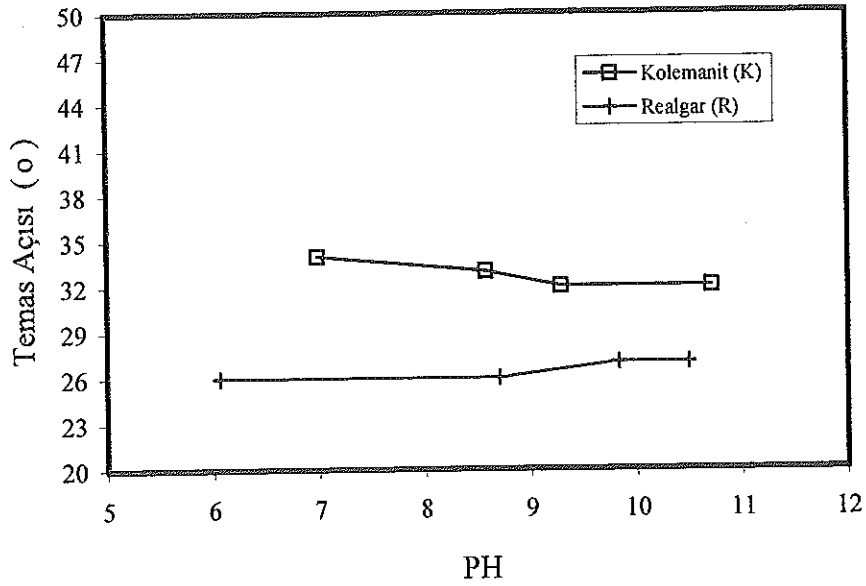
Yüzeyleri düzgün ve parlatılmış kristaller, saf su ve çalışılan diğer reaktiflerin çözeltileri ile dolu kap içine parlak yüzeyler aşağıya gelecek şekilde yerleştirilerek 10 dakika bekletilmiştir. Kap içinde, parlak yüzeyin alt tarafından, ince uçlu bir enjektör ile hava kabarcığı verilerek yüzeye serbest olarak yapışması sağlanmıştır. Kap içine eşit miktarda sıvı konulmuş, kabarcık bırakma mesafesinin ve kabarcık boyutunun her ölçüm için eşit olmasına dikkat edilmiştir. Her açı okumasında temiz farklı yüzeyler kullanılmıştır. Deneylerde iki taraflı olarak dört adet açı okuması yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır.

Temas açısı ölçüm çalışmaları kolemanit ve realgar mineralleri için ayrı ayrı önce saf suda, daha sonra flotasyon reaktiflerin etkilerini belirlemek için ksantatlar (KEX, KAX), sülfonatlar (R825, R840), anyonik toplayıcılardan Na-oleat ve amin tipi (Armac-T) toplayıcılar ve Na_2SiO_3 kullanılarak yapılmıştır.

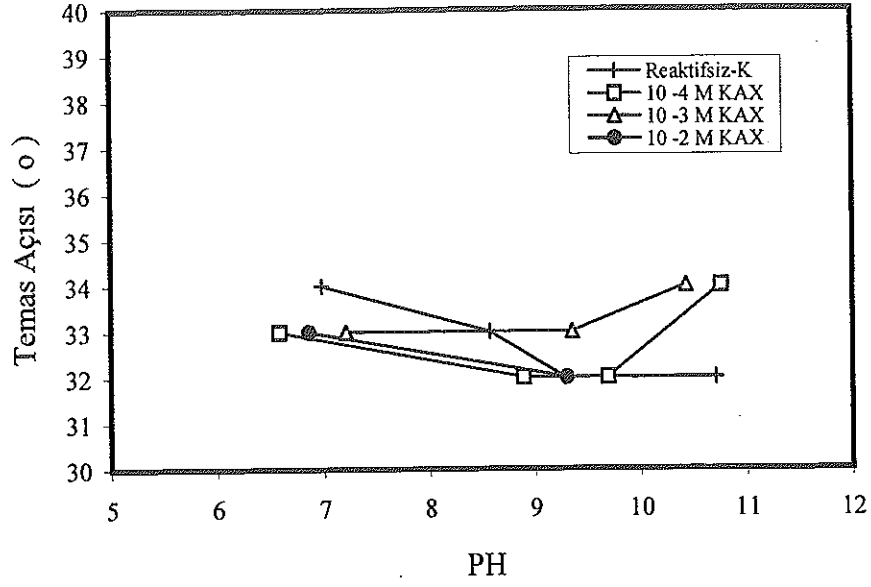
Temas açısı ölçümlerinde NRL Contact angle goniometer model 100-00 cihazı kullanılmıştır.

3.4.1. Temas açısı çalışmalarının sonuçları

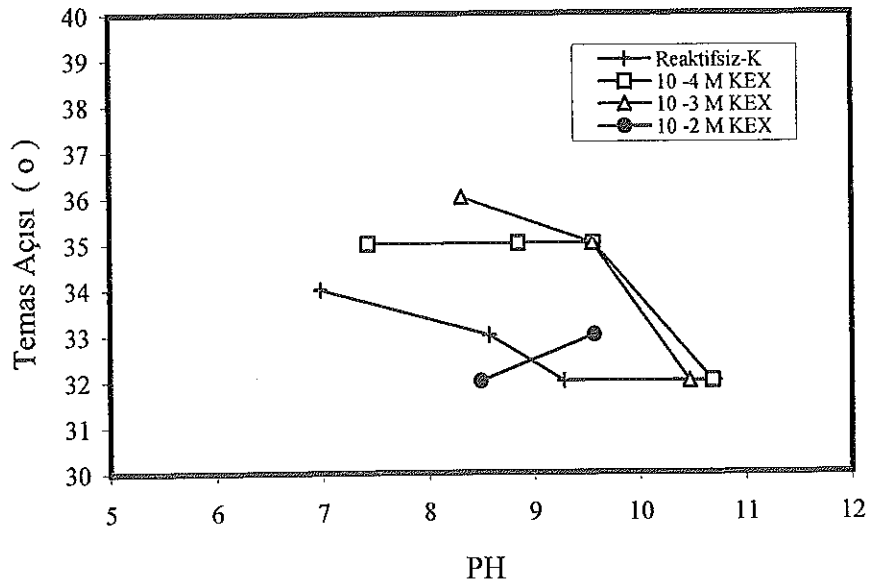
Yapılan temas açısı ölçüm çalışmalarının sonuçları şekil 3.43 – 3.57 de verilmiştir.



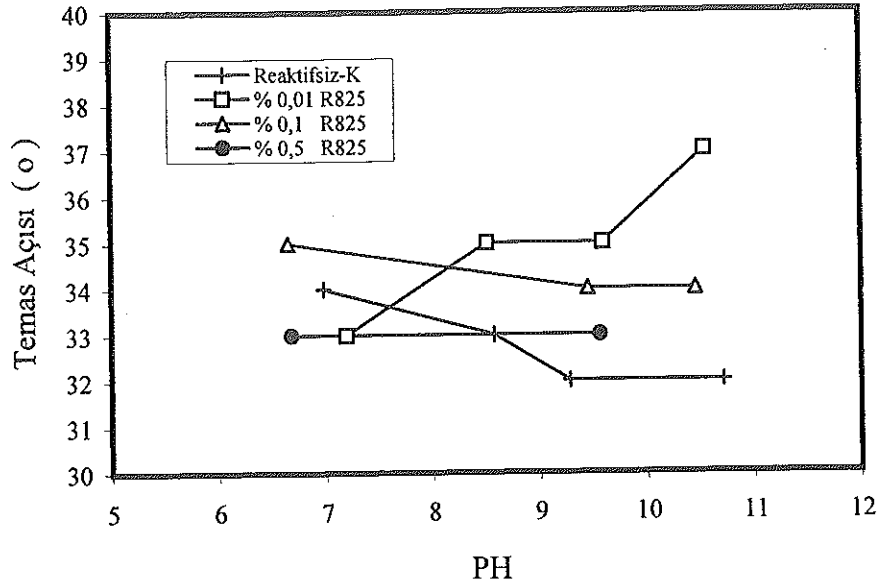
Şekil 3.43. Kolemanit ve realgar minerallerinin, saf sudaki pH'a bağlı temas açıları



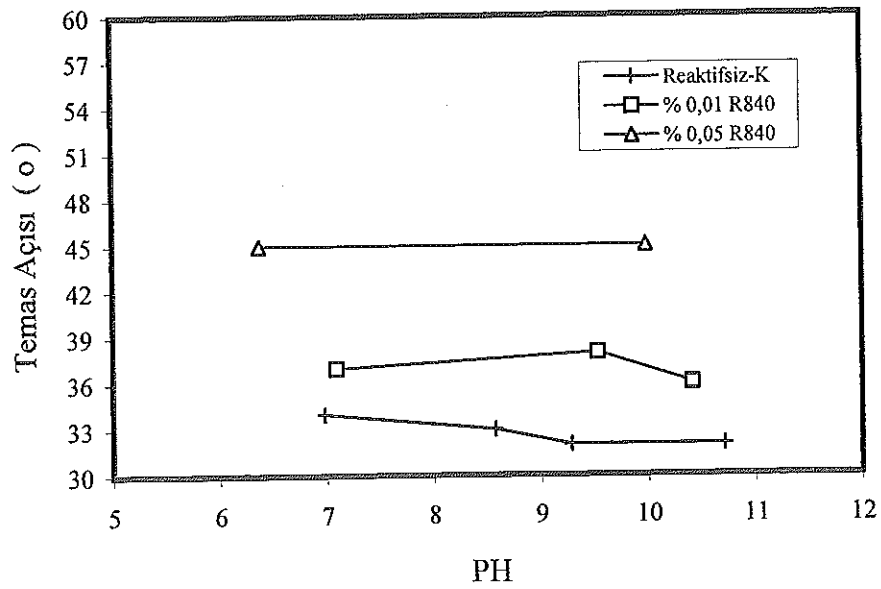
Şekil 3.44. Kolemanit mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



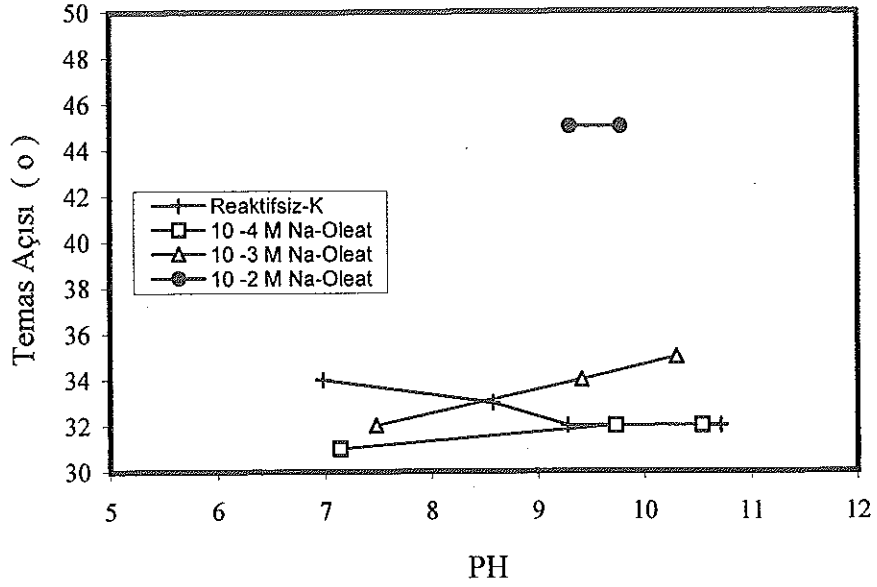
Şekil 3.45. Kolemanit mineralinin, KEX'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



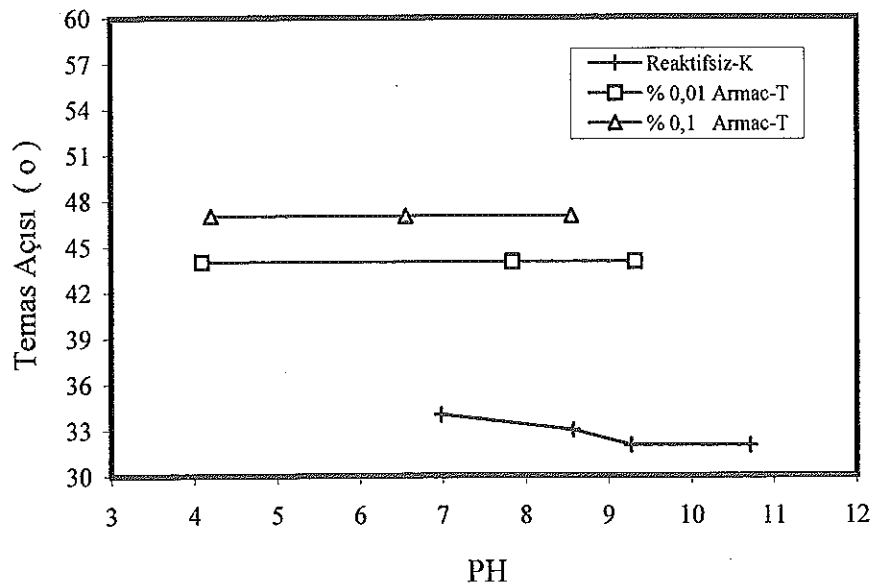
Şekil 3.46. Kolemanit mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



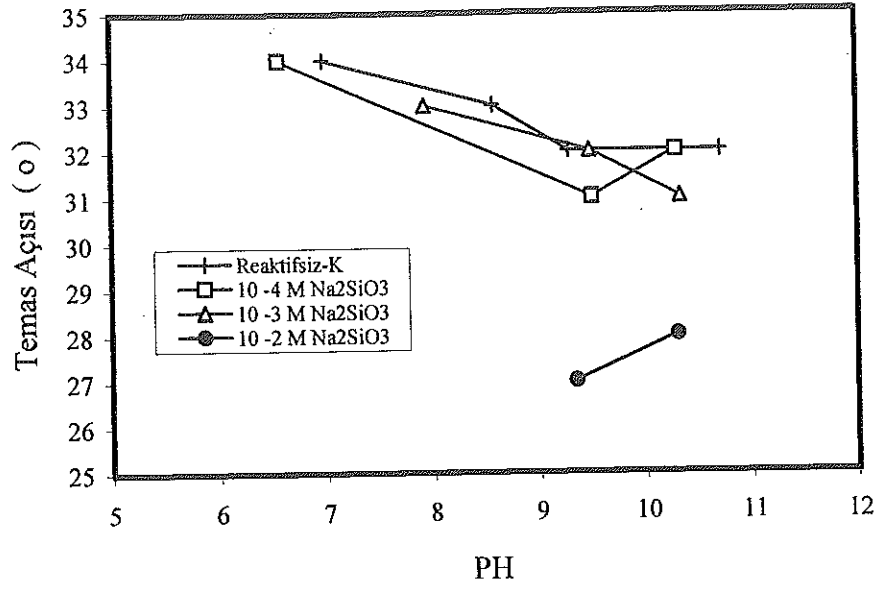
Şekil 3.47. Kolemanit mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



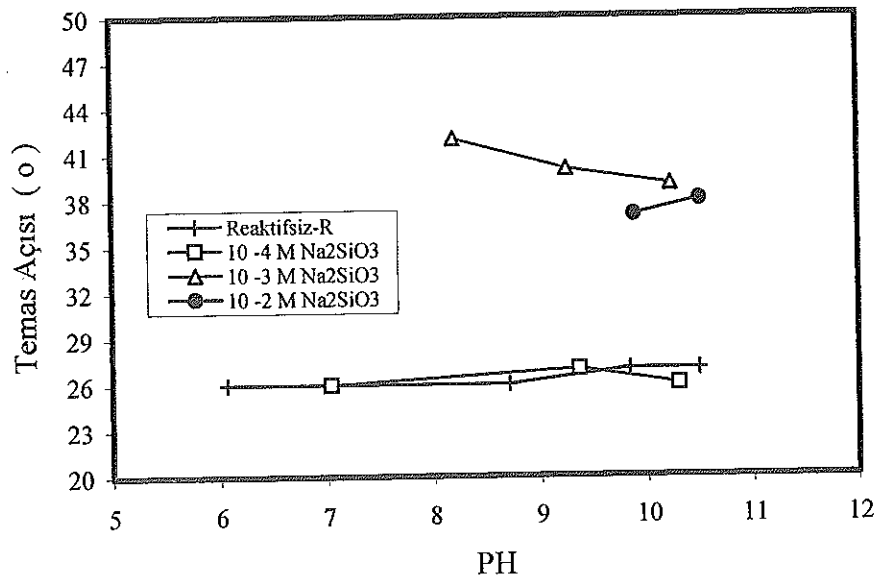
Şekil 3.48. Kolemanit mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



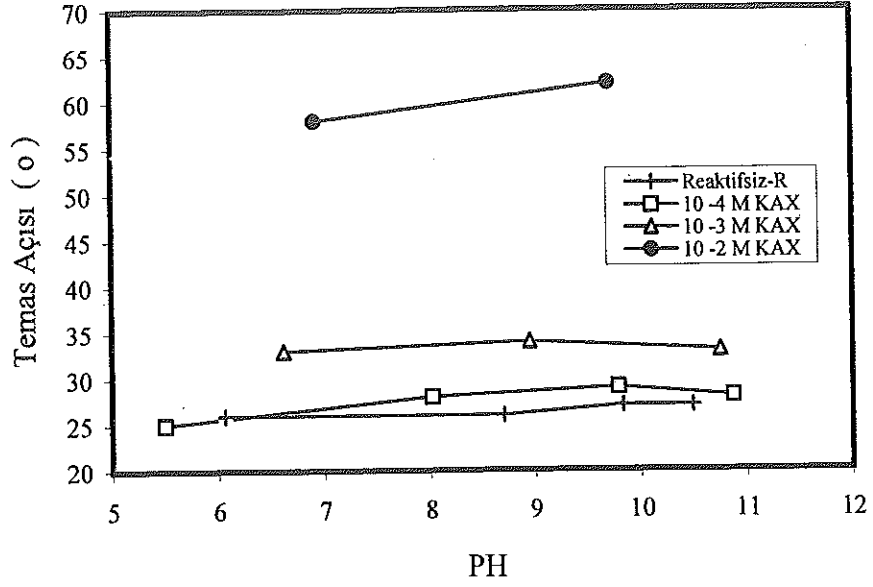
Şekil 3.49. Kolemanit mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



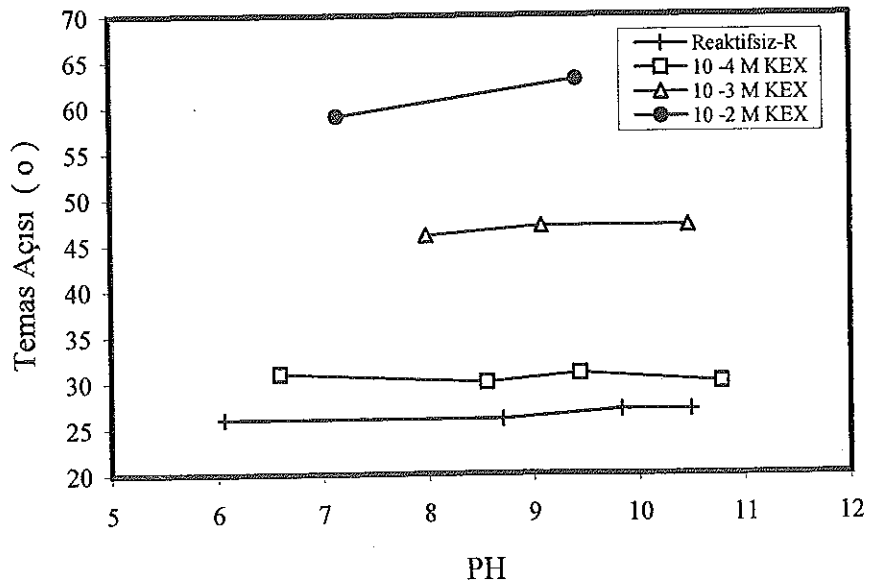
Şekil 3.50. Kolemanit mineralinin, Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



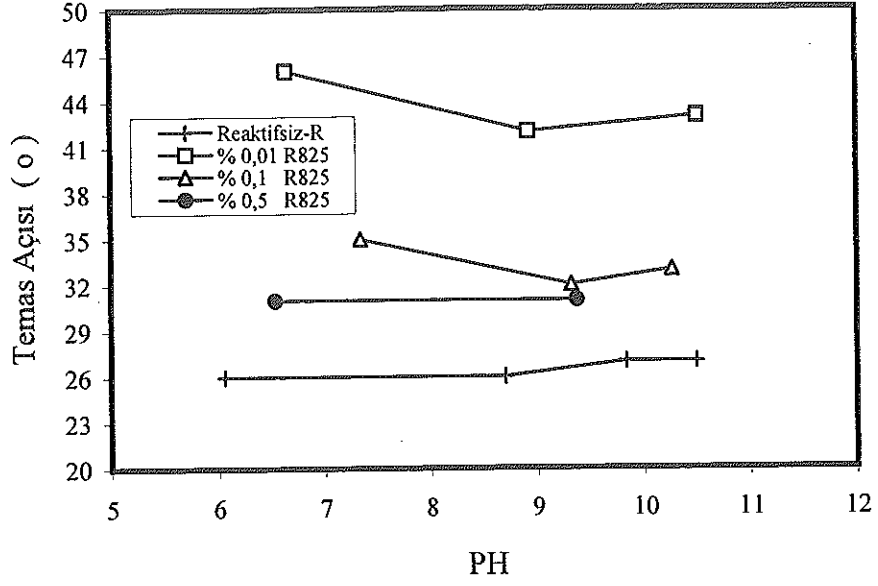
Şekil 3.51. Realgar mineralinin, Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



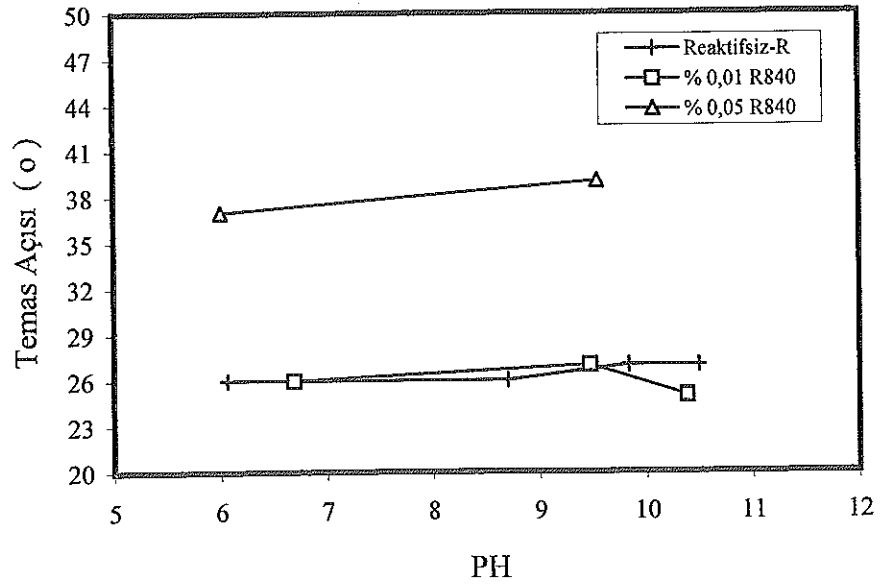
Şekil 3.52 . Realgar mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



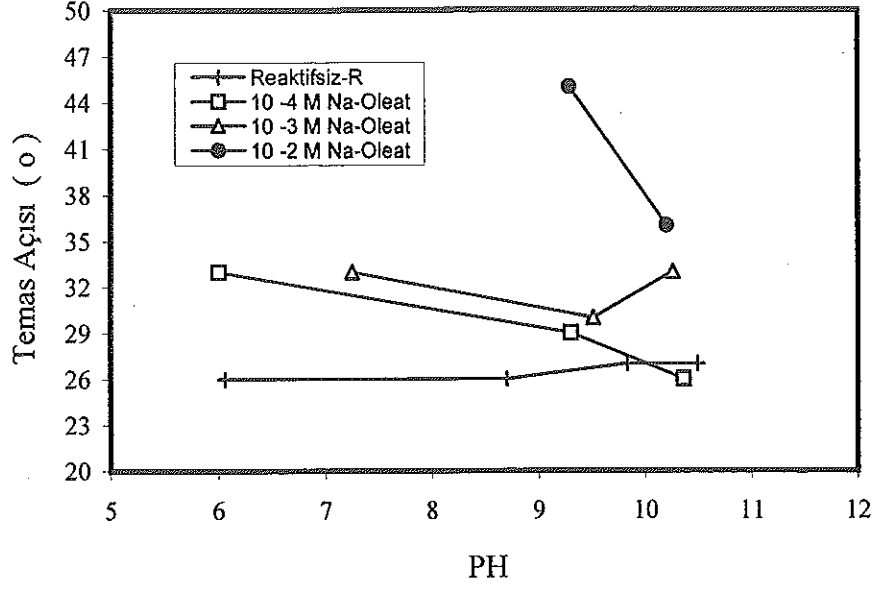
Şekil 3.53. Realgar mineralinin, KEX'in değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



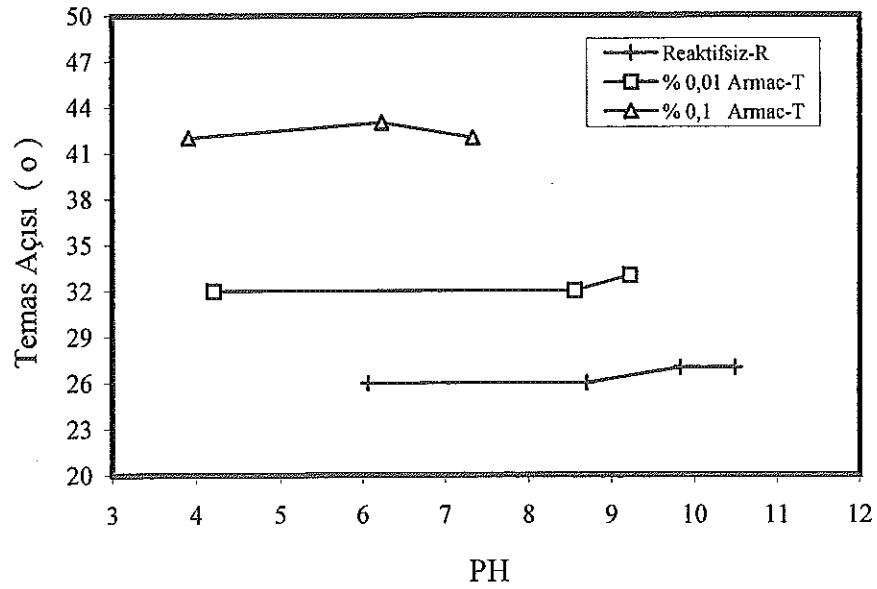
Şekil 3.54. Realgar mineralinin, R825'in değişik konsanrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



Şekil 3.55. Realgar mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı



Şekil 3.56. Realgar mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

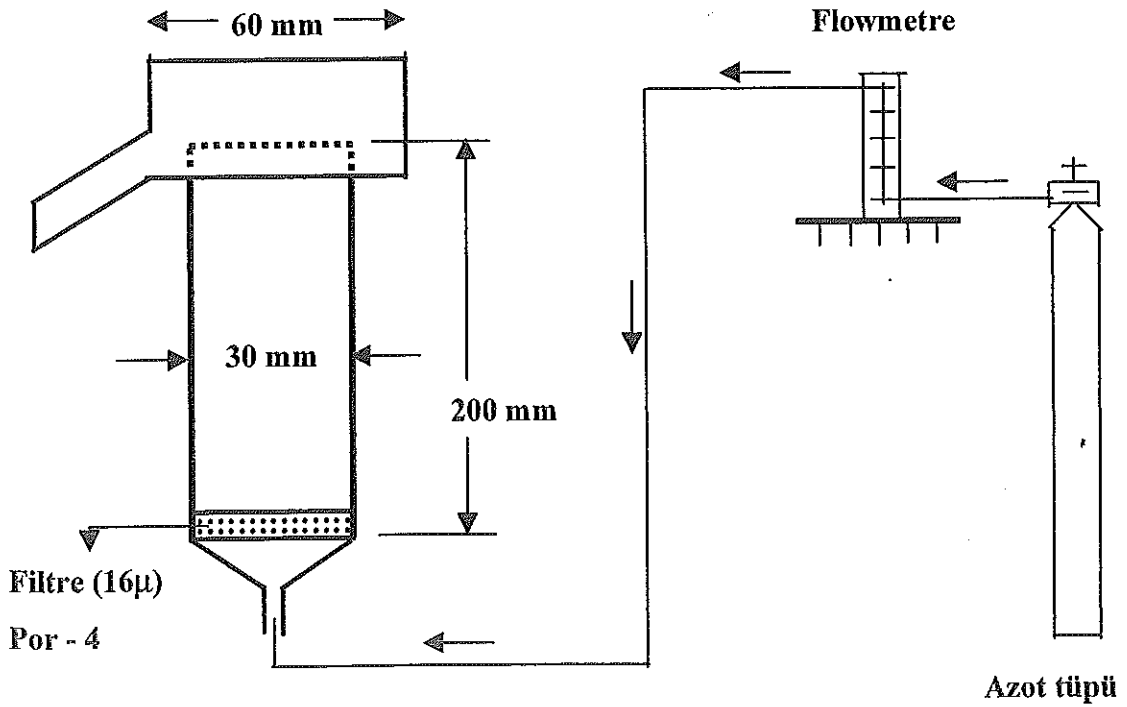


Şekil 3.57. Realgar mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

3.5. Flotasyon Çalışmaları

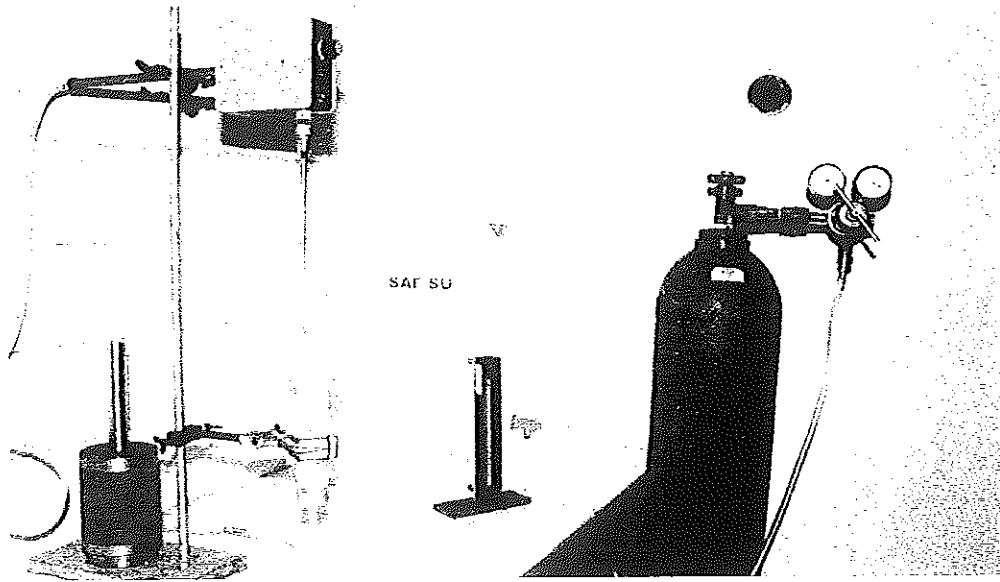
Flotasyon deneyleri için kullanılan flotasyon hücresi, amaca uygun olarak fiberglas malzemedan yapılmış olup, 120 ml hacimlidir. Mikroflotasyon hücresinin alt kısmında kabarcık oluşturmak amacıyla por-4 no'lu (10-16 mikron) cam kroze kullanılmıştır. Hücrenin tam boyutları Şekil 3.58 de, mikroflotasyon düzeneği Şekil 3.59 da görülmektedir. Flotasyon deneylerinde gaz fazı olarak, hava içindeki CO₂ gazının, çözelti pH'sını etkilemesini önlemek amacıyla azot gazı kullanılmıştır (Hançer, 1991).

Azot gazı miktarının tüm deneylerde sabit olması için devrede flowmetre kullanılmış olup, kalibrasyon eğrisi Şekil 3.60 da görülmektedir. Deneyler öncesi çeşitli gaz miktarları denenerak, 30 cm³/dak. ya tekabül eden skala üzerindeki 55 seviyesinin flotasyon için uygun olduğu tespit edilmiş ve tüm deneylerde bu gaz miktarı kullanılmıştır.

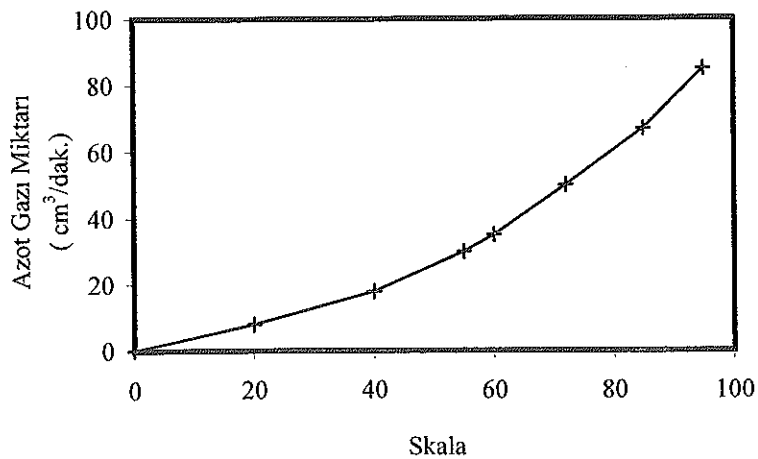


Şekil 3.58. Deneylerde kullanılan mikroflotasyon hücresi

Pülp, istenilen katı oranında ve kıvam süresinde reaktifler ile karıştırılarak hücreye beslenmekte ve köpük taşma ile alınmaktadır. Tüm deneylerde +75-150 mikron boyutunda malzeme kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinde önce temiz kolemanit, daha sonra temiz realgar ayrı ayrı yüzdürülerek en iyi şartlar belirlenmiştir. Yüzen malzeme miktarının, giren malzeme miktarına oranı, flotasyon verimi olarak bulunmuştur.



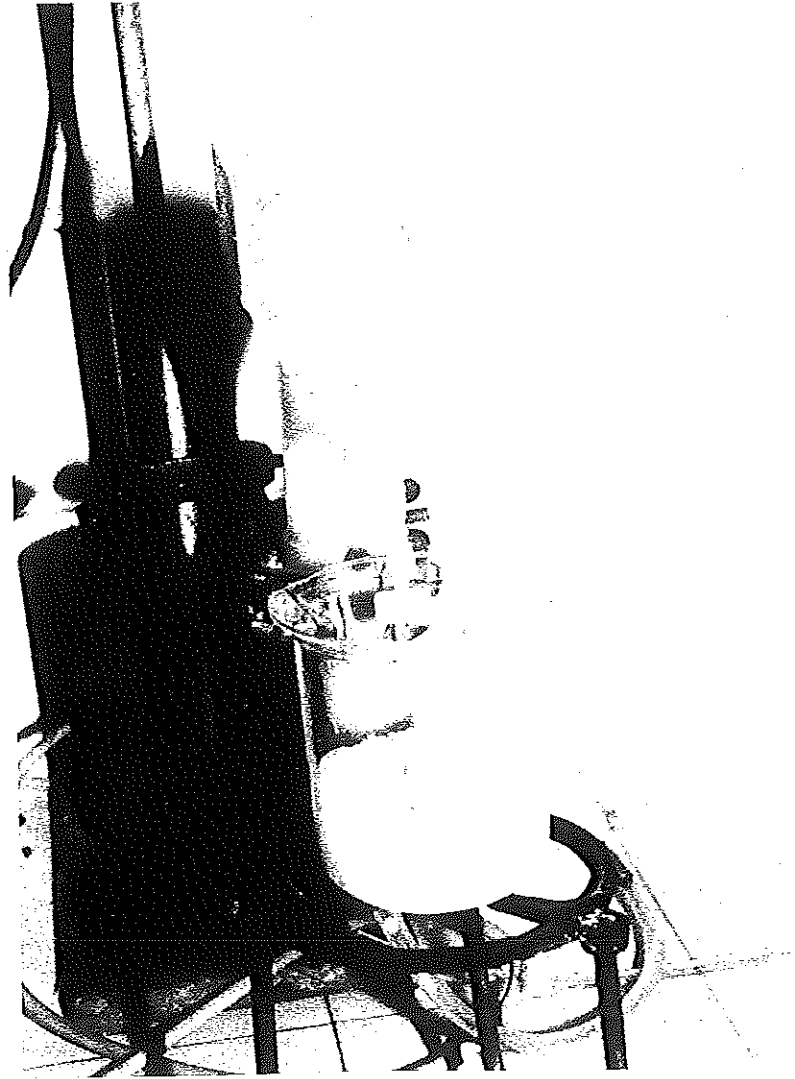
Şekil 3.59. Mikroflotasyon devresinin görünüşü



Şekil 3.60. Flotasyonda kullanılan flowmetrenin kalibrasyon eğrisi

3.5.1. Saf kolemanit minerali ile yapılan deneyler

Ocaktan elle toplanan saf kolemanit kristalleri seramik havanda öğütülerek +75-150 mikron boyutunda elenmiştir. Bu çalışmanın tamamında kullanılan kolemanit kristalleri Şekil 3.1 de görülmektedir. Bu bölümde, kolemanit minerali için en uygun toplayıcı cinsi ve miktarı, en uygun katı oranı, pH değeri, canlandırıcının (Baryum klorür) etkisi, kıvam ve flotasyon süresi tespit edilmeye çalışılmıştır.



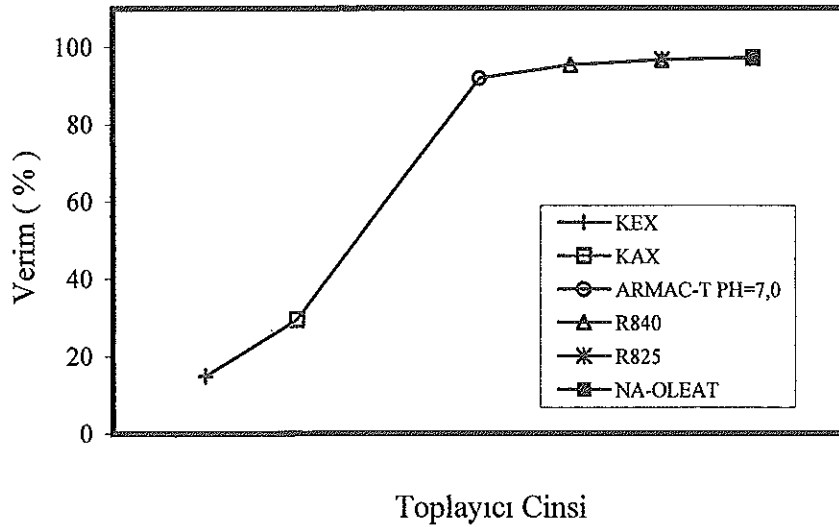
Şekil 3.61. Kolemanit mineralinin flotasyon görünüşü

3.5.1.1. En uygun toplayıcı cinsinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3 (Katyonic toplayıcı olan Armac-T için pH = 7 olarak ayarlanmıştır.)
Toplayıcı Cinsi	: KEX, KAX, Armac - T, R840, R825 ve Na - Oleat
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC - 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.62 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre kolemanit minerali için en uygun toplayıcının, % 97.11 verim ile Sodyum Oleat olduğu görülmüştür.



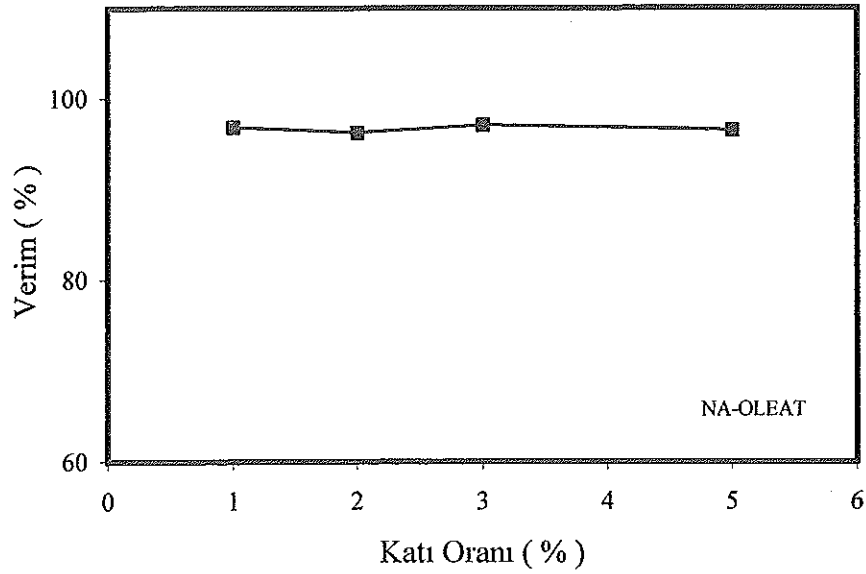
Şekil 3.62. Kolemanit mineralinin değişik toplayıcılarda flotasyon verim değişimi

3.5.1.2. En uygun katı oranının belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum Oleat
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton.
Katı Oranı	: % 1 - 5
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.63 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre en uygun, katı oranının % 97.06 verim ile % 3 katı olduğu görülmüştür.



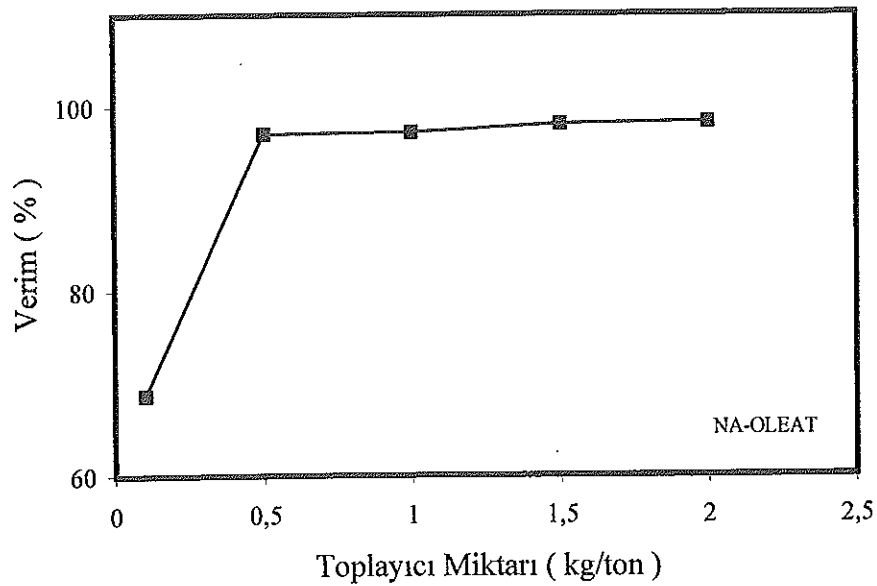
Şekil 3.63. Kolemanit mineralinin değişik katı oranlarında flotasyon verim değişimi

3.5.1.3. En uygun toplayıcı miktarının belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum Oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.1 – 2 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.64 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre kolemanit minerali için en uygun toplayıcı miktarı olarak, % 97.08 verim ile 0.5 kg/ton Sodyum Oleat'ın yeterli olduğu görülmüştür.



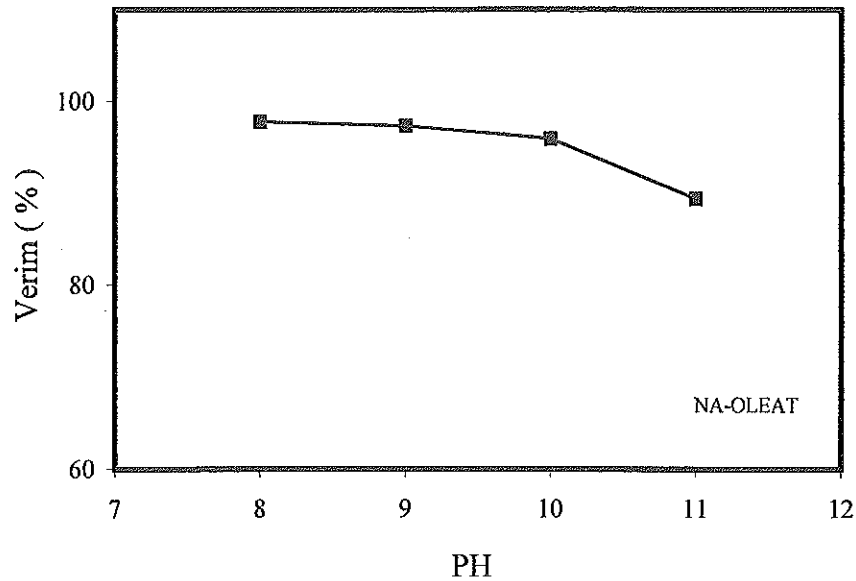
Şekil 3.64. Kolemanit mineralinin değişik Na-Oleat miktarlarında flotasyon verim değişimi

3.5.1.4. En uygun pH değerinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 8 - 11
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum Oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.65 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre kolemanit minerali için en uygun pH değerinin, % 97.31 verim ile pH = 9 civarı olduğu görülmüştür.



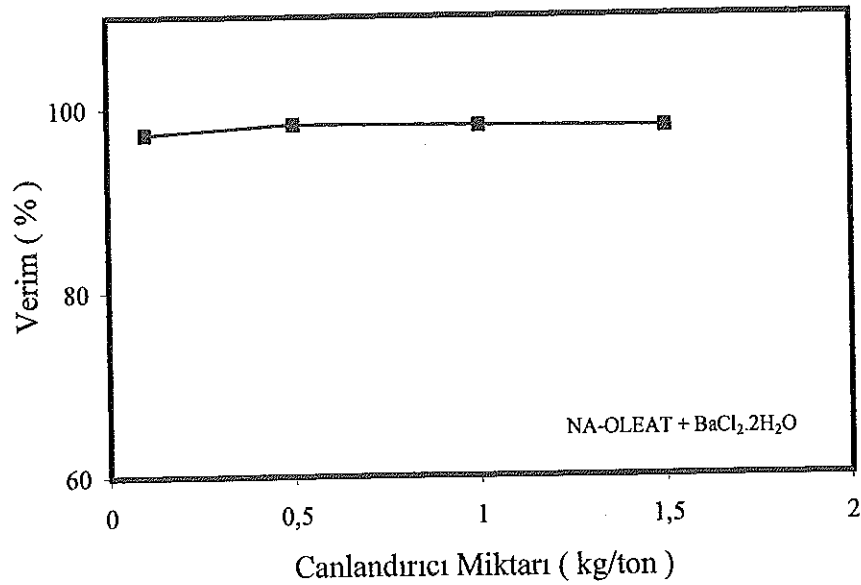
Şekil 3.65. Kolemanit mineralinin değişik pH' larda flotasyon verim değişimi

3.5.1.5. En uygun canlandırıcı miktarının belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: $BaCl_2 \cdot 2H_2O$
Canlandırıcı Miktarı	: 0.1 – 1.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.66 da verilmiş olup, bu sonuçlara göre kolemanit minerali için en uygun canlandırıcı miktarının, % 98.29 verim ile 0.5 kg/ton Baryum klorür'ün yeterli olduğu görülmüştür.



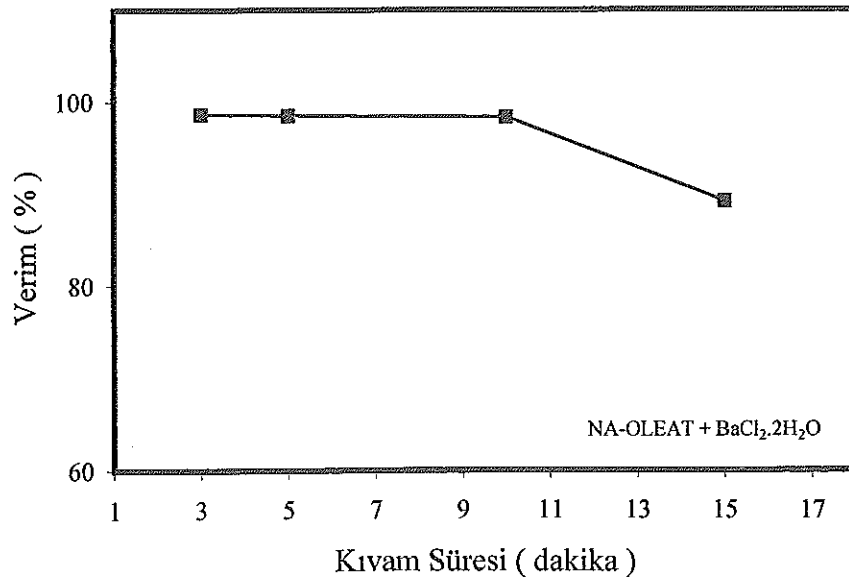
Şekil 3.66. Kolemanit mineralinin değişik $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ miktarlarında flotasyon verim değişimi

3.5.1.6. En uygun kıvam süresinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: BaCl ₂ .2H ₂ O
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 3 - 15 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.67 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre kolemanit minerali için en uygun kıvam süresinin, % 98.51 verim ile 5 dakika olduğu görülmüştür.



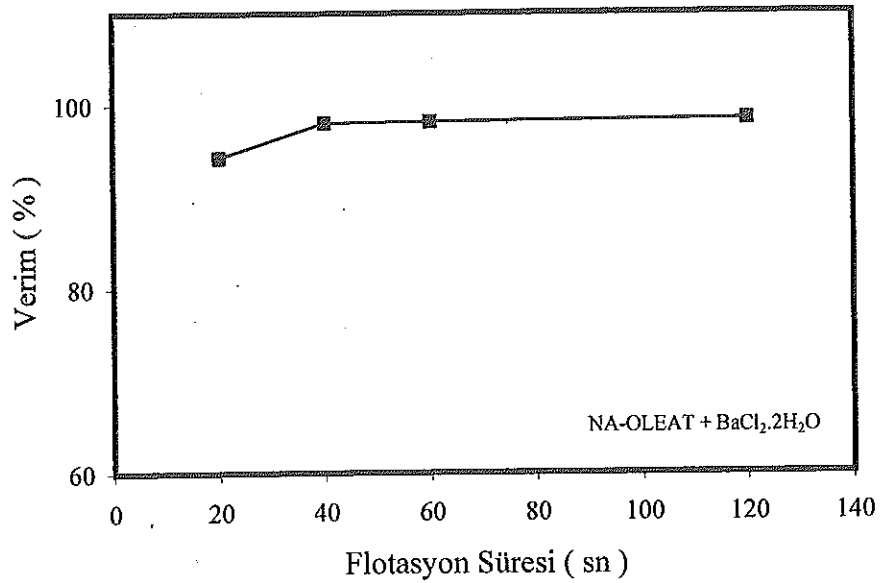
Şekil 3.67. Kolemanit mineralinin değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi

3.5.1.7. En uygun flotasyon süresinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: $BaCl_2 \cdot 2H_2O$
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 20 - 120 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

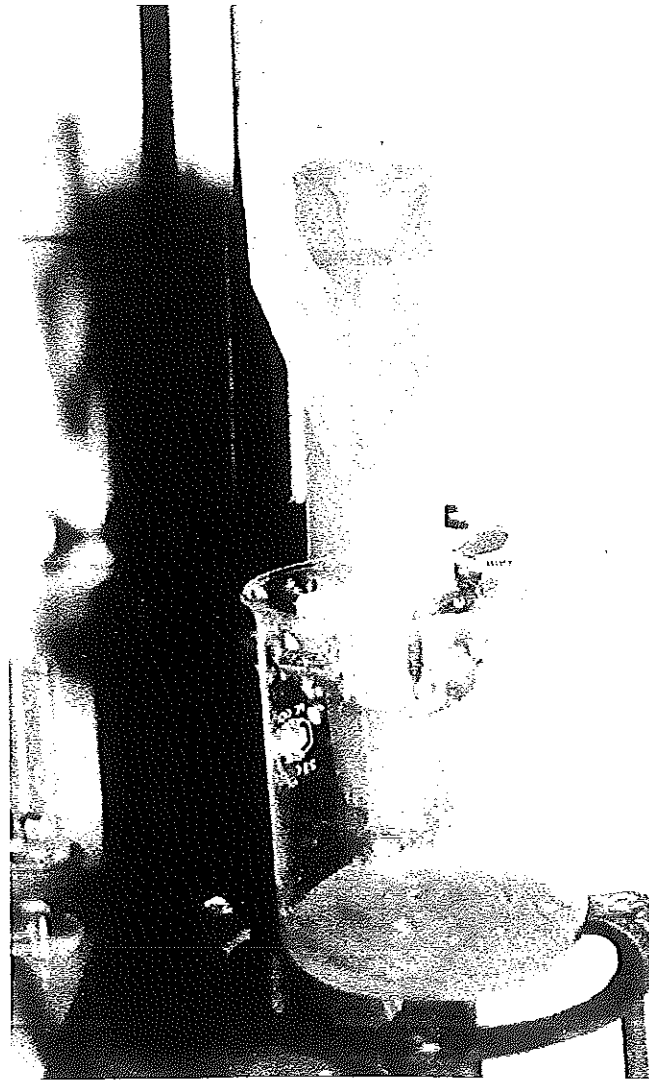
Deney sonuçları Şekil 3.68 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre kolemanit minerali için en uygun flotasyon süresinin, % 98.16 verim ile 60 saniye olduğu görülmüştür.



Şekil 3.68. Kolemanit mineralinin değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi

3.5.2. Saf realgar minerali ile yapılan deneyler

Ocaktan elle toplanan saf realgar kristalleri seramik havanda öğütülerek +75-150 mikron boyutunda elenmiştir. Bu çalışmanın tamamında kullanılan realgar kristalleri Şekil 3.1 de görülmektedir. Bu bölümde, realgar minerali için en uygun toplayıcı cinsi ve miktarı, en uygun katı oranı, pH değeri, canlandırıcının (gazyağı) etkisi, kıvam ve flotasyon süresi tespit edilmeye çalışılmıştır.



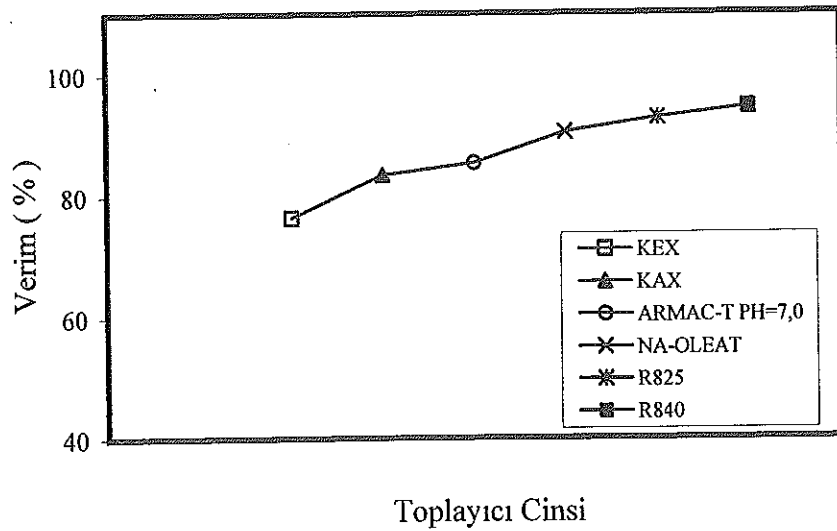
Şekil 3.69. Realgar mineralinin flotasyon görüntüsü

3.5.2.1. En uygun toplayıcı cinsinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3 (Katyonic toplayıcı olan Armac-T için pH = 7 olarak ayarlanmıştır.)
Toplayıcı Cinsi	: KEX, KAX, Armac-T, R840, R825 ve Na - Oleat
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC - 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.70 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre realgar minerali için en uygun toplayıcının, % 94.47 verim ile R840 olduğu görülmüş, ancak R840'ın kolemanit minerali için de iyi bir toplayıcı olması, KAX'ın ise kolemanit minerali için iyi bir toplayıcı olmamasına bağlı olarak seçimliliğin sağlanması gibi nedenlerden dolayı realgar minerali için % 83.45 verim ile KAX toplayıcı olarak seçilmiştir.



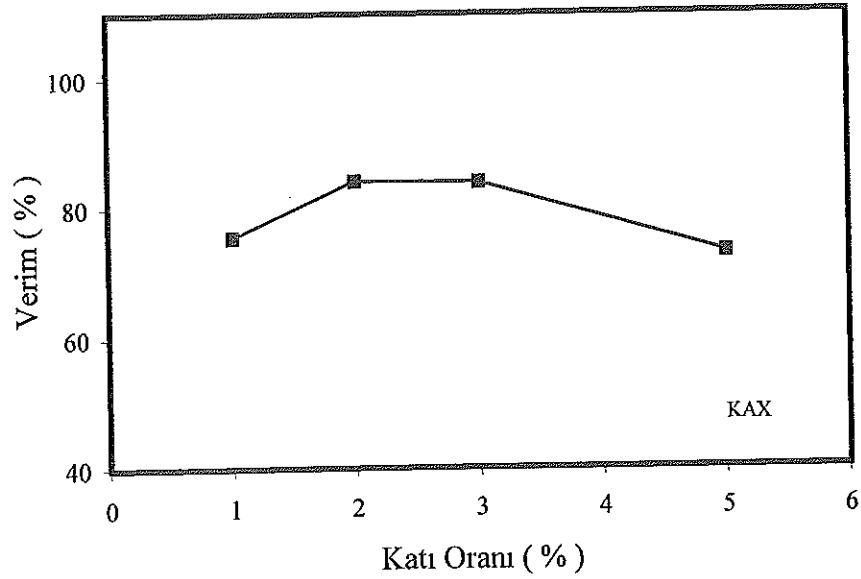
Şekil 3.70. Realgar mineralinin değişik toplayıcılarda flotasyon verim değişimi

3.5.2.2. En uygun katı oranının belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 1 - 5
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC - 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.71 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre en uygun katı oranının, % 83.91 verim ile % 3 katı olduğu görülmüştür.



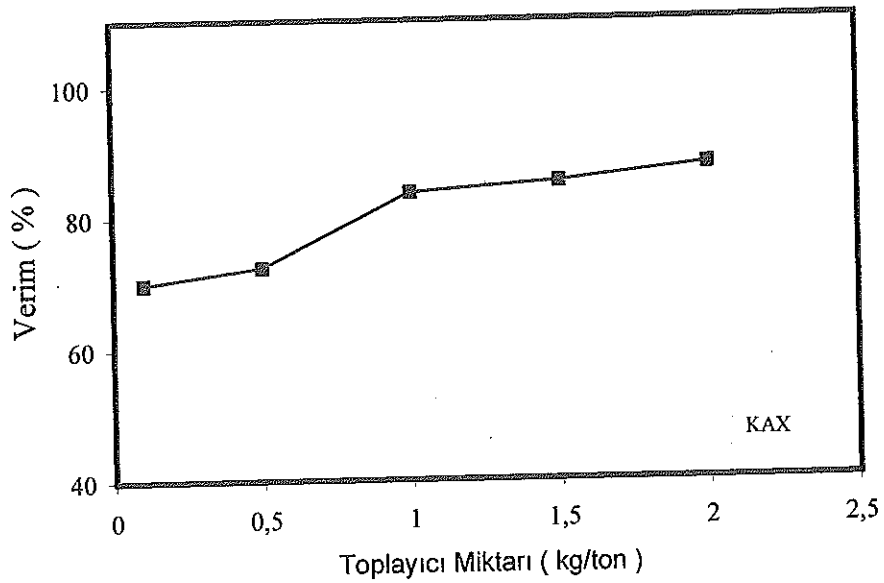
Şekil 3.71. Realgar mineralinin değişik katı oranlarında flotasyon verim değişimi

3.5.2.3. En uygun toplayıcı miktarının belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 0.1 – 2 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.72 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre realgar minerali için en uygun toplayıcı miktarı olarak, % 83.76 verim ile 1 kg/ton KAX'ın yeterli olduğu görülmüştür.



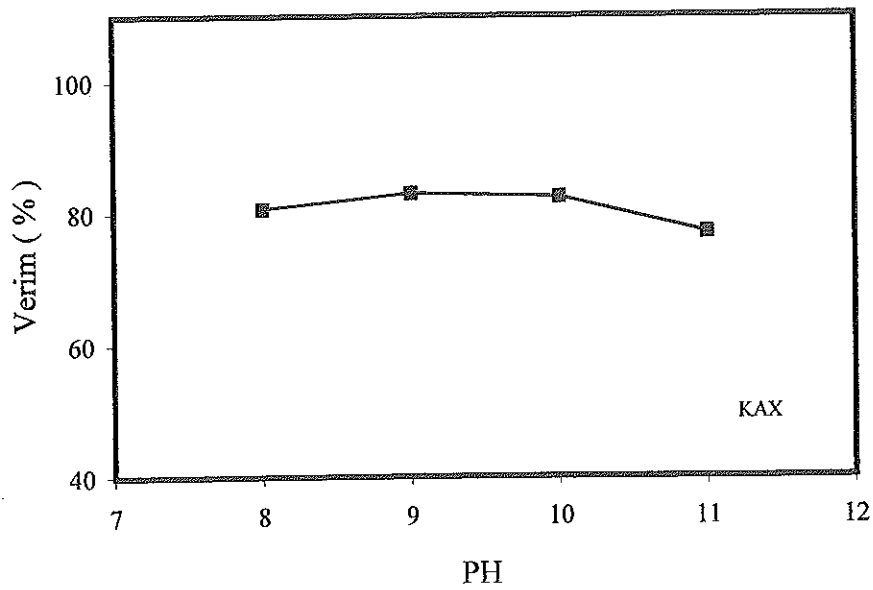
Şekil 3.72. Realgar mineralinin değişik KAX miktarlarında flotasyon verim değişimi

3.5.2.4. En uygun pH değerinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 8 - 11
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.73 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre realgar minerali için en uygun pH değerinin, % 83.02 verim ile pH = 9 civarı olduğu görülmüştür.



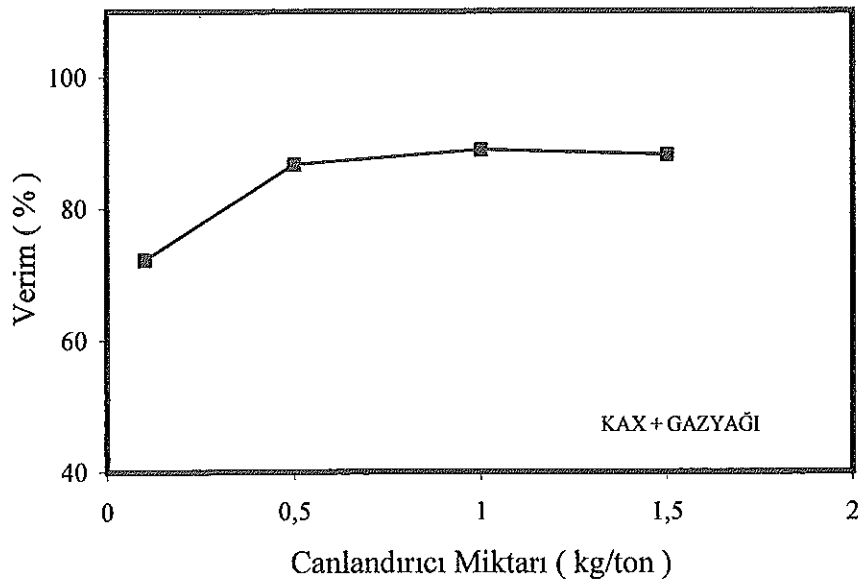
Şekil 3.73. Realgar mineralinin değişik pH' larda flotasyon verim değişimi

3.5.2.5. En uygun canlandırıcı miktarının belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 0.1 – 1.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.74 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre realgar minerali için en uygun canlandırıcı miktarının, % 88.94 verim ile 1 kg/ton Gazyağı'nın yeterli olduğu görülmüştür.



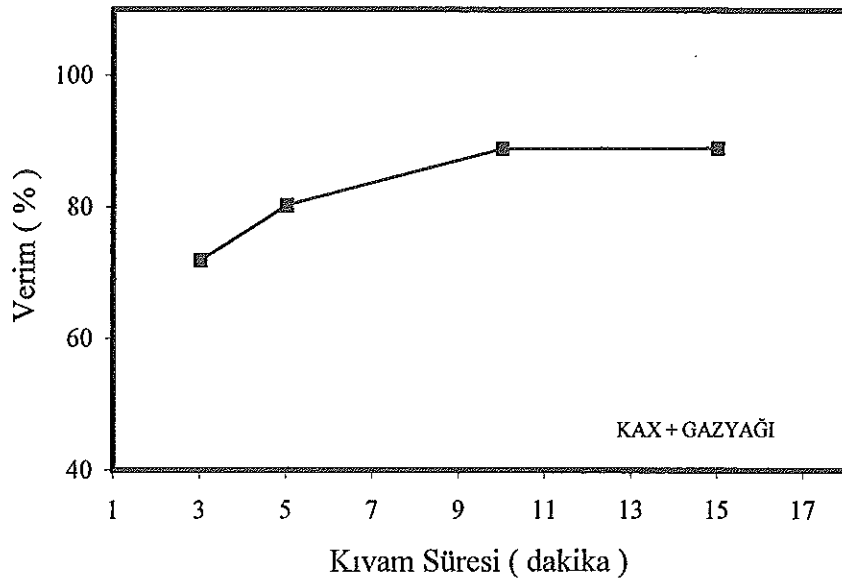
Şekil 3.74. Realgar mineralinin değişik gazyağı miktarlarında flotasyon verim değişimi

3.5.2.6. En uygun kıvam süresinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 3 - 15 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.75 de verilmiş olup, bu sonuçlara göre realgar minerali için en uygun kıvam süresinin, % 88.82 verim ile 10 dakika olduğu görülmüştür.



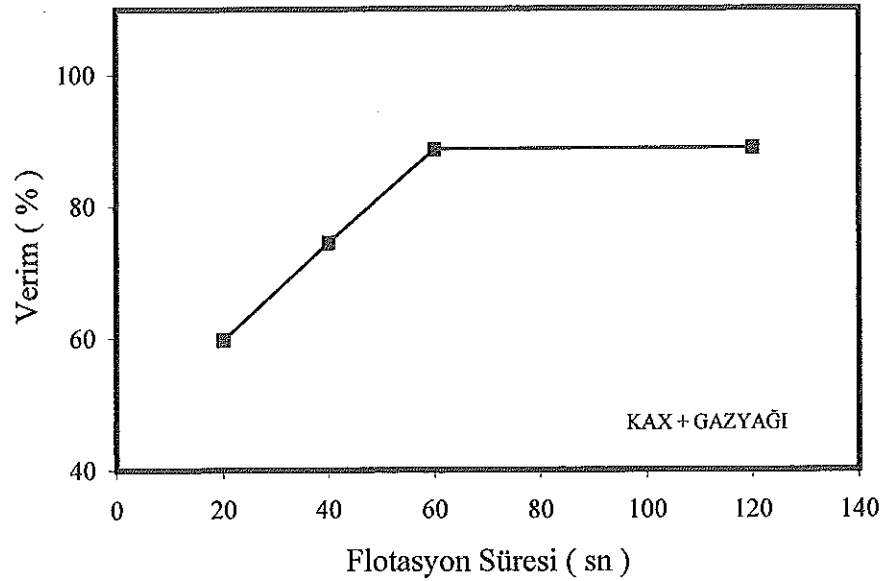
Şekil 3.75. Realgar mineralinin değişik kıvam sürelerinde flotasyon verim değişimi

3.5.2.7. En uygun flotasyon süresinin belirlenmesi

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 20 - 120 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Şekil 3.76 da verilmiş olup, bu sonuçlara göre realgar minerali için en uygun flotasyon süresinin, % 88.60 verim ile 60 saniye olduğu görülmüştür.



Şekil 3.76. Realgar mineralinin değişik flotasyon sürelerinde flotasyon verim değişimi

3.5.3. Yapay numuneler ile yapılan deneyler

Ocaktan elle toplanan saf kolemanit kristalleri seramik havanda öğütülerek +75-150 mikron boyutunda elenmiştir. Tüvenan cevherin ortalama 1000- 3500 ppm arasında As içermesi nedeniyle bu bölümde, % 0.5 ve % 5 oranında realgar içerecek şekilde realgar ve kolemanit minerallerinin karışımından oluşturulan numunelerde her iki minerali birbirinden ayırmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde, saf mineraller ile daha önceden yapılan deneylerden elde edilen en uygun deney koşulları kullanılmıştır.

3.5.3.1. % 0.5 realgar içeren numuneler ile yapılan deneyler

Hazırlanan numunenin, yapılan kimyasal analizinde % 49.92 B₂O₃ ve 1575 ppm As içerdiği görülmüştür.

3.5.3.1.1. Kolemanit vüzdürme

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: BaCl ₂ .2H ₂ O
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.5 de verilmiştir.

Çizelge 3.5. % 0.5 realgar içerikli numune ile yapılan kolemanit yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	96.55	49.88	1015	96.47	62.22
Batan	3.45	51.04	17247	3.53	37.78
Toplam	100.00	49.92	1575	100.00	100.00

3.5.3.1.2. Realgar yüzdürme

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.6 da verilmiştir.

Çizelge 3.6. % 0.5 realgar içerikli numune ile yapılan realgar yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	40.71	50.05	2885	40.82	74.57
Batan	59.29	49.83	676	59.18	25.43
Toplam	100.00	49.92	1575	100.00	100.00

3.5.3.2. % 5 realgar içeren numuneler ile yapılan deneyler

Hazırlanan numunenin, yapılan kimyasal analizinde % 47.70 B₂O₃ ve 8460 ppm As içerdiği görülmüştür.

3.5.3.2.1. Kolemanit yüzdürme

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: BaCl ₂ .2H ₂ O
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.7 de verilmiştir.

Çizelge 3.7. % 5 realgar içerikli numune ile yapılan kolemanit yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	96.91	47.97	7690	97.46	88.09
Batan	3.09	39.23	32609	2.54	11.91
Toplam	100.00	47.70	8460	100.00	100.00

3.5.3.2.2. Realgar yüzdürme

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oram	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.8 de verilmiştir.

Çizelge 3.8. % 5 realgar içerikli numune ile yapılan realgar yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	20.49	39.68	27319	17.04	66.17
Batan	79.51	49.77	3600	82.96	33.83
Toplam	100.00	47.70	8460	100.00	100.00

3.5.4. Tüvenan cevher ile yapılan deneyler

Ocaktan alınan tüvenan cevher seramik havanda öğütülerek +75-150 mikron boyutunda elenmiştir. Elenmiş numune % 32.45 B₂O₃ ve 1250 ppm As içeriklidir. Bu deneylerde, saf mineraller ile daha önceden yapılan deneylerden elde edilen en uygun deney koşulları kullanılmıştır. Tüvenan cevherdeki gangları bastırıcı olarak kullanılan Na₂SiO₃'ün 1 kg/ton ve 2 kg/ton miktarlarında kolemanit yüzdürme ve realgar yüzdürme deneyleri yapılmıştır.

3.5.4.1. Kolemanit yüzdürme

Deney 1

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: BaCl ₂ .2H ₂ O
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Bastırıcı Cinsi	: Na ₂ SiO ₃
Bastırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 20
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.9 da verilmiştir.

Çizelge 3.9. 1 kg/ton Na₂SiO₃ varlığında kolemanit yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	28.36	27.17	2096	23.75	47.55
Batan	71.64	34.54	915	76.25	52.45
Toplam	100.00	32.45	1250	100.00	100.00

Deney 2

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: BaCl ₂ .2H ₂ O
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Bastırıcı Cinsi	: Na ₂ SiO ₃
Bastırıcı Miktarı	: 2 kg/ton
Katı Oranı	: % 20
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.10 da verilmiştir.

Çizelge 3.10. 2 kg/ton Na₂SiO₃ varlığında kolemanit yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	31.57	28.68	1770	27.90	44.70
Batan	68.43	34.19	1010	72.10	55.30
Toplam	100.00	32.45	1250	100.00	100.00

3.5.4.2. Realgar yüzdürme

Deney 1

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Bastırıcı Cinsi	: Na ₂ SiO ₃
Bastırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 20
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.11 de verilmiştir.

Çizelge 3.11. 1 kg/ton Na₂SiO₃ varlığında realgar yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	6.89	18.90	5585	4.01	30.78
Batan	93.11	33.45	929	95.99	69.22
Toplam	100.00	32.45	1250	100.00	100.00

Deney 2

Deney Koşulları :

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Bastırıcı Cinsi	: Na ₂ SiO ₃
Bastırıcı Miktarı	: 2 kg/ton
Katı Oranı	: % 20
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Deney sonuçları Çizelge 3.12 de verilmiştir.

Çizelge 3.12. 2 kg/ton Na₂SiO₃ varlığında realgar yüzdürme deneyi

ÜRÜN	% Ağırlık	% B ₂ O ₃	Ppm As	% Dağılım B ₂ O ₃	% Dağılım As
Yüzen	7.23	13.50	6254	3.01	36.17
Batan	92.77	33.93	860	96.99	63.83
Toplam	100.00	32.45	1250	100.00	100.00

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Elektrokinetik Potansiyel Ölçümleri

Elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde; kolemanit ve realgar minerallerinin elektrokinetik potansiyeline, pH'm, çeşitli iyonların ve flotasyon reaktiflerinin etkisi, tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar şekil 3.3 –3.27 de görülmektedir.

Kolemanit süspansiyonları ile yapılan deneylerde, kolemanit çözeltisinin bir dakikadan daha kısa bir sürede tampon pH olan 9.30 ± 0.1 değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Zeta potansiyel ölçümleri kolemanit için, asidik ortamda çözünmesi nedeniyle pH = 8-12 değerlerinde, realgar için ise pH = 6-12 değerlerinde yapılmıştır. PH'ın artmasıyla, her iki mineralin zeta potansiyel değerinin negatifliği de (-) az bir oranda artış göstermiştir (Şekil 3.3). Kolemanit ve realgarın pH'a göre yapılan potansiyel ölçümlerinde her iki mineral içinde sıfır yük noktasının görülmediği, kolemanit ve realgarın ölçülen bütün pH değerlerinde negatif yüzey yüküne sahip olduğu tespit edilmiştir.

CaCl_2 , NaCl , BaCl_2 , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ve As_2O_3 'ün kolemanit ve realgar minerallerinin zeta potansiyeline etkisi değişik pH'larda ve değişik konsantrasyonlarda incelenmiştir.

Bor minerallerinin potansiyel tayin eden iyonları genellikle katyon (örneğin Ca^{2+} , Mg^{2+}), $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ve sistemin pH' sını kontrol eden H^+ ve OH^- iyonlarının yanı sıra $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$ oranının olduğu belirtilmektedir. Çeşitli tuzlar $\text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ve reaktifin çözünürlük sabiti sırasına göre kolemanit flotasyonunda etkili olduğu saptanmıştır (Çelik ve diğerleri, 1993 ve 1994).

Ortamda, CaCl_2 ve BaCl_2 miktarlarının artması ile kolemanitin negatif (-) olan zeta potansiyel değerinin negatifliği (-) belirgin olarak azalmış, hatta CaCl_2 konsantrasyonunun artmasıyla sıfır değerine yaklaşmıştır. NaCl , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 ve $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ miktarlarının artması ile kolemanitin negatif (-) olan zeta potansiyel değerinin

negatifliği (-) daha da negatif (-) olmuştur. Bu negatiflik Na_2SiO_3 ve $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 'da daha belirgin görülmüştür. Realgar mineralinin, negatif (-) olan zeta potansiyel değeri, ortamda CaCl_2 , NaCl , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 ve As_2O_3 miktarlarının artmasıyla daha da negatif (-) olmuş, BaCl_2 miktarının artması ile de negatifliği azalma göstermiştir.

Ksantatlar (KAX, KEX), sülfonatlar (R825, R840), yağ asidi Na-Oleat ve amin tipi Armac-T toplayıcılarının kolemanit ve realgar minerallerinin zeta potansiyeline etkisi değişik pH'larda ve değişik konsantrasyonlarda incelenmiştir.

Kolemanit için potansiyel belirleyen iyonların latis iyonları olan Ca^{+2} ve $\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$ iyonlarının potansiyel belirleyen iyonlar olduğu belirlenmiştir. Na^+ iyonlarının kolemanit için potansiyel belirleyen iyon olmadığı görülmüştür. Realgarda ise potansiyel belirleyen iyonlar tespit edilememiştir.

Bor mineralleri hem anyonik hem de katyonik reaktiflerle yüzebilmektedir. Genellikle elektrostatik çekim mekanizması esasına göre reaktifler mineral yüzeyine yapışmaktadır (Çelik ve diğerleri, 1994).

Flotasyon reaktifleri ile yapılan elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde ksantatlar kolemanit yüzeyinde önemli bir değişiklik göstermemiştir. Sülfonat tipi toplayıcıların (R825, R840) ve sodyum-oleatın, kolemanitin zeta potansiyelini önemli oranda arttırarak, negatif olan kolemanit yüzeyini daha da negatif yapmıştır. Bu durum sülfonat ve sodyum-oleat toplayıcıların kolemanit yüzeyine kimyasal olarak adsorb olabileceğini göstermektedir. Katyonik bir toplayıcı olduğu bilinen Armac-T, artan konsantrasyonlarında kolemanit ve realgarın negatif (-) olan zeta potansiyelini pozitif (+) yapmıştır. PH'nın düşürülmesi pozitifliği daha da arttırmıştır.

R825, R840 ve Na-Oleat realgarın negatif (-) olan zeta potansiyelini daha da negatif yapmıştır. KAX'ın realgar yüzeyini KEX'ten daha fazla etkileyerek yüzey yükünün negatifliğini arttırdığı belirlenmiştir. Çalışılan anyonik toplayıcıların negatif yüklü realgar yüzeyine kimyasal olarak adsorblanabileceği tespit edilmiştir.

4.2. İnfrared Spektroskopi Çalışmaları

Kolemanit ve realgarın yüzeyine, kullanılan toplayıcıların adsorpsiyon mekanizmalarını araştırmak için infrared spektroskopi yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle saf minerallerin ve toplayıcıların infrared spektrumları çizilmiş ve anyonik toplayıcılarla pH= 9.3 civarında, katyonik toplayıcı ile pH=8.4 civarında muamele edilen minerallerin infrared spektrumları ile karşılaştırılarak adsorpsiyon mekanizmaları belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar şekil 3.28 – 3.42 de görülmektedir.

Infrared spektroskopi çalışmaları ile ksantatların, kimyasal yapıları ve bağların yapısı geniş olarak incelenmiştir (Rao, 1971). Karakteristik bantları 813-1200 cm^{-1} bantları arasındadır .Çizelge 3.13 de bazı ksantatlar için adsorpsiyon bantları verilmiştir.

Çizelge 3.13. Bazı ksantatların adsorpsiyon bantları

Bileşikler	Band Frekansları (cm^{-1})				
Sodyum etil ksantat	1179	1160	1085	1040	1010
Potasyum butil ksantat	1175	1153	1065	1018	926
Bakır etil ksantat	1190	1152	1094	1024	872
Çinko etil ksantat	1148	1065	1049	1027	872

Ksantat bileşiklerinde, adsorpsiyon bantlarındaki değişikliklerin ise ksantat iyonlarının farklı oryantasyondan dolayı olduğu belirtilmektedir (Rao, 1971).

Yağ asitleri ve sabunların infrared spektroskopi çalışmaları bazı araştırmacılar tarafından yapılmış (Leja, 1983; Palmer, 1972; Brandao and Poling, 1988) ve karakteristik band frekansları verilmiştir. Bu karakteristik bandlar şunlardır:

- i. 1700 cm^{-1} bandı asit karboksil (COOH) grubundaki C = O karbonil bağı,
- ii. 1430 cm^{-1} , 1414 cm^{-1} bandı 1300 cm^{-1} bandı C - OH gerilim bağı,
- iii. 1465 cm^{-1} bandı CH₂ deformasyon gerilimi bağı,
- iv. 1170–1320 cm^{-1} bandları CH₂ gerilim bağı,
- v. 1400–1590 cm^{-1} bandları ise C - O gerilim bağı gösterir.

Sülfonatlar için belirlenen karakteristik bandlar şunlardır (Leja, 1983; Palmer, 1972);

- i. 900 cm^{-1} – 700 cm^{-1} bantları S - O gerilim bağı,
- ii. 1200 cm^{-1} – 1040 cm^{-1} bantları S = O gerilim bağı,
- iii. 1400 cm^{-1} – 1310 cm^{-1} , 1230 cm^{-1} ve 1120 cm^{-1} bantları SO₂ bağı,
- iv. 950 cm^{-1} ve 1030 cm^{-1} bantları C - OS gerilim bağı gösterir.

Aminler için belirlenen karakteristik bantlar şunlardır (Leja, 1983; Palmer, 1972);

- i. 3370 cm^{-1} ve 3290 cm^{-1} bantları hidrojen NH₂ bağı,
- ii. 2455 cm^{-1} ve 2670 cm^{-1} bantları NH₂ gerilim bağı,
- iii. 1600 cm^{-1} bandı NH₂ deformasyon gerilim bağı,
- iv. 1628, 1584, 1521 cm^{-1} bantları N⁺-H₃ deformasyon gerilim bağı,
- v. 1070 cm^{-1} bandı C - N gerilim bağı gösterir.

Kolemanit için KAX, KEX gibi ksantatlarla yapılan adsorpsiyon çalışmaları sonunda elde edilen infrared spektrumlarında herhangi bir karakteristik adsorpsiyon pikine rastlanmamıştır (Şekil 3.36 ve 3.37). KAX, KEX ile yapılan elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde ise bu toplayıcıların kolemanitin yüzey potansiyelini daha da negatif yaptığı belirlenmiştir. Infrared spektrumunda herhangi bir değişiklik olmamasına rağmen ksantatların kolemanit yüzeyine adsorpsiyonu söz konusudur. Leja (1983)'nın belirttiği gibi bu tip adsorpsiyonlar spesifik olarak adlandırılmakta ve mineralin elektrokinetik potansiyelinin mutlak değerinin değişimi ile belirlenmektedir (Shaw, 1970).

R825, R840 gibi sülfonatlar ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında, R825'in kolemanitin infrared spektrumunu değiştirmedeği fakat R840 ile yapılan çalışmalarda kolemanitin 1400-1300 cm^{-1} arasındaki piklerinin kaybolduğu buna karşın kolemanit

yüzeyinde $1390 - 1460 \text{ cm}^{-1}$ bantlarında karakteristik R840 pikleri tespit edilmiştir. Bu nedenle bu toplayıcının kolemanit yüzeyine kimyasal olarak adsorbe olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.38 ve 3.39).

Yağ asitleri ve onların tuzlarının değişik mineraller üzerine kimyasal olarak adsorbe olduğu bir çok yazar tarafından belirtilmiştir. Bunlara göre magnezyum oleat 1630 cm^{-1} , alüminyum oleat 1615 cm^{-1} , ve demir oleat 1559 cm^{-1} de karakteristik pikler vermektedirler (Leja, 1983; Palmer, 1972; Atalay, 1986; Gence, 1991; Koca, 1992). Sodyum oleatın kolemanit yüzeyine adsorpsiyonunda 1570 cm^{-1} de yüzeyde kalsiyum oleatın oluşabileceği ve oleatın kolemanit yüzeyine kimyasal olarak adsorbe olduğu tespit edilmiştir. Çünkü kolemanit yüzeyinde $1570 - 1450 \text{ cm}^{-1}$ arasındaki bantlarda yeni adsorpsiyon pikleri oluşurken kolemanitin karakteristik bantları kaybolmuştur (Şekil 3.40).

Katyonik toplayıcılardan Armac-T ile yapılan infrared çalışmalarında kolemanitin adsorpsiyon piklerinde hiç bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Elektrokinetik çalışmalarda görüleceği üzere kolemanit yüzeyi negatif yüklüdür ve amin iyonu RNH_3^+ ise pozitif yüklü olduğundan kolemanit yüzeyine fiziksel olarak adsorbe olmaktadır (Şekil 3.41).

Sodyum silikatın ise, flotasyon deneylerinde seçimliliği yaratmak için kullanılabilceği düşünülmüş, bu nedenle Na_2SiO_3 ile de, yüzeylere adsorpsiyon mekanizmasını belirleyebilmek için IR deneyleri yapılmıştır. Sodyum silikat ile yapılan çalışmalarda, kolemanitin infrared spektrumunda önemli bir değişiklik tespit edilememiştir (Şekil 3.42).

Realgar ile yapılan infrared spektroskopi ölçümlerinde kullanılan bütün flotasyon toplayıcıları ile, hem nujol hem de KBr peletleri ile numuneler hazırlanmış ancak cihazda yapılan ölçümler sonucunda realgar için hiçbir karakteristik bant tespit edilememiştir. Bunun nedeni ise literatürde belirtildiği gibi arsenik, antimuan, kalay, çinko, civa gibi elementlerin ve bu elementlerin bileşiklerinin karakteristik adsorpsiyon bantlarının olmamasıdır (Pouchert, 1981).

4.3. Temas Açısı Ölçümleri

Temas açısının, minerallerin yüzebilme yeteneğini belirmede kullanılan bir yöntem olması nedeniyle flotasyon çalışmalarına geçmeden önce, kolemanit ve realgar minerallerinin, saf suda ve flotasyon reaktiflerinin varlığında temas açıları ölçülmüştür. Ölçülen temas açısı değerleri şekil 3.43 – 3.57 de görülmektedir.

Saf suda pH'ya bağlı olarak yapılan temas açısı ölçümlerinde; realgar minerali için 26-27° temas açısı değeri ölçülmüş olup, kolemanit minerali için ise 32-34° temas açısı değeri ölçülmüştür. Değişen pH değerleri her iki mineralin de temas açısı değerlerini değiştirmemiştir. Kolemanit minerali için, hidrofob bir mineral olarak bilinen arsenik minerali, realgardan daha yüksek temas açısı değeri tespit edilmiştir.

Flotasyon reaktifleri ile yapılan temas açısı ölçümlerinde, ksantatların (KAX, KEX) kolemanitin temas açısını hiç etkilemediği, sülfonat tipi toplayıcılarından R825' in temas açısı değerini çok az arttırdığı görülmüştür.

Sülfonat tipi toplayıcılarından R840 ve Na-Oleat'ın, kolemanitin temas açısını 45° değerine yükselttiği tespit edilmiştir. Katyonik toplayıcılardan Armac-T ise kolemanitin temas açısını 47° ye yükseltmiştir. Bu değerler, kolemanit mineralinin R840, Na-Oleat ve Armac-T toplayıcıları ile yüzebileceğini göstermiştir.

Na_2SiO_3 'ın kolemanitin temas açısını, düşük konsantrasyonlarda etkilemediği, fakat artan konsantrasyonlarında 27° ye düşürdüğü görülmüştür. Bu nedenle tüvenan cevher ile yapılan flotasyon deneylerinde gang bastırıcı olarak kullanılan Na_2SiO_3 miktarının çok iyi tespit edilmesi gerekmektedir.

Realgarda ise, kullanılan reaktiflerin, realgarın temas açısını belirli oranlarda arttırdığı tespit edilmiştir. Belirgin açısı değerinin artışı ksantatlarda (KAX, KEX) elde edilmiş ve temas açısı 62-63° değerlerine kadar yükselmiştir. Temas açısı ölçümleri sonucunda realgar mineralinin en iyi KAX ve KEX ile yüzdürülebileceği görülmüştür.

4.4. Flotasyon Çalışmaları

Flotasyon çalışmaları; mikroflotasyon hücresinde saf kolemanit ve realgar mineralleri ile ayrı ayrı ve her iki mineralin saf hallerinin karışımından oluşturulan yapay numuneler ile yapılan çalışmalar ve denver hücresinde tüvenan cevher ile yapılan deneylerden oluşmuştur. Sonuçlar şekil 3.62-3.76 ve çizelge 3.5-3.12 de görülmektedir.

Yapılan bütün flotasyon çalışmaları için, bazı araştırmacıların yaptığı kolemanit ve arsenik flotasyon çalışmalarından faydalanılarak, boyut +75-150 mikron ve köpürtücü cinsi (MIBC) olarak seçilmiştir.

Kolemanit mineralinin en iyi yüzdürülebileceği flotasyon koşullarının tespiti amacıyla, saf kolemanit kristalleri ile yapılan çalışmalarda, pH, toplayıcı cinsi ve miktarı canlandırıcı cinsi ve miktarı, katı oranı, kıvam süresi ve flotasyon süresi çeşitli değerler için denenmiş ve elde edilen en iyi koşullar aşağıdaki gibi tespit edilmiştir.

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: Sodyum oleat
Toplayıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: BaCl ₂ .2H ₂ O
Canlandırıcı Miktarı	: 0.5 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/lt

Yukarıda belirtilen deney koşullarında kolemanit mineralinin % 97-98.50 verimler ile yüzdürülebileceği tespit edilmiştir. Kolemanit için en iyi toplayıcı olarak Na-Oleat tespit edilmiştir. Bu tespit daha önce yapılan zeta potansiyel, temas açısı ve infrared spektroskopi çalışmalarını doğrulamıştır.

Realgar mineralinin en iyi yüzdürülebileceği flotasyon koşullarının tespiti amacıyla, saf realgar kristalleri ile yapılan çalışmalarda, pH, toplayıcı cinsi ve miktarı canlandırıcı cinsi ve miktarı, katı oranı, kıvam süresi ve flotasyon süresi çeşitli değerler için denenmiştir. Toplayıcı cinsi % 97.47 verim ile R840 tespit edilmiş, ancak R840'ın kolemanit için de iyi bir toplayıcı olması ve KAX'ın ise kolemanit için iyi bir toplayıcı olmaması nedenlerinden dolayı, % 83.45 verim ile KAX toplayıcı olarak seçilmiştir. Elde edilen en iyi koşullar aşağıdaki gibi tespit edilmiştir.

PH	: 9.3
Toplayıcı Cinsi	: KAX
Toplayıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Canlandırıcı Cinsi	: Gazyağı
Canlandırıcı Miktarı	: 1 kg/ton
Katı Oranı	: % 3
Kıvam Süresi	: 10 dak.
Flotasyon Süresi	: 60 sn.
Köpürtücü ve Miktarı	: MIBC – 1 ml/l

Yukarıda belirtilen deney koşullarında realgar mineralinin % 87-88.50 verimler ile yüzdürülebileceği tespit edilmiştir. Realgar için en iyi toplayıcı olarak KAX tespit edilmiştir.

Saf numuneler ile elde edilen en iyi flotasyon koşullarının, kolemanit ve realgar minerallerini birbirinden ayrılma koşullarını belirlemek amacıyla; söz konusu mineraller tüvenan cevherdeki arsenik miktarını temsil edebilecek oranlarda karıştırılarak yapay numuneler elde edilmiştir. % 0.5 realgar içerikli yapay numunenin yapılan analizinde % 49.92 B₂O₃ ve 1575 ppm As içerdiği, % 5 realgar içerikli yapay numunenin yapılan analizinde % 47.70 B₂O₃ ve 8460 ppm As içerdiği tespit edilmiştir. % 5 realgar içerikli yapay numunenin 8460 ppm As gibi yüksek bir değer içerdiği tespit edilmesine rağmen, flotasyon deneyleri esnasında realgarın davranışını izleyebilmek için bu numune ile de deneyler yapılmıştır.

Yapay numuneler ile yapılan deneylerde; kolemanit yüzdürme deneylerinde % 96-97 B₂O₃ verimi ve % 48-50 B₂O₃ tenörü ile kolemanit konsantreleri elde edilmiştir. Ancak toplayıcı olarak kullanılan Na-Oleatın realgar minerali için de iyi bir toplayıcı olması nedeniyle yüzdürülen kolemanit konsantresinde arsenik oranının yeteri kadar düşmediği görülmüştür.

% 0.5 realgar içerikli numune ile yapılan realgar yüzdürme deneylerinde % 74.57 As verimi ve 2885 ppm As içerikli realgar konsantresi elde edilmiştir. Değerli mineral kolemanit batan ürün olarak % 59.18 B₂O₃ verimi ve % 49.83 B₂O₃ tenörü ile elde edilmiştir. Kolemanit konsantresinin arsenik içeriği 676 ppm olmuştur.

% 5 realgar içerikli numune ile yapılan realgar yüzdürme deneylerinde % 66.17 As verimi ve 27319 ppm As içerikli realgar konsantresi elde edilmiştir. Değerli mineral kolemanit batan ürün olarak % 82.96 B₂O₃ verimi ve % 49.77 B₂O₃ tenörü ile elde edilmiştir. Kolemanit konsantresinin arsenik içeriği 3600 ppm olmuştur.

% 0.5 ve % 5 realgar içerikli numuneler ile yapılan realgar yüzdürme deneyleri sonucunda elde edilen kolemanit konsantrelerinde arsenik içeriğinin beslenene göre azaldığı görülmüştür. Deneylerin sonuçlarından da görüldüğü üzere, miktarca da az olan realgar mineralini yüzdürmenin, arseniği kolemanitten ayırma amacına daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Deneyler için hazırlanan +75-150 mikron boyutlarındaki tüvenan cevherin kimyasal analizi yapılmış ve % 32.45 B₂O₃ ve 1250 ppm As içerdiği tespit edilmiştir. Numunenin gang mineralleri içermesi nedeniyle, 1 kg/ton ve 2 kg/ton miktarlarında bastırıcı (Na₂SiO₃) kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Tüvenan cevher ile yapılan kolemanit yüzdürme deneylerinde iyi bir verim ve tenör elde edilememiştir. Yüzen ürün olarak elde edilen kolemanit konsantrelerinde arsenik içeriklerinin beslenene göre arttığı tespit edilmiştir. Yine burada toplayıcı olarak kullanılan Na-oleat'ın realgarı da belli bir miktarda yüzdürdüğü görülmektedir.

Tüvenan cevher ile yapılan realgar yüzdürme deneylerinde düşük % As verimleri ile realgar konsantreleri elde edilmiştir. Batan ürün olarak elde edilen kolemanit konsantrelerinde % 96-97 B₂O₃ verimi elde edilirken tenör artışı çok az olmuştur. Fakat arsenik içeriklerinde belirgin bir azalma görülmüştür.

Flotasyon deneyleri sonucunda, kolemanit ve realgar minerallerinin flotasyonunda en iyi koşullar tespit edilmiş ve kullanılan reaktiflerin saf mineraller üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Arseniğin kolemanitten ayrılmasında realgarı yüzdürmek daha olumlu sonuçlar vermiştir.

Tüvenan cevherde, arsenik minerali realgarın, kolemanitten ayrılabilceği görülmüş, ancak gang minerallerinin ortamda bulunması ve bastırıcı kullanılmasına bağlı olarak istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Kolemanit konsantrelerinin düşük % B₂O₃ verim ve tenör ile elde edilmesi, flotasyon süresinin yetersiz ve/veya bastırıcı miktarının fazla olmasıyla ilgili olabilir.

Bu sonuçlara göre, flotasyon yöntemi ile tüvenan cevherdeki arseniğin, kolemanitten istenilen oranda ayrılması aşamalı flotasyon ile mümkün görülmektedir. Çalışmalarda şlamın etkisi de dikkate alınmalıdır (Çelik ve diğerleri, 1994).

ÖNERİLER

- 1- Arseniğin kolemanitten ayrılabilmesi için, her iki minerali daha selektif etkileyebilecek reaktiflerin bulunması için çalışmalar yapılmalıdır.
- 2- Infrared spektroskopi çalışmalarında Shimadzu IR-435 modeli cihaz kullanılmış olup, realgar mineralinin karakteristik bantları tespit edilememiştir. Realgar için bu çalışmalar, değişik dalga boylarında çalışabilen cihazlar ile araştırılmalıdır. IR çalışmaları için hazırlanan numunelerin tarama tünelli elektron mikroskobu ile incelenmesi açıklayıcı bilgiler verecektir.
- 3- Tüvenan cevher ile yapılacak flotasyon çalışmalarında, kolemanitin ve arsenik minerallerinin dağılımı ve serbestleşme tane boyutları incelenerek tespit edilmeli ve tüvenan cevherde en iyi flotasyon koşullarının belirlenmesi için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ - 1

- Akyüz, S. and Akyüz, T., 1982, An Infrared Spectroscopic Study of Adsorption of Hydrocarbons by Sepiolite from Eskişehir (Turkey). Hacettepe Bulletin of Natural Science and Eng., Vol. II, Ankara, 47-60
- Atak, S., 1990, Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, Yayın No: 34, İ.T.Ü., İstanbul
- Atalay, M.Ü., 1986, Surface Properties of Chromite and Concentration of Chromite Gravity Tailing, A Ph.D. Thesis in Mining Engineering, O.D.T.Ü., Ankara, 129 p.
- Barrow, G.M., 1973, Physical Chemistry, Mc Graw-Hill Book Comp., Tokyo, 787 p.
- Berkem, A.R. ve Baykut, S., 1977, Fiziko-kimya, İ.T.Ü. Yayınları, 1111 s.
- Boztepe, D., 1988, Emet Kolemanit İşletmelerinin -3mm Gölet artıklarının As Tenörünün Düşürülerek B₂O₃ Bakımından Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. (1988)
- Brandao, P.R.G., and Poling, G.W., 1988, Flotation of Magnesite With Sodium Oleate Collector, an Infrared Spectrophometric Study, XVI International Mineral Processing Congress, 1463-1475 p.
- Castellan, W.G., 1971, Physical Chemistry, University of Maryland, Addison-Wesley Publishing Company, 866 p.
- Çakoloz, T., 1969, Kolemanit Cevherinden Arsenik Ayrılması, Türk Patent No: 15247 Mag: 158 Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Raporu. (ODTÜ)
- Çakoloz, T., 1971, Kolemanit Cevherinden Arsenik Ayrılması Pilot Tesis Çalışmaları. (ODTÜ)

KAYNAKLAR DİZİNİ - 2

Çakoloz, T., Tan, E., Arıkut, D., 1985, Kolemanit Cevherinden Arsenik Ayrılması.

Çelik, M. S., Hançer, M., 1993, flotation of Boron Minerals, (İTÜ)

Çelik, M. S., Hançer, M., Ateşok, G., Emrullahoğlu, Ö. F., 1993, Activation Mechanisms of Multivalent Ions in the Flotation of Boron Minerals, (İTÜ)

Çelik, M. S., Hançer, M., 1994, Reply to Discussion on Flotation of Boron Minerals. (İTÜ)

Çelik, M. S., Kaytaz, Y., Yaşar, E., Gülgönül, İ., 1994, Kolemanit Flotasyonunda Şlamın Etki Mekanizması. (İTÜ)

Çelik, M. S., Yaşar, E., Hançer, M., 1994, Bor Minerallerinin Yüzey Kimyası. (İTÜ)

Çelik, M. S., Yaşar, E., 1994, Electrokinetic Properties of Some Hydrated Boron Minerals.(İTÜ)

De Bruyn, P.L., and Açar, G.E., 1962, Surface Chemistry and Flotation, Froth Flotation, 50 th Anniversary Vol., AIME, New York, 91-138 p.

Dexter, R.W., and Osborne, D.G., 1973, Principles of the selective Flocculation of Minerals from Mixtures Using High Molecular Weight Polyelectrolytes, Camborne Sch. Mines, Vol.73, 34-41 p.

Drelich, J., and Miller J.D., 1995, A Systematic Comparison of Sessile-Drop and Captive-Bubble Contact Angle Methods, University of Utah, Salt Lake City, UT, Society For Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Preprint Number 95-11

KAYNAKLAR DİZİNİ – 3

Feurstenau, D.W., 1982, Mineral-Water Interfaces and the Elektrical Double Layer, Principles of Flotation, Cape and Transvaal Printers Ltd. South Africa, 650 p.

Feurstenau, M.C., Miller. J.D., and Kuhn, M. C., 1984, Chemistry Of Flotation. American İns. Of Min. Metalurgy, And petroleum Engineers. İnc.P.177, USA.

Grahame, D.C., 1947, Chemical, Rewiew, 41, 441 p.

Gence, N., 1991, Manyezitin Yüzey Özellikleri ve Reaktif Adsorplama Mekanizması, Doktora Tezi, A.Ü., Eskişehir

Gül, R., ve Boybay., 1983, Metallerin Kil İle Adsorpsiyonu, I. Ulusal Kil Sempozyumu Bildirileri, Çukurova üniv., Adana, 487-495 s.

Gündüz, T., 1993, Instrümental Analiz, 123-171 s., A.Ü. Fen Fakültesi, Ankara

Hair, L.M., 1967, Infrared Spektroskopy in Surface Chemistry, Marcel Dekker Inc., New York,315 p.

Hall, G.O., 1983, Thermodynamics of Adsorption from Mixed Solvents, Symposium on Adsorption from Solution, London,31-49 p.

Hilton, L.C. and Snell, D.F., 1966, Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis, Vol.II., General Techniques, U.S.A., 769 p.

Hançer, M., 1991, Otomatik Kontrollü bir Mikroflotasyon Ünitesinde Kolemanit Flotasyonunun İncelenmesi. (İTÜ)

Helvacı, C., Firman, R.J., 1985, Emet Borat Yataklarının Jeolojik Konumu ve Minerolojisi.

KAYNAKLAR DİZİNİ – 4

- Helvacı, C., 1989, Türkiye Bor Madenciliğinin İşletme, Stoklama ve Pazarlama Sorunlarına Mineralojik Bir Yaklaşım, Jeoloji Müh. Dergisi Mayıs- Kasım Sayı 34-35.
- Hunter, J.R.,1981, Zeta Potential in Colloid Science, New York, 386 p.
- Kaya, M., 1991, Flotasyon El Kitabı-1 (OGÜ)
- Kaya, M., 1991, Flotasyon ve Yüzey Kimyası, Mesleki Geliştirme Semineri (OGÜ)
- Kayıkçı, N., 1988, Eskişehir Yöresi Bentonitlerinin Yağ Ağartma Kapasitelerinin Belirlenmesi ve Boyar Madde Adsorpsiyonlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, A.Ü.,100 s.
- Kaytaç, Y., 1991, Endüstriyel Hammadde ve Bor Teknolojisi, Meslek İçi Eğitim semineri, İTÜ, İstanbul
- Klassen, V.I., and Mokrousov, V.A., 1963, An Introduction to the Theory of Flotation, Butterworth. Company, London, 493 p.
- Koca, S., 1992, Kaolin ve Alunitin Reaktif Adsorpsiyon Mekanizmalarının Flotasyon Reaktiflerinin Seçimine Etkisi, Doktora Tezi, A.Ü., Eskişehir
- Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M., Öztoprak, M., 1988, Etibank Emet Arsenikli Kolemanit Atık Gölet Numunesinin Laboratuvar ve Pilot Ölçekte Yapılan Zenginleştirme Çalışmaları. (MTA)
- Köse, M., Ertekin, S., Gündüz, M., Öztoprak, M., 1983, Hisarcık Tuvönan Cevherinin Flotasyonu. (MTA)

KAYNAKLAR DİZİNİ – 5

- Kruyt, H.R., 1952, Irreversible Systems, Colloid Science, Vol. I, Elsevier, New York, 198-214 p.
- Le, H.V., 1981, Floatability of Coal and Pyrite, M.Sc. Thesis Iowa State Univ., U.S.A. 210 p.
- Leja, J., 1983, Surface Chemistry of Froth Flotation, Plenum Press, New York, 758 p.
- Mackenzie, J.M.W., 1971, Zeta Potential Studies an Mineral Processing Measurement Techniques and Applications, Min. Sci. Engrs., 25-43 p.
- Manser, R.M., 1973, Silicate Flotation Handbook, Warren Spring Laboratory, Stevenage, 195 p.
- Mari, S., Okomoto, H., Hara, T. and Asa, K., 1980, An Improved Method of Determining the Zeta Potential of Mineral Particles by Micro-Electrophoresis, Fine Particles Processing, Vol. I., Proceedings of the International Symposium on Fine Particles Processing, Las Vegas, Nevada, 632-651 p.
- Nakamoto, K., 1976, Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds, 5th Edition, USA.
- Nakanishi, K. and Solomon, P.H., 1977, Infrared Adsorption Spectroscopy, Holden-Day Inc., San Francisca, 287 p.
- Nalaskowski, J., Veeramasuneni, S., Miller J.D., 1998, Interaction Forces In the Flotation of Colemanite as Measured by Atomic Force Microscopy, Innovations in Mineral and Coal Processing, Balkema, Rotterdam.

KAYNAKLAR DİZİNİ – 6

- Özdağ, H., 1987, Elektroforez Cihazı Özellikleri ve Kullanımı, Ders Notları, A.Ü., Eskişehir
- Özkan, Ş.G., Alp, S., & Veasey, T. J., 1993, Flotation Studies of Colemanite Ores from the Emet Deposit of Turkey.
Türkiye 13. Madencilik Kongresi. Pp. 452-458
- Palmer, B., 1972, Adsorption of Surfactants on Chromite and Chrysocolla, Ph.D. Thesis, University of Utah, 137 p.
- Peck, S.A., 1963, Infrared Studies of Oleic Acid and Sodium Oleate Adsorption on Fluorite, Barite, and Calcite, Bureau of Mines, R I 6202, 16 p.
- Peng, F.F., 1994, Removal of Arsenic From Aqueous Solution by Adsorbing Colloid Flotation, Industrial and Engineering Chemistry, v: 33, n: 4, p. 922-928.
- Pouchert, C.S., 1981, The Aldrich Library of Infrared Spectra, Edition 3, USA
- Rank Brothers Katalogu.
- Rao, S.R., 1971, Xanthates and Related compounds, Marcel Dekker inc, Newyork, USA
- Rosenthal, D. And Asimav, M.R., 1971, Introduction to Properties of Materials, Melbourne, 534 p.
- Rychnova, A., 1983, Removing Arsenic Sulfides From Colemanite.
Czechoslovakien Patent 20310.
- Satterfield, N.C., 1980, Heterogeneous Catalysis in Practice, Mc Graw Hill Book Comp., 416 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ – 7

- Savaş, M., Sönmez, E., Özdağ, H., 1994, Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Gölet Artıklarının Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması. (OGÜ)
- Seval, G., 1976, Experiments on the Separations of Arsenic Sulfides From Colemanite Mineral by Flotation. M.Tezi, P.67 (ODTÜ)
- Shaw, D.C., 1970, Introduction to Colloid and Surface Chemistry, Butterworths, Second Edition, 231 p.
- Silverstein, R.M., Bassler, C.G., Morrill, T.C., 1974, Spectrometric Identification of Organic Compounds, John Wiley and Sons, 3 th Edition U.S.A., 200 p.
- Somasundaran, P., 1980, Principles of Flocculation, Dispersion and Selective Flocculation, Fine Particle Processing, Vol. 2, Proceedings of International Symposium on Fine Particles Processing, Las Vegas, Nevada, 947-975 p.
- Somasundaran, P., Wang, Y.H., 1980, A Study of Carrier Flotation of Clay, Fine Particle Processing, Vol. 2 Proceedings of International Symposium on Fine Particles Processing, Las Vegas, Nevada, 1112-1127 p.
- Stern, O., 1924, The Theory of Electrolytic Double Layer, Z. Electrochem., Vol. 30, 508-516 p.
- Stresty, G.C., Raja, A. And Somasundaran, P., 1978, Selective Flocculation of Mineral Slimes Using Polymers, Recent Developments in Separation Science, CRC Press, U.S.A., Vol. IV, 165-180 p.
- US Borax and Chemical Corporation of Nevada, 1974, Patent Specification 1344024 ELKINGTON & FIFE Chartered Patent Agents, London.

KAYNAKLAR DİZİNİ - 8

- Üneri, S., 1968, Kolloit Kimyası, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 192 s.
- Wedler, G., 1929, Chemisorption-An Experimental Approach, The Butterworth Group, London, 250 p.
- Weiss, N.L., 1985, Antimony and Arsenic, SME Mineral Processing Handbook, New York.
- White, G.R., 1964, Handbook of Industrial Infrared Analysis, Plenum Press, New York, 440 p.
- Wills, B.A., 1997, Mineral Processing Technology, Sixth edition, Butterworth-Heinemann
- Yarar, B., 1971, Kolemanit Mineralinin Flotasyon Yoluyla Değerlendirilmesi. (TÜBİTAK) Proje No: 228
- Yarar, B., 1978, The Surface Chemical Mechanism Of Colemanite Of Colemanite-Calcite Separation By Flotation In Borates. Economic Geology And Production. Barker, J.M.& Lefond S.J. (eds). Pp.221-233
- Yarar, B., 1979, Selective Flocculation as a Mineral Benefication Process, 2nd World Filtration Congress, 140-153 p.
- Yekeler, M., Yarar, B., 1994, Techniques for Assessing the Floatability Characteristics of Minerals, Çukurova Univ., 15. Yıl Sempozyumu, Adana.

EKLER

Çizelge 4.1. Kolemanit mineralinin saf su varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişim

pH	Tanenin Hareketliliği	Elektrokinetik Potansiyel
	U	mV
8,00	0,574	-7,36
8,73	0,694	-8,90
9,40	1,426	-18,30
9,96	1,450	-18,60
11,08	1,723	-22,10

Çizelge 4.2. Realgar mineralinin saf su varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

pH	Tanenin Hareketliliği	Elektrokinetik Potansiyel
	U	mV
5,52	2,837	-36,40
6,16	3,016	-38,70
6,90	3,102	-39,80
7,15	3,266	-41,90
8,17	3,344	-42,90
9,30	3,375	-43,30
10,50	3,443	-44,18
11,52	3,523	-45,20

Çizelge 4.3. Kolemanit mineralinin değişik molardaki CaCl₂ varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M		10 ⁻¹ M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,15	-14,85	8,10	-8,00	8,10	-2,68
8,70	-12,70	8,50	-8,11		
9,17	-12,46	9,25	-7,55	9,75	-1,83
9,95	-13,09	10,60	-7,38		
10,80	-13,64	11,23	-7,00	10,85	-1,78

Çizelge 4.4. Realgar mineralinin değişik molardaki CaCl₂ varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M		10 ⁻¹ M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
5,75	-60,12	6,00	-75,00		
7,94	-55,48	8,25	-70,65	7,18	-148,83
9,00	-50,13	8,95	-70,29	8,96	-123,94
10,00	-50,90	10,15	-69,88	10,51	-108,93
11,20	-50,84	11,00	-66,34		

Çizelge 4.5. Kolemanit mineralinin değişik molardaki NaCl varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M		10 ⁻¹ M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,15	-18,10	8,00	-19,07		
8,60	-17,32	8,40	-15,20	8,42	-22,34
9,45	-16,72	9,96	-14,00	9,32	-23,96
10,29	-16,00	10,60	-12,65	10,75	-28,45
11,10	-16,18	10,80	-13,40		

Çizelge 4.6. Realgar mineralinin değişik molardaki NaCl varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
5,75	-47,24	5,60	-55,00		
8,14	-50,33	8,20	-59,73	7,90	-96,74
9,00	-50,88	9,35	-67,14	9,69	-116,02
10,00	-53,19	10,00	-70,11	10,63	-121,02
11,20	-55,00	11,00	-70,80		

Çizelge 4.7. Kolemanit mineralinin değişik molardaki $BaCl_2$ varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,18	-43,24	8,40	-23,45	8,40	-14,34
9,55	-37,72	9,03	-22,71	9,78	-13,41
10,60	-34,62	10,17	-19,76	10,43	-12,47
11,25	-31,05	11,25	-20,40		

Çizelge 4.8. Realgar mineralinin değişik molardaki $BaCl_2$ varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,33	-61,46	7,92	-27,84	7,82	-13,15
9,11	-61,97	8,61	-29,40	8,91	-9,48
10,40	-60,81	10,10	-32,08	10,65	-7,78
10,90	-59,53	11,04	-32,72		

Çizelge 4.9. Kolemanit mineralinin değişik molardaki Na_2CO_3 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,16	-19,86	8,00	-22,19		
9,30	-19,54	8,35	-22,50	8,24	-26,63
9,80	-28,00	9,20	-24,46	9,27	-30,10
10,30	-27,65	9,95	-28,95	10,80	-43,67
11,10	-30,65	11,00	-36,39		

Çizelge 4.10. Realgar mineralinin değişik molardaki Na_2CO_3 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
5,50	-51,14	5,30	-58,00		
8,34	-53,22	7,00	-69,81	8,18	-112,94
9,26	-55,88	9,10	-70,35		
10,00	-57,63	10,16	-73,61	9,92	-118,73
10,95	-59,00	11,35	-74,28	11,10	-119,81

Çizelge 4.11. Kolemanit mineralinin değişik molardaki Na_2SiO_3 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,00	-21,00	8,00	-30,34	8,40	-69,48
9,00	-23,46	9,25	-31,05		
9,67	-28,94	10,00	-34,13	9,75	-75,19
10,80	-28,67	10,44	-36,57		
11,00	-29,30	11,00	-35,90	10,64	-78,84

Çizelge 4.12. Realgar mineralinin değişik molardaki Na_2SiO_3 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
5,30	-52,44	5,60	-68,00		
8,14	-52,98	7,22	-64,06	8,80	-86,60
9,00	-55,00	8,35	-65,83	9,70	-90,32
9,84	-57,73	9,50	-70,14	10,52	-99,05
10,95	-59,60	11,20	-71,12		

Çizelge 4.13. Kolemanit mineralinin değişik molardaki $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
8,15	-19,85	8,10	-25,87	8,37	-43,72
8,90	-18,20	8,79	-26,80		
9,30	-19,00	9,20	-29,00	9,56	-49,01
10,20	-20,60	10,10	-38,88		
11,30	-21,00	11,00	-40,60	10,80	-48,32

Çizelge 4.14. Realgar mineralinin değişik molardaki As_2O_3 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-1} M	
pH	(mV)	pH	(mV)	pH	(mV)
5,60	-74,39	5,32	-80,86		
7,00	-74,00	6,15	-80,15		
8,50	-75,67	8,40	-80,40	8,40	-86,60
9,90	-75,09	10,00	-82,60	9,10	-89,17
10,83	-76,55	10,95	-90,88	10,95	-99,05

Çizelge 4.15. Kolemanit mineralinin değişik molardaki KAX varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,00	-22,10	8,02	-24,00
8,80	-22,75	8,15	-25,09
9,75	-23,00	9,46	-25,81
10,20	-23,80	10,45	-26,22
11,00	-23,95	11,05	-27,80

Çizelge 4.16. Realgar mineralinin değişik molardaki KAX varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M	
pH	(mV)	pH	(mV)
6,28	-45,00	8,08	-76,00
7,88	-40,81	8,70	-85,71
9,05	-30,25	9,05	-83,43
10,00	-30,40	10,05	-94,00
11,10	-31,66	10,90	-97,85

Çizelge 4.17. Kolemanit mineralinin değişik molardaki KEX varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,05	-12,02	8,10	-17,00
8,80	-13,50	9,04	-20,67
9,37	-18,32	10,07	-24,70
10,05	-21,65	10,88	-24,32
10,95	-23,74	11,00	-25,37

Çizelge 4.18. Realgar mineralinin değişik molardaki KEX varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,22	-51,85	8,00	-60,80
9,10	-50,32	8,89	-57,34
9,75	-51,02	9,82	-57,36
10,60	-51,90	10,75	-58,00
11,30	-53,35	11,20	-58,50

Çizelge 4.19. Kolemanit mineralinin değişik miktardaki R825 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

% 0.1		% 0.01	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,00	-67,27	8,20	-56,66
9,05	-71,80	9,30	-60,18
9,80	-73,61		
10,35	-75,09	10,35	-68,71
11,03	-80,00	11,02	-75,49

Çizelge 4.20. Realgar mineralinin değişik miktardaki R825 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

% 0.1		% 0.01	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,17	-90,33	7,56	-74,02
8,95	-91,27	9,00	-79,67
9,80	-95,60		
10,40	-98,46	10,32	-87,63
11,00	-99,05	11,20	-88,53

Çizelge 4.21. Kolemanit mineralinin değişik miktardaki R840 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

% 0.1		% 0.01	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,12	-62,78	8,25	-51,74
9,38	-64,50	9,40	-52,79
10,10	-70,66	10,15	-53,62
10,73	-74,79		
11,10	-81,25	11,00	-64,50

Çizelge 4.22. Realgar mineralinin değişik miktardaki R840 varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

% 0.1		% 0.01	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,20	-90,46	6,12	-69,35
9,08	-90,80	9,17	-77,05
10,34	-94,74	10,15	-79,46
10,85	-97,16		
11,25	-98,75	11,13	-83,48

Çizelge 4.23. Kolemanit mineralinin değişik molardaki Na-Oleate varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10^{-4} M		10^{-3} M	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,25	-25,66	8,10	-30,86
9,53	-24,83	8,45	-31,17
		9,78	-33,00
10,26	-25,60	10,70	-33,60
11,45	-27,01	11,20	-37,12

Çizelge 4.24. Realgar mineralinin değişik molardaki Na-Oleate varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

10 ⁻⁴ M		10 ⁻³ M	
pH	(mV)	pH	(mV)
8,10	-74,60	8,10	-93,40
9,24	-79,09	8,85	-95,00
		9,40	-98,75
10,16	-81,55	10,32	-98,89
11,27	-84,50	11,17	-99,37

Çizelge 4.25. Kolemanit mineralinin değişik miktardaki Armac-T varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

% 0.1		% 0.01	
pH	(mV)	pH	(mV)
3,80	93,06	8,10	18,76
6,45	79,46	8,99	11,10
7,80	71,25	10,35	10,84
8,70	45,71	10,60	-23,61
		10,90	-24,45

Çizelge 4.26. Realgar mineralinin değişik miktardaki Armac-T varlığında pH'a bağlı zeta potansiyel değişimi

% 0.1		% 0.01	
pH	(mV)	pH	(mV)
4,12	82,86	4,56	78,86
6,42	67,52	6,00	63,98
7,42	45,69	7,10	44,08
8,62	24,26	8,50	14,39
		9,30	-26,60
		9,63	-33,90

Çizelge 4.27. Kolemanit ve realgar minerallerinin saf suda
pH'a bağlı temas açıları

Kolemanit		Realgar	
pH	Açı °	pH	Açı °
6,98	34	6,06	26
8,57	33	8,70	26
9,28	32	9,83	27
10,71	32	10,49	27

Çizelge 4.28. Kolemanit mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
6,58	33	7,21	33	6,86	33
8,89	32	9,35	33	9,30	32
9,69	32	10,43	34		
10,76	34				

Çizelge 4.29. Kolemanit mineralinin, KEX'ın değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
7,43	35	8,31	36	8,49	32
8,85	35	9,55	35	9,57	33
9,56	35	10,47	32		
10,69	32				

Çizelge 4.30. Kolemanit mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

%0,01		%0,10		%0,50	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
7,19	33	6,65	35	6,68	33
8,51	35	9,45	34	9,56	33
9,59	35	10,45	34		
10,54	37				

Çizelge 4.31. Kolemanit mineralinin, R840'ın değişik
konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

%0,01		%0,05	
pH	Açı °	pH	Açı °
7,09	37	6,37	45
9,53	38	9,98	45
10,41	36		

Çizelge 4.32. Kolemanit mineralinin, Na- Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
7,14	31	7,48	32	9,30	45
9,73	32	9,41	34	9,78	45
10,54	32	10,30	35		

Çizelge 4.33. Kolemanit mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

%0,01		%0,10	
pH	Açı °	pH	Açı °
4,09	44	4,20	47
7,84	44	6,55	47
9,32	44	8,55	47

Çizelge 4.34. Kolemanit mineralinin, Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
6,56	34	7,93	33	9,34	27
9,50	31	9,48	32	10,30	28
10,29	32	10,33	31		

Çizelge 4.35. Realgar mineralinin, Na_2SiO_3 'ün değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
7,03	26	8,19	42	9,88	37
9,36	27	9,25	40	10,50	38
10,29	26	10,23	39		

Çizelge 4.36. Realgar mineralinin, KAX'ın değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
5,50	25	6,62	33	6,92	58
8,02	28	8,95	34	9,71	62
9,79	29	10,75	33		
10,87	28				

Çizelge 4.37. Realgar mineralinin, KEX'in değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
6,59	31	7,98	46	7,14	59
8,55	30	9,08	47	9,42	63
9,44	31	10,47	47		
10,78	30				

Çizelge 4.38. Realgar mineralinin, R825'in değişik konsantrasyonlarında
pH'a bağlı temas açısı

%0,01		%0,10		%0,50	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
6,64	46	7,34	35	6,53	31
8,92	42	9,32	32	9,37	31
10,50	43	10,26	33		

Çizelge 4.39. Realgar mineralinin, R840'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

%0,01		%0,05	
pH	Açı °	pH	Açı °
6,69	26	6,00	37
9,47	27	9,54	39
10,38	25		

Çizelge 4.40. Realgar mineralinin, Na-Oleat'ın değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

10^{-4} M		10^{-3} M		10^{-2} M	
pH	Açı °	pH	Açı °	pH	Açı °
6,00	33	7,25	33	9,29	45
9,30	29	9,51	30	10,20	36
10,36	26	10,26	33		

Çizelge 4.41. Realgar mineralinin, Armac-T'nin değişik konsantrasyonlarında pH'a bağlı temas açısı

%0,01		%0,10	
pH	Açı °	pH	Açı °
4,21	32	3,91	42
8,56	32	6,23	43
9,22	33	7,33	42

Çizelge 4.42. Kolemanit mineralinin değişik toplayıcılarda
flotasyon verim değişimi

Toplayıcı Cinsi	% Verim
KEX	14,91
KAX	29,49
R840	91,77
ARMAC - T	95,25
R825	96,61
SODYUM OLEAT	97,11

Çizelge 4.43. Kolemanit mineralinin değişik katı oranlarında
flotasyon verim değişimi

Katı Oranı (%)	% Verim
1	96,85
2	96,25
3	97,06
5	96,51

Çizelge 4.44. Kolemanit mineralinin değişik Na-Oleat
miktarlarında flotasyon verim değişimi

Toplayıcı Miktarı (kg/ton)	% Verim
0,1	68,80
0,5	97,08
1,0	97,24
1,5	98,09
2,0	98,24

Çizelge 4.45. Kolemanit mineralinin değişik pH'larda
flotasyon verim değişimi

Ph	% Verim
8	97,76
9	97,31
10	95,89
11	89,33

Çizelge 4.46. Kolemanit mineralinin değişik $BaCl_2 \cdot 2H_2O$
miktarlarında flotasyon verim değişimi

Canlandırıcı Miktarı (kg/ton)	% Verim
0,1	97,23
0,5	98,29
1,0	98,07
1,5	97,86

Çizelge 4.47. Kolemanit mineralinin değişik kıvam sürelerinde
flotasyon verim değişimi

Kıvam Süresi (dakika)	% Verim
3	98,65
5	98,51
10	98,35
15	89,15

Çizelge 4.48. Kolemanit mineralinin değişik flotasyon sürelerinde
flotasyon verim değişimi

Flotasyon Süresi (saniye)	% Verim
20	94,29
40	98,05
60	98,16
120	98,40

Çizelge 4.49. Realgar mineralinin değişik toplayıcılarda
flotasyon verim değişimi

Toplayıcı Cinsi	% Verim
KEX	76,49
KAX	83,45
ARMAC - T	85,37
SODYUM OLEAT	90,39
R825	92,74
R840	94,47

Çizelge 4.50. Realgar mineralinin değişik katı oranlarında
flotasyon verim değişimi

Katı Oranı (%)	% Verim
1	75,54
2	84,13
3	83,91
5	72,98

Çizelge 4.51. Realgar mineralinin değişik KAX miktarlarında
flotasyon verim değişimi

Toplayıcı Miktarı (kg/ton)	% Verim
0,1	69,95
0,5	72,39
1,0	83,76
1,5	85,25
2,0	87,73

Çizelge 4.52. Realgar mineralinin değişik pH'larda
flotasyon verim değişimi

Ph	% Verim
8	80,67
9	83,02
10	82,43
11	77,05

Çizelge 4.53. Realgar mineralinin değişik Gazyağı miktarlarında
flotasyon verim değişimi

Canlandırıcı Miktarı (kg/ton)	% Verim
0,1	72,26
0,5	86,73
1,0	88,94
1,5	88,13

Çizelge 4.54. Realgar mineralinin değişik kıvam sürelerinde
flotasyon verim değişimi

Kıvam Süresi (dakika)	% Verim
3	71,87
5	80,22
10	88,82
15	89,00

Çizelge 4.55. Realgar mineralinin değişik flotasyon sürelerinde
flotasyon verim değişimi

Flotasyon Süresi (saniye)	% Verim
20	59,75
40	74,46
60	88,60
120	88,79

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet SAVAŞ, 1969 yılında Kütahya'nın Emet ilçesinde doğmuştur. Lise öğrenimini Kütahya Kılıçarslan Lisesinde tamamladıktan sonra, 1986 yılında girdiği D.E.Ü. Müh-Mim Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünden 1990 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl, almış olduğu burs nedeniyle Eti Holding A.Ş. Genel Müdürlüğüne Bağlı Eti Bor A.Ş. Genel Müdürlüğü Emet Bor İşletme Müdürlüğünde Açık İşletme Vardiya Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır.

1991 -1994 yıllarında O.G.Ü. Müh-Mim Fakültesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama dalında, Yüksek Lisans eğitimini tamamlayarak, 1994 yılında Askerlik hizmetini yapmış ve 1995 yılında Doktora eğitimine başlamıştır.

Emet Bor İşletme Müdürlüğünde, yedi yıl Açık işletme vardiya mühendisi, bir yıl şef mühendis olarak çalışmış olup, halen Etüt Kontrol Başmühendisi olarak görev yapmaktadır. Ayrıca 3 yıldır, İşletmenin Fenni Nezaretçi görevini yürütmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.



ESKİŞEHİR
OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

KİTABIN

TE2

Tasnif No: 2178 Kayıt No: 0028231

Adı Kalemanit... Realgar... Min...

Yazarı Mehmet... Savaş

Alanın Adı Soyadı	Alınış Tarihi	İmza